



Dissertação

Mestrado em Engenharia para Fabricação Digital Direta

**Fabrico Digital Direto em Setores Tradicionais
Caso de estudo: Produção de Calçado**

Jorge David Bernardo Abreu

Leiria, 31 de novembro de 2021



Dissertação

Mestrado em Engenharia para Fabricação Digital Direta

**Fabrico Digital Direto em Setores Tradicionais
Caso de estudo: Produção de Calçado**

Jorge David Bernardo Abreu

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Agostinho Manuel Antunes da Silva, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e coorientação da Doutora Anabela Gonçalves Rodrigues Marto, Professora da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, 31 de novembro de 2021

RESUMO

A indústria portuguesa de calçado tem vindo a reforçar a sua posição nos mercados internacionais, ano após ano, com crescimentos na ordem dos 11%. Contudo, Portugal ainda revela infraestruturas comerciais e produtivas desajustadas às tendências do mercado. No contexto atual, não há lugar ao envolvimento dos consumidores finais no modelo de produção convencional, podendo ser contornada através da inovação do potencial das novas tecnologias, preparando a indústria para alcançar outros tipos de mercado. As combinações eficazes entre o método clássico com as novas tecnologias criam um novo processo de desenvolvimento de produtos baseado no paradigma "ver, desenhar, comprar" e na produção customizada "único". Desta problemática resulta a necessidade de avaliar se o Fabrico Digital Direto (FDD) poderá ser um complemento aos processos de fabrico tradicionais de calçado.

A metodologia utilizada para encontrar uma solução para o problema será implementada em três fases sequenciais: (1) identificação e avaliação das potencialidades das tecnologias FDD nos diferentes componentes do sapato, (2) conceptualização dos modelos de fabrico centrados na complementaridade das tecnologias de fabrico convencional com as tecnologias FDD. (3) validação do modelo de fábrica na produção do modelo protótipo de calçado customizado. Da revisão de literatura, foram identificadas diferentes tecnologias, que permitem identificar de uma forma isolada os componentes produzidos,

Este trabalho apresenta um contributo importante para o desenvolvimento da indústria do mercado do calçado em Portugal, em geral potenciando as pequenas e médias empresas deste sector por via do FDD. Existem, no entanto, determinados valores agregados no fabrico do sapato clássico que não deverão ser descurados, como por exemplo, a presença da mão humana. O desenvolvimento deste novo paradigma deverá ser acompanhado por uma análise cuidada da viabilidade técnica/económica que suporte a tomada de decisão quanto à adoção destas novas tecnologias.

Palavra-chave: Fabrico Digital; Calçado; Customização; Indústria 4.0; fabrico Aditivo

ABSTRACT

The Portuguese footwear industry has been strengthening its position in international markets year after year, with growth of around 11%. However, Portugal still reveals commercial and productive infrastructures that are unadjusted to market trends. In the current context, there is no place for end consumers to be involved in the conventional production model and can be circumvented by incognated with the potential of new technologies, preparing industry to reach other types of market. The effective combination of the classical method with new technologies creates a new product development process based on the "see, draw, buy" paradigm and the "unique" custom production. This problem results in the need to assess whether Direct Digital Manufacturing (DDM) can be a complement to traditional footwear manufacturing processes. The methodology used to find a solution to the problem will be implemented in three sequential phases: (1) identification and evaluation of the potential of DDM technologies in the different shoe components, (2) conceptualization of manufacturing models focused on the complementarity of conventional manufacturing technologies with DDM technologies, (3) validation of the factory model in the production of the prototype model of customized footwear. Also from the literature review, different technologies were identified, which allow the identification of the components produced in an isolated way. This work makes an important contribution to the development of the footwear market industry in Portugal, generally boosting small and medium-sized enterprises in this sector through the DDM. There are, however, certain aggregated values in the manufacture of the classic shoe that should not be over-neglected, such as the presence of the human hand. The development of this new paradigm should be accompanied by a careful analysis of the technical/economic feasibility that supports decision-making regarding the adoption of these new technologies.

Keyword: Digital Manufacturing; Footwear; Customization; Industry 4.0; Additive Manufacturing

INDICE

RESUMO	- 1 -
ABSTRACT	- 3 -
INDICE - 5 -	
AGRADECIMENTOS	- 8 -
LISTA DE TABELAS	- 9 -
LISTA DE FIGURAS	- 10 -
1. Introdução	- 16 -
Organização dos conteúdos expostos	- 17 -
2 Problemática	- 18 -
2.1 A indústria do calçado em Portugal e no Mundo.....	- 19 -
2.2 Sustentabilidade dos materiais utilizados	- 20 -
2.3 Expetativas pelo cliente	- 23 -
2.4 Problema de investigação, objetivos e metodologia.....	- 25 -
3 Estado da arte.....	- 26 -
3.1 O fabrico do calçado	- 26 -
3.2 Morfologia do calçado	- 26 -
3.3 Montagem e ligações do sapato	- 30 -
3.4 Processo tradicional de fabrico de sapato customizado	- 31 -
4 Indústria 4.0 e Tecnologias de Fabrico Digital Direto (FDD).....	- 34 -
4.1 Tecnologias Indústria 4.0.....	- 35 -
4.2 Engenharia Inversa:	- 38 -
4.3 Realidade virtual/Aumentada	- 39 -
4.4 Personalização Vs. Customização	- 42 -
4.5 Normalização dos equipamentos e materiais	- 42 -

4.6	Potencial Impacto das tecnologias do FDD na produção de calçado	52 -
5	Fase 1 Avaliação das potencialidades dos processos FDD na produção de calçado - 54 -	
5.1	Variação de estrutura das palmilhas e solas.....	54 -
5.2	Tecnologia aplicada à fabricação de Palmilhas	56 -
	Fabrico através de processo SLS [Aetrex]	57 -
	Fabrico através de processo FDM [Gyrobot]	58 -
	Fabrico através de processo SLA - DLP [Orthopaedic Insole Excellence].....	59 -
5.3	Entressola fabrico através de processo DLS].....	59 -
5.4	Tecnologia aplicada à fabricação das Solas.....	61 -
5.5	Tecnologia aplicada à fabricação das Almas	62 -
6	Fase 2 Conceptualização do modelo de produção utilizando processos FDD.. -	63 -
6.1	Produção suportada em tecnologias FDD.....	64 -
6.2	Modelação de sapato piloto	68 -
6.3	Aplicações para Smartphone.....	70 -
	• WannaKicks.....	70 -
	• SneakerKit	71 -
6.4	Proposta de Produção FDD do sapato piloto	72 -
6.4	Cenário 1 “Produção mista – Recurso a tecnologias de FDD”.....	76 -
6.5	Cenário 2 “Produção de calçado com recurso à tecnologia do FDD”	79 -
	Receção e produção de ordem de trabalho	82 -
	Armazéns	83 -
	Corte de Pele e Têxteis	83 -
	Zona de produção de Palmilhas, Solas e Almas.....	85 -
	Pórtico de Controlo de Qualidade	91 -

Zona de Conformação	- 92 -
Montagem do Sapato	- 94 -
Estabilização a quente e a frio	- 96 -
Gabinete de desenvolvimento, Personalização e Controlo de Qualidade	- 98 -
Expedição	- 100 -
Acessórios:	- 101 -
7 Validação do modelo da fábrica	- 102 -
8 Discussão de resultados	- 111 -
9 Conclusões	- 115 -
10 Trabalhos Futuros	- 117 -
11 Bibliografia	- 118 -

AGRADECIMENTOS

Grato a todos aqueles que perderam um bocado do seu tempo no apoio condicional e incondicional que deram para atravessar esta importante etapa na minha vida.

Um bem-haja!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Segmentos do mercado do calçado, adaptado de Commission & Industry, 2012; Michelle, 2019	- 24 -
Tabela 2: Características dos componentes do sapato, de fonte própria	- 27 -
Tabela 3: Processos de Fabrico Aditivo, de fonte própria.....	- 44 -
Tabela 4: Identificação das vantagens tecnológicas, de fonte própria	- 51 -
Tabela 5: Equipamento para produção de palmilhas e acessórios, de fonte própria..	- 78 -
Tabela 6:Identificação das atividades nos setores através de cores.....	- 81 -
Tabela 7: Identificação dos setores através de algarismo, de fonte própria	- 82 -
Tabela 8: Equipamento de corte, de fonte própria.....	- 84 -
Tabela 9: Equipamento específico para produção de palmilhas, solas e almas, parte 1, de fonte própria	- 86 -
Tabela 10: Equipamento específico para produção de palmilhas e almas, parte 2, de fonte própria.....	- 87 -
Tabela 11: Equipamento específico para produção de palmilhas e almas, parte 3, de fonte própria.....	- 88 -
Tabela 12: Equipamento para conformar sapato, de fonte própria.....	- 94 -
Tabela 13:Características do equipamento para a montagem, fonte própria.....	- 96 -
Tabela 14: Tabela de temperaturas de referência, adaptação de ICSAS, 2017	- 97 -
Tabela 15: Características do equipamento conformação térmica, de fonte própria..	- 98 -
Tabela 16: Equipamentos de Subtração, de fonte própria	- 99 -
Tabela 17: Acessórios complementares, de fonte própria.....	- 101 -
Tabela 18: Tamanho dos componentes, de fonte própria.....	- 104 -
Tabela 19:Taxa de trabalho dos equipamentos propostos, * e ** taxa de trabalho estimados, *** taxa de trabalho proposta, fonte própria	- 105 -
Tabela 20: Confirmação de tempos de corte e manufatura perante as tecnologias utilizadas, fonte própria	- 107 -

Tabela 21: Identificação dos objetos, fonte própria- 109 -
 Tabela 22: Resultados de simulação, fonte própria (Tecnomatix- 109 -
 Tabela 23: Início de produção de componentes, fonte própria (Tecnomatix- 110 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Especialização da utilização do couro, de APICCAPS, 2013.....- 21 -
 Figura 2: Especialização do couro na Europa, de Ahuja & Mamtani, 2020; Commission & Industry, 2011.....- 21 -
 Figura 3: Expetativa da tendência de desenvolvimento da utilização da pele, de Ahuja & Mamtani, 2020.....- 22 -
 Figura 4: Produção: quantidade e preços médios por tipo de calçado, de APICCAPS, 2018- 22 -
 Figura 5: Pirâmide de necessidades de Maslow, de Presotto, 2021- 23 -
 Figura 6: Identificação de componentes do sapato; modelo próprio, adaptação de Jr., 2017- 26 -
 Para relacionar as montagens existentes do sapato anteriormente assinaladas com as tipologias de ligação é demonstrado através da Figura 7:Figura 7: Relacionamento das montagens com o tipo de ligação, Adaptado de ICSAS, 2017- 30 -
 Figura 8: Processo tradicional para aquisição de sapatos personalizados, de (Marconi et al., 2019).....- 31 -
 Figura 9: Evolução da Indústria Tecnológica, de (Inc.Outlook, 2021; Schwab, 2016)- 34 -
 -
 Figura 10: Análise custos entre os processos de fabrico aditivo e convencionais, de Cotteleer & Joyce, 2014- 36 -
 Figura 11: Fluxo do processo de Fabrico Aditivo, de Cotteleer et al., 2013.....- 37 -
 Figura 12: Continuidade segundo diagrama de Milgram, de Skarbez et al., 2021.....- 39 -
 Figura 13: Diferença entre Realidade Virtual e Realidade Aumentada TekiMobile, 2021- 41 -

Figura 14: Estrutura Standard dos processos de Fabrico Aditivo, de ASTM, 2017...- 43 -

Figure 15: Processo de foto polimerização em cuba, de (Rashid, 2019).....- 44 -

Figure 16: Processo de fabrico através de material Jetting, de (Rashid, 2019).....- 45 -

Figure 17: Processo de fabrico através de *binder jetting*, de (Rashid, 2019).....- 46 -

Figure 18: Processo de extrusão de material, de (Rashid, 2019).....- 46 -

Figure 19: Processo de fusão de material, de (Rashid, 2019).....- 47 -

Figure 20: Processo de fabrico através de *sheet lamination*, de (Rashid, 2019).....- 48 -

Figure 21: Processo de fabrico através de *Directed Energy Deposition*, de (Rashid, 2019)
.....- 49 -

Figura 22: Evolução da tendência de utilização das diferentes tecnologias para o sector do calçado, de Michelle, 2019- 50 -

Figura 23: Perspetiva das vendas de calçado manufacturado através do FA, de Michelle, 2019- 50 -

Figura 24: Três tipos de estruturas, (a) Estrutura reticular periódica, (b) Estrutura reticular conformada, e (c) Estrutura reticular aleatória, de Dong et al., 2019.....- 55 -

Figura 25: Diferentes tipos de estruturas de látice, de Dong et al., 2019- 55 -

Figura 26: Aplicação dos diferentes tipos de estrutura látices, de Dong et al., 2019.- 55 -

Figura 27: Scanner Aetrex's Albert 2 Pro, adaptado de Schwartz & Tucker, 2021...- 57 -

Figura 28: Processo de conceção da palmilha através do scanner da Aetrex's, adaptado de Schwartz & Tucker, 2021- 57 -

Figura 29: Processo de Fabrico da Palmilha através do método da *Gyrobot*, adaptado de Silva, 2015- 58 -

Figura 30: Modelo de produção de palmilhas através do fabrico aditivo, de Zolfagharian et al., 2021- 60 -

Figura 31: Características EPU 40; de Carbon, 2021- 60 -

Figura 32: Sapatos impressos com TPU e TPE (tecnologia FDM), adaptado de Feijs et al., 2016; Spahiu et al., 2020- 61 -

Figura 33: Almas produzidas em plástico e em aço, adaptado de MacapII, 2017- 62 -

Figura 34:Modelo de negócio segundo o processo de customização de sapatos (Marconi et al., 2019).....- 63 -

Figura 35: Esquema geral da apresentação da empresa, de fonte própria (SketchUp)- 65 -

-

Figura 36:Modelo negócio proposto para o fabrico digital direto, fonte própria (CorelDraw).....- 68 -

Figura 37: a) e b) Desenvolvimento do sapato e customização de cores; c) Desenvolvimento acessório; d) Versão customizada do acessório criado, de fonte própria (SolidWorks)- 69 -

Figura 38: Modelação das peças com os acessórios e personalização de nome, utilizando um software de fatiamento Simplify 3D (extensão .STL), de fonte própria (SolidWorks)- 69 -

Figura 39:Realidade Aumentada através da aplicação WannaKicks, adaptado de Fedorova, 2021- 70 -

Figura 40:Realidade Aumentada através da aplicação *SneakerKit* da *Vyking LTD*, adaptado de Rui, 2021- 71 -

Figura 41: Esquema de negócio proposto - Parte A, de fonte própria (CorelDraw)..- 72 -

Figura 42: Aquisição de dados pressão plantar através de situações estáticas e dinâmicas, de ReProgramar, 2021- 72 -

Figura 43: Medição através de RA, sistema integrado pela NIKE ,adaptado de Nike, 2019- 74 -

Figura 44: Planificação do sapato, adaptado de (Pinterest, 2021).....- 75 -

Figura 45: Exemplo de Ficha Técnica com as características de construção do sapato, de Livrozilla, n.d.- 75 -

Figura 46: Desenvolvimento dos cenários propostos - Parte B, de fonte própria (CorelDraw).....- 76 -

Figura 47: Proposta do cenário 1, de fonte própria (CorelDraw).....- 76 -

Figura 48: Proposta de cenário 2, de fonte própria (CorelDraw)- 79 -

Figura 49: Proposta de Fábrica de Calçado através de Fabrico Aditivo, de fonte própria (SketchUp).....	- 80 -
Figura 50: Identificação dos setores de trabalho, de fonte própria (SketchUp)	- 81 -
Figura 51: Setor Administrativo, de fonte própria (SketchUp).....	- 82 -
Figura 52. Zona de produção de almas, palmilhas e solas, de fonte própria (SketchUp) .	- 85 -
Figura 53: Processo de sinterização de material, de Ramirez, 2018	- 89 -
Figura 54: Sistema de localização através de rádio Frequência, (Zetes, 2021).....	- 89 -
Figura 55: Locais de referência planeados, de fonte própria (SketchUp).....	- 90 -
Figura 56: Zona de Costura e Colagem de componentes, de fonte própria (SketchUp) ...	- 91 -
Figura 57: Controlo Parcial de Qualidade, de fonte própria (SketchUp)	- 92 -
Figura 58: Zona de Conformação a quente e a frio dos vários componentes do sapato, de fonte própria (SketchUp)	- 93 -
Figura 59: Zona de Costura e Colagem Final (Solado - Corte), de fonte própria (SketchUp).....	- 95 -
Figura 60: Zona de estabilização a quente e a frio, de fonte própria (SketchUp)	- 97 -
Figura 61: Gabinete de Desenvolvimento, Personalização e Controlo de Qualidade, de fonte própria (SketchUp)	- 100 -
Figura 62: Medição de tamanho de pé e escolha do tamanho do sapato, adaptado de GroovyFox & Loyd, 2021	- 103 -
Figura 63: Projecção do modelo de fábrica, fonte própria (Tecnomatix)	- 108 -

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AICEP	–	Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal
APICCAPS	–	Associação Portuguesa dos Industriais do Calçado, Componentes, Artigos de Pele e Seus Sucedâneos
APP	–	Aplicação para o Smartphone
ASTM	–	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CAD	–	<i>Computer Aided Design</i>
CMM	–	<i>Coordinate Measuring Machine</i>
CPS	–	<i>Ciber Physical Systems</i> [Sistemas Ciber Físicos]
CTCP	–	Centro Tecnológico do Calçado de Portugal
DB	–	Base de Dados
DLP	–	<i>Digital Light Projector</i>
DLS	–	<i>Digital Light Synthesis</i>
DMLS	–	<i>Direct Metal Laser Sintering</i>
EBM	–	<i>Electron Beam Melting</i>
FA	–	Fabrico Aditivo
FDM	–	<i>Fused Deposition Modeling</i>
INPI	–	Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
IoS	–	<i>Internet of Services</i> [Internet dos Serviços]
IoT	–	<i>Internet of Things</i> [Internet das Coisas]
ISO	–	<i>International Organization for Standardization</i>
LENS [®]	–	<i>Laser Engineering Net-Shape</i>
LMD	–	<i>Laser Metal Deposition</i>
LOM	–	<i>Laminated Object Manufacturing</i>
MJM	–	<i>Multi-Jet Modeling</i>
MTM	–	<i>Made To Measure</i>

PBIH	–	<i>Powder Bed and Inkjet Head</i>
PDM/PLM	–	<i>Product Database/Lifecycle Management</i>
PP	–	<i>Plaster-based 3D Printing</i>
RFID	–	Identificação por Rádio Frequência
SHS	–	<i>Selective Heat Sintering</i>
SLA	–	<i>Stereolitografia</i>
SLS	–	<i>Selective Laser Sintering</i>
UC	–	<i>Ultrasonic Consolidation</i>
VR/AR	–	Sistemas de Realidade Virtual/Aumentada

1. Introdução

A presente dissertação, inserida no Mestrado de Engenharia para Fabricação Digital Direta, surge como proposta de interesse nacional, de reinventar o conceito de fabrico de calçado clássico, recorrendo a novas tecnologias e técnicas desenvolvidas nos últimos anos.

Numa perspetiva mais tecnológica, o fabrico de componentes de calçado, por Fabrico Aditivo, em consonância com o mestrado frequentado, emerge desde logo como ideia a desenvolver. O projeto centra-se na pesquisa de novas soluções que permitam impulsionar o fabrico de calçado com características únicas e direcionadas ao pedido exclusivo dos consumidores, de forma customizada, rápida e a preços competitivos (quer para o fabricante, quer para o consumidor), sem descorar o aspeto estrutural.

Desta forma, ir-se-á abordar a estrutura atual das fábricas de calçado, verificando e analisando os meios utilizados e os processos de preparação da matéria-prima, o corte e finalmente a montagem, de modo a se obter uma perspetiva global de todo o processo, bem como os seus aspetos positivos a ter em conta. Através da introdução destas novas tecnologias no sector do calçado, é necessário redesenhar o funcionamento das instalações, nomeadamente a cadeia de abastecimento, os meios de transporte de matéria, bem como as áreas para receber os novos equipamentos de FDD. Através desta transformação, deseja-se que a fluidez da produção seja mais otimizada, tornando-se mais rápida, e mais económica, quando se fala em produção de componentes customizados.

Organização dos conteúdos expostos

No presente capítulo é apresentado o enquadramento da dissertação, onde se faz uma breve apresentação dos objetivos e metodologia abordada.

No capítulo 2, é apresentada a problemática da investigação, que é composta por uma rápida revisão e identificação do problema a desenvolver. No mesmo ponto, ainda se apresenta os objetivos e a metodologia usada para alcançar a pergunta de partida.

O capítulo 3, refere uma análise genérica ao estado da arte, por forma a enquadrar os diversos componentes do sapato, bem como o processo clássico de aquisição de calçado customizado.

No capítulo 4 contextualiza-se as tecnologias de FDD, identificando-se as várias revoluções ultrapassadas, bem como a referência à regulamentação a que as novas tecnologias estão sujeitas.

Após referenciação das várias categorias e tecnologias que fazem parte do Fabrico Aditivo, o capítulo 5, identifica quais destas são mais adequadas para o setor do calçado, bem como apresenta componentes produzidos.

O capítulo 6, enquadra o caso de estudo que está expressa nesta dissertação. Neste, faz-se a identificação de 2 (dois) cenários distintos que têm como finalidade averiguar se o fabrico aditivo tem hipóteses como Fábrica sustentável em Portugal.

O capítulo 7 é responsável pela demonstração e validação do modelo de fábrica proposto, através da aplicação Tecnomatix¹.

O capítulo 8 expõe uma análise crítica e a discussão dos resultados obtidos, recorrendo à comparação dos cenários apresentados.

No último capítulo, 9, é elaborado um resumo sobre o trabalho desenvolvido e são apresentadas as reflexões finais.

¹ <https://www.plm.automation.siemens.com/global/pt/products/tecnomatix/>

2 Problemática

Os tempos que se atravessam levam a economia mundial a alcançar níveis extremamente baixos devido à pandemia que se atravessa. Tornaram-se tempos difíceis e sombrios para a comercialização de bens, quer em termos de importação, bem como exportação, baixando de uma forma global todos os setores do mercado. Assim, na impossibilidade de produzir, existe uma nova fração de tempo no nosso quotidiano, que pode ser utilizada a desenvolver um novo padrão de como pensamos a conceção do produto final. Ao longo dos tempos foi importante analisar a evolução da tendência das modas, e juntamente com estas, o acompanhamento e a evolução da técnica para a conceção dos desejados produtos finais.

Os dias atuais são patentesados com a apresentação do calçado como sendo uma compra ao estilo de vida individual, pois, o conceito banal de calçado foi transformado numa peça luxuosa, elegante e com identidade própria para cada ocasião, tornando-se cada vez mais apreciada e desejada por pessoas de todo os cantos do mundo.

A indústria europeia do calçado caracterizada pelas principais regiões de produção de calçado situadas na Itália, Alemanha, França, Polónia, Portugal, Roménia e Espanha, tem demonstrado dificuldade em manter um nível de crescimento significativo, dada a forte concorrência que enfrenta de países com custos de produção mais baixos. A indústria europeia do calçado concentra as apostas nas inovações de processos, visando melhorar a eficiência de fabrico, incorporando algumas das novas tecnologias. As inovações dos produtos incluem o desenvolvimento de novos designs de sapatos, materiais e componentes (Commission & Industry, 2012).

De acordo com a associação do sector do calçado, a APICCAPS, 2020, a Ásia e a Europa são os principais produtores mundiais de calçado, tendo, aproximadamente, cerca de 85% do calçado mundial origem nestes dois continentes. Sendo este um sector cada vez mais globalizado e em expansão, a intensidade concorrencial tem-se intensificado. Verifica-se um aumento nas encomendas de pequenos lotes urgentes (com maior personalização, destacando-se na variedade de modelos e cores) e uma diminuição das encomendas de grandes lotes de sapatos padronizados com prazos de receção mais longos (Commission & Industry, 2012).

No primeiro semestre de 2019, o comércio internacional de calçado apresentou padrões divergentes em todo o mundo. As importações para os maiores mercados europeus (Alemanha, França, Itália, Inglaterra, Bélgica) diminuíram, entre 2 e 6%, e 2.8% na União Europeia como um todo. Numa visão periférica, as importações no maior mercado do mundo, os EUA, aumentaram 4%, assim como as importações para o Canadá e para o Japão. O mercado russo cresceu, fortemente, no primeiro semestre, enquanto que o argentino sofreu uma queda abrupta (APICCAPS, 2020).

Corroborando esta situação, segundo comunicado pela APICCAPS, (2013), estando publicado também por Ahuja & Mamtaani (2020), existem cada vez mais empresas a implementarem estratégias de inovação baseadas em criatividade, qualidade e diferenciação de produtos de calçado, a fim de ter sucesso no mercado.

Os fabricantes de calçado têm uma gama de custos a gerir com especial abordagem nos custos das matérias-primas e nos custos de produção (através dos custos de mão de obra e de máquinas).

2.1 A indústria do calçado em Portugal e no Mundo

Em Portugal, o sector do caçado encontra-se extremamente fragmentado, sendo que cerca de 85% do total são micro e pequenas empresas, estando distribuídas por várias partes do país. Além de outras zonas, nomeadamente na Benedita, a produção de calçado está fortemente centralizada em dois polos, Felgueiras e São João da Madeira, nas proximidades do Porto, onde têm um peso muito expressivo na atual atividade económica regional (APICCAPS, 2013; Commission & Industry, 2011, 2012; Setor do Calçado em Portugal, 2003).

A indústria portuguesa reforça a sua posição ano após ano, com crescimentos na ordem dos 11%, contudo é, sobretudo, fora da Europa que mais se tem distinguido, com um crescimento de 23% (APICCAPS, 2013; CTCP, 2014).

Contudo, a associação APICCAPS (2013), demonstra que Portugal ainda apresenta deficiências ao nível da comercialização dos produtos, revelando infraestruturas comerciais ainda deficientes. Naturalmente, estas deficiências não permitem que haja um envolvimento dos consumidores finais, não permitindo o conhecimento das suas necessidades. A inovação nos modelos de negócio surge, quando existe o aproveitamento

do potencial das tecnologias de informação e comunicação, preparando a indústria para alcançar outros tipos de mercado (APICCAPS, 2013).

No entanto, devido à situação económica mundial ter entrado em queda, conforme foi referido anteriormente, a indústria de calçado portuguesa, também ficou afetada, tendo um percalço de 13.2% nas vendas, representativo de 66 milhões de pares de sapatos, embora que, segundo a APICCAPS, "...Portugal ganhou quota de mercado...", referenciado por (Lusa, 2021).

2.2 Sustentabilidade dos materiais utilizados

O setor da indústria do calçado é altamente complexo, competitivo e com uma variedade de clientes diferentes, possuindo diferentes necessidades e requisitos, quer em termos de design, conforto e preço disposto a pagar. Desta forma, o leque de escolhas aumenta exponencialmente, variando os materiais, coloração e texturas utilizadas.

Segundo Choklat, (2012) o material mais adequado e comum para o calçado é o couro, que é obtido principalmente do gado em geral, como bovino, caprino, ovino e suíno, mas também de répteis. As raças de animais, segundo a Associação Portuguesa dos Industriais de Curtumes (APIC), onde se reaproveita a matéria-prima para a indústria de calçado, são:

- Bovino: boi, vaca, bezerro; usados para solas, pele, forros e camurça;
- Caprino: bode, cabra, cabrito; usados para forro, pele, pelo e camurça;
- Ovino: carneiro, borrego; usados para forro, pelo e camurça;
- Suíno: porco; usados para forro e couro;
- Répteis: crocodilo, lagarto, cobra; usados para couro curtido e envernizado.

Algumas características como a flexibilidade, durabilidade, respirabilidade, beleza, conforto e praticidade, tornam este material ideal para a fabricação de calçado. No entanto, para que se possa usar este material de gama alta, é necessário realizar o curtimento do couro para que este não apodreça. Segundo a APIC existem três técnicas de curtimenta: curtimenta vegetal, mineral e sintética, em que geralmente, 85% a 90% do couro é curtido com crómio III, mantendo assim uma boa coloração e consistência.

Contudo, existem defeitos na pele provenientes de várias origens ou setores durante a produção. Melanda, (2020), identifica que alguns podem apresentar defeitos desde a

criação, o abate, durante o comércio e na própria indústria de curtumes, podendo ser encontradas deformidades provocadas durante a criação, como sujidade por crostas de excrementos e por manchas de sangue, por marcas de vermes e parasitas e por arranhões causados pelo arame farpado. Outras deformidades podem ser causadas por processos de esfolia deficiente, por aparamento sem normalização e pelo aquecimento da pele pós-esfolia.

Conforme é conhecido, o mercado do calçado utiliza mais materiais na sua utilização como a borracha, plástico, poliuretano, etc., contudo, observa-se a utilização do couro com uma especial atenção, visto este ser a matéria-prima fundamental, representando, 88% do calçado exportado por Portugal, figura 1. Realçando a sua importância, verifica-se, através da Figura 2, que também corresponde a mais de 75% da cota exportada pela Europa, em calçado de segurança industrial em 2019 (APICCAPS, 2013).

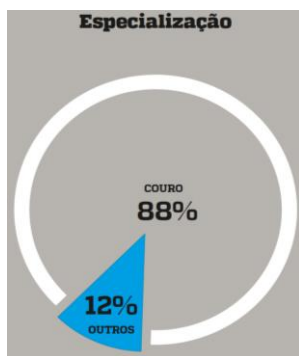


Figura 1: Especialização da utilização do couro, de APICCAPS, 2013



Figura 2: Especialização do couro na Europa, de Ahuja & Mamtani, 2020; Commission & Industry, 2011

Apesar de existirem indicadores de que o calçado de couro possa perder algum peso relativo (APICCAPS, 2020), a aceitação crescente de sapatos de segurança feitos de couro, conforme figura 3, devido às características já conhecidas, como proteção do material contra perfurações, objetos em queda, queimaduras, riscos de corte, etc., especula um crescimento acentuado, mantendo a necessidade da sua utilização.

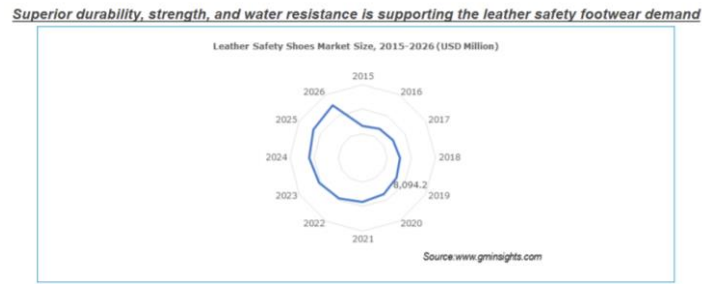


Figura 3: Expectativa da tendência de desenvolvimento da utilização da pele, de Ahuja & Mamtani, 2020

Segundo a publicação da associação APICCAPS na revista FOOTURE 2020, é necessário que haja inovação tecnológica para que se possa abrir novos horizontes às capacidades no domínio da flexibilidade e da resposta rápida que já caracterizam o cluster. Afirma que é necessário procurar a inovação nos materiais e nos produtos, explorando as potencialidades do couro, não descurando as oportunidades oferecidas por outros materiais, acima citados (APICCAPS, 2013)

A utilização de novos materiais e tecnologias proporciona aos fabricantes a possibilidade de diferenciar e destacar os seus produtos no mercado do calçado (Commission & Industry, 2011). Através da Figura 4, verifica-se a quantidade de sapatos vendidos, representado pela barra azul e qual o seu preço médio, representado pelo círculo vermelho. De uma forma similar verifica-se qual o órgão que mais influência tem na compra, tornando-se essencial o seu estudo.

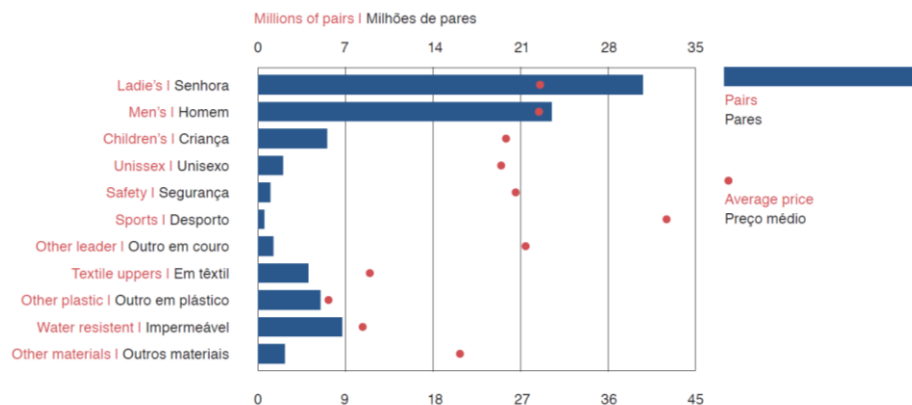


Figura 4: Produção: quantidade e preços médios por tipo de calçado, de APICCAPS, 2018

2.3 Expetativas pelo cliente

O comportamento humano está constantemente a ser alvo de estudo para que seja possível analisar e definir o seu comportamento individual ou em grupo perante as mais diversas situações. Para Kotler (1998) (Rabeque & Rodrigues, 2017), são realizados estudos para identificar quais as necessidades, consumo de produtos, serviços e experiências, e desejos e qual a forma mais adequada para que se possa influenciar no processo de decisão de compra. O aparecimento de uma das abordagens mais conhecida e influentes, a hierarquia de necessidades de Maslow, permite dividir e categorizar as prioridades dos seres humanos enquanto consumidores, Figura 5.



Figura 5: Pirâmide de necessidades de Maslow, de Presotto, 2021

A constituição do termo consumo foi sendo moldado aos poucos, ao longo de décadas, passando por momentos históricos diversos. Associado ao período da Revolução Industrial, identifica-se a intensificação da cultura de consumo, uma vez que foi esse período que proporcionou o aumento na produção de produtos a serem vendidos, influenciando mudanças e transformações que se tornaram fundamentais para a formação de um modo de vida guiado pela massificação do consumo.

Contudo, não se pode deixar de mencionar a existência de outro termo que está a ganhar cada vez mais expressão, o consumo ecológico, também designado por verde ou consciente, tem como preocupação aspetos sociais, éticos e ambientais envolvidos perante o consumo.

O consumo consciente não se resume a um ato, mas sobretudo a um estilo de vida focado na responsabilidade socioambiental como forma de garantir práticas sustentáveis a longo prazo. A mudança de atitude por parte do consumidor passa por consumir com uma

decisão de proteger o ambiente, por meio de práticas de reciclagem ou de reutilização de materiais, pagar mais por produtos ecologicamente corretos. Esta perspectiva não tenciona eliminar ou diminuir o consumo, mas sim, definir uma nova perspectiva por meio de escolhas de novos produtos e serviços que ofereçam ao consumidor valor agregado. (Pinto & Batinga, 2016)

Continuando a perspectiva ecológica, o setor da indústria do calçado é altamente complexo, competitivo e possui uma variedade de possibilidade quer em termos de design e conforto, conferindo sempre inovação. Este princípio cada vez mais lapidado, permitiu que os sapatos personalizados e feitos à medida nunca fossem abandonados, além de contribuírem para um aumento do conforto dos pés, manifestam-se numa melhoria global do bem-estar e elevada satisfação do cliente.

Tendo em consideração as alterações no modo de consumo, a indústria de fabrico de calçado pode ser dividida em segmentos baseados nas necessidades do utilizador final, no estatuto representativo, na função que desempenha ou na autorrealização, fazendo variar a tipologia do produto, o preço e o material a ser utilizado, representado pela Tabela1:

Tabela 1: Segmentos do mercado do calçado, adaptado de Commission & Industry, 2012; Michelle, 2019

Consumidor Final	Tipo de calçado	Preço	Material
Mulher	Casual/ Formal Noturno	Segmento Super Premium (Luxoso)	Couro
Homem	Desportivo	Segmento Premium (Refinado)	Têxtil
	Segurança / Proteção	Segmento Mediano (Mediano)	Plástico / Borracha
Criança	Adaptado	Segmento Baixo (Económico)	Outros

Através da combinação das diversas hipóteses e, conjugação dos vários componentes de cada tipo de calçado, é possível mudar o paradigma atual, potenciando vários novos “looks”, recorrendo à utilização das novas tecnologias em determinadas etapas.

Além disso, os clientes com necessidades especiais, como por exemplo pessoas diabéticas ou com algum tipo de deformação dos membros inferiores, também são tidos em conta, tornando também estes um dos principais consumidores finais alvo para este novo modelo de procura.

Desta problemática resulta o seguinte problema de investigação: Poderá o Fabrico Digital Direto (FDD) ser um complemento aos processos de fabrico tradicionais de calçado?

2.4 Problema de investigação, objetivos e metodologia

O objetivo desta investigação assenta na compreensão com vista à utilização, do modo como poderão os processos produtivos baseados no FDD ser uma alternativa ou complemento aos processos de fabrico tradicionais de calçado. Deste modo, poderá ser uma alavanca para este setor de grande relevância para a economia portuguesa.

Para levar a cabo este objetivo, a investigação seguirá a seguinte metodologia: (1) avaliação das potencialidades dos processos FDD na produção de componentes para calçado; (2) conceptualização de modelos de produção de calçado utilizando processos de FDD; (3) validação do modelo de fábrica na produção do modelo protótipo de calçado customizado.

3 Estado da arte

3.1 O fabrico do calçado

O sapato é considerado por muitos uma obra-prima do vestuário, e é composto por diversos componentes, que possuem funções específicas e que auxiliam na proteção e conforto dos pés, interligados através de costuras ou colas, e muitas vezes personalizados através de furações, gravações ou aplicações de brogues ou ilhoses.

3.2 Morfologia do calçado

No design do calçado deve se compreender cada parte, identificando os nomes de cada componente, conforme conhecido pela indústria geral, assim, os mais importantes estão retratados pela Figura 6:

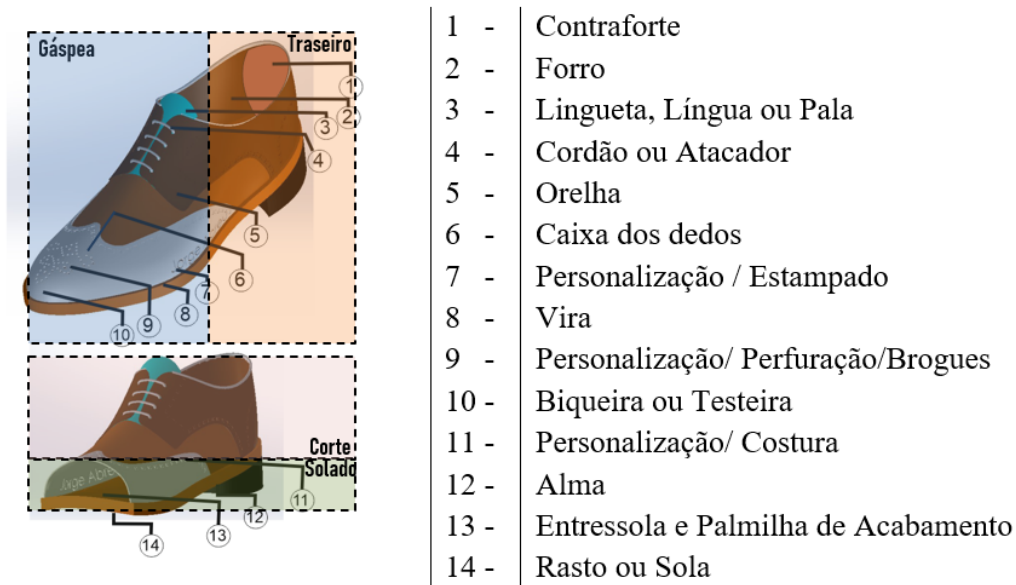


Figura 6: Identificação de componentes do sapato; modelo próprio, adaptação de Jr., 2017

Após identificação geral dos componentes que compõem o sapato masculino, através da Tabela 2, segue-se uma breve explicação sobre cada um deles:

Tabela 2: Características dos componentes do sapato, de fonte própria

<p><u>Corte</u></p> <p>Corresponde à parte superior do calçado e tem como função cobrir e proteger a parte de cima do pé. Este está dividido entre gáspea (parte frontal) e traseiro (parte lateral e retaguarda)</p>	<p><u>Solado</u></p> <p>O solado diz respeito à zona inferior do calçado, que tem como objetivo a parte estrutural do mesmo. Esta é composta pelas palmilhas de acabamento e montagem, pela entressola e sola.</p>
<p><u>Gáspea</u></p> <p>Corresponde à parte frontal do sapato e engloba toda a zona que cobre os dedos dos pés, podendo ser inteiriça ou composta por outras peças. Quando a gáspea é composta, esta pode conter 3 (três) elementos, a caixa dos dedos, as orelhas e a língua.</p>	<p><u>Traseiro</u></p> <p>O traseiro é a parte anterior do sapato, podendo esta ser composta apenas por uma única peça, ou ser constituída pela lateral, orelha, cano, contraforte e entre outras.</p>
<p><u>1- Contraforte</u></p> <p>Reforço colocado na parte traseira do sapato, entre o cabedal e o forro, reforçando a região do calcanhar. Hoje é comum colocar reforços coloridos em sapatos casuais causando um apontamento mais moderno.</p>	<p><u>2- Forro</u></p> <p>É um revestimento interno que harmoniza o conforto, o reforço da estrutura e a absorção da humidade. Geralmente de tecido e pode ser responsável pelo revestimento total da superfície ou apenas na zona da gáspea ou calcanhar.</p>
<p><u>3- Língua, lingueta ou pala</u></p> <p>Representa a parte central do sapato e está agarrada à gáspea, tendo como função principal proteger o pé dos cordões/cardaço. Este mais uma vez pode ser composto por uma tira de couro ou por um material de tecido e esponja.</p>	<p><u>4- Cardaço ou cordão</u></p> <p>Tiras de couro ou cordão presentes em praticamente todos os modelos e que têm como função auxiliar a fixação do calçado ao pé.</p> <p>Ex. <i>Derbys e oxfords</i></p>

<p><u>5- Orelha(s)</u></p> <p>São as abas que existem no calçado, onde estão colocados os ilhós para se introduzir os cordões ou cadarço.</p>	<p><u>6- Caixa de dedos</u></p> <p>Localiza-se na parte frontal e compreende toda a zona que cobre os dedos</p>
<p><u>7- Personalização / estampado</u></p> <p>Qualquer área pode ser usada para a aplicação de decoração, podendo esta ser através de símbolos costurados, estampados a quente ou à pressão.</p>	<p><u>8- Vira</u></p> <p>É a parte estreita costurada ou colada em torno do calçado, proporcionando um melhor acabamento e fixando o cabedal.</p>
<p><u>9- Brogues</u></p> <p>São perfurações no cabedal que tem função meramente decorativa. Antigamente serviam para facilitar a saída da água e ajudar o calçado a secar mais rápido.</p>	<p><u>10- Biqueira ou testeira</u></p> <p>É um reforço na ponta do sapato entre o forro e a gáspea que auxilia na proteção dos dedos, proporcionando uma maior firmeza á frente do sapato e aumentando a sua durabilidade.</p>
<p><u>11- Personalização/ costura</u></p> <p>É um dos elementos usados para unir as várias partes do sapato. Esta pode apresentar cores e materiais na sua composição de diversas cores.</p>	<p><u>12- Alma</u></p> <p>É uma peça geralmente feita de aço, podendo ser apresentada como madeira ou plástico, localizada no centro do sapato por baixo da palmilha, que sustenta a planta do pé e proporcionando firmeza.</p>
<p><u>13- Palmilha de montagem e de acabamento</u></p> <p>É um elemento estrutural e tem como função fixar o corte após a montagem, mantendo o formato da planta do pé.</p> <p>A palmilha de acabamento é colocada dentro do sapato para proporcionar maior conforto à planta do pé.</p>	<p><u>14- Rasto ou sola</u></p> <p>É um elemento geralmente de borracha, podendo também ser um compósito para aumentar a sua durabilidade. Localiza-se na parte inferior do pé e tem como função primordial amortecimento dos impactos, durabilidade geral do sapato e proporção de tração.</p>

<p><u>Curiosidades</u></p> <p><u>Ihós ou orifícios</u></p> <p>Perfurações feitas no cabedal para passagem dos cadarços, podem ou não ter o acabamento de metal.</p>	<p><u>Curiosidades</u></p> <p><u>Wing tip</u></p> <p>Biqueira de couro que forma ponta de asa muito comum nos sapatos <i>brogue</i>. Os sapatos considerados <i>full brogue</i> têm sempre como característica a presença do <i>Wing tip</i>.</p>
<p><u>Quarter</u></p> <p>Pedaço de couro localizado na lateral do calçado, muitas vezes liga-se à parte da amarração. Os <i>settle shoes</i> são caracterizados pelo <i>quarter</i> de cor diferente do restante do cabedal.</p>	<p><u>Medalhão</u></p> <p>Decoração com brogues feita apenas na ponta do calçado.</p>
<p><u>Bootstrap</u></p> <p>Alça colocada na parte de trás da bota que auxilia a introdução do pé também pode ser encontrada em sapatos, sobretudo os mais casuais.</p>	<p><u>Monk straps</u></p> <p>São alças que passam pelo peito do pé e proporcionam um ajuste mais perfeito do sapato sem cadarços.</p>

3.3 Montagem e ligações do sapato

Atualmente, existe uma grande variedade de estilos de sapatos e de técnicas de fabrico que se refletem no modo como é feito o encaixe da parte superior com a entressola. Os processos de ligação dividem-se em 3 grupos principais:

- Ligados por cola (mais de 50% do total produzido);
- Ligados por costura;
- Ligados por vulcanização.

Consoante a tipologia de ligação abordada dos vários elementos - corte, palmilha e sola, consegue-se identificar as várias montagens existentes(ICSAS, 2017):

- Montagem Plana;
- Montagem *Pratik*;
- Montagem Tubular;
- Montagem *Califórnia*;
- Montagem *Strobel*;
- Montagem *Mocassin*;
- Montagem *String*;
- Montagem *Goodyear*;
- Montagem por vulcanização;
- Montagem por injeção.

Para relacionar as montagens existentes do sapato anteriormente assinaladas com as tipologias de ligação é demonstrado através da Figura 7:

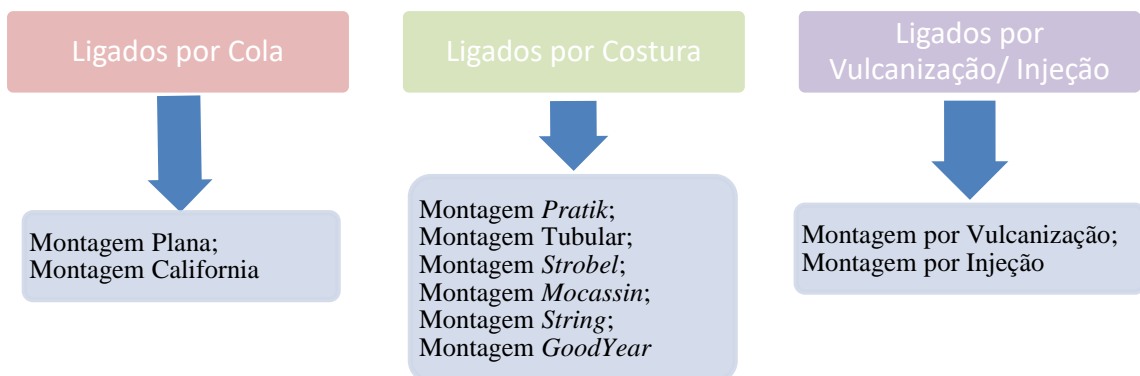


Figura 7: Relacionamento das montagens com o tipo de ligação, Adaptado de ICSAS, 2017

3.4 Processo tradicional de fabrico de sapato customizado

O processo tradicional foi definido mapeando o processo de desenvolvimento de produtos de diferentes empresas italianas da indústria do calçado. Os processos analisados são muito semelhantes e geralmente apresentam os mesmos pontos fortes e fracos, notório na maioria das empresas que operam no sector do calçado de gama alta. Este processo tem inúmeras vantagens em termos de qualidade do produto, mas também muitas questões relacionadas com a ineficiência do processo produtivo e o desperdício de recursos.

Baseado no testemunho da equipa italiana, (Marconi et al., 2019), O processo tradicional de desenvolvimento de sapatos personalizados, conforme Figura 8, é desencadeado quando o cliente vai a feiras ou lojas para encomendar sapatos. Nesta primeira fase, o cliente interage com o lojista apresenta um conjunto de ideias (fase de configuração).

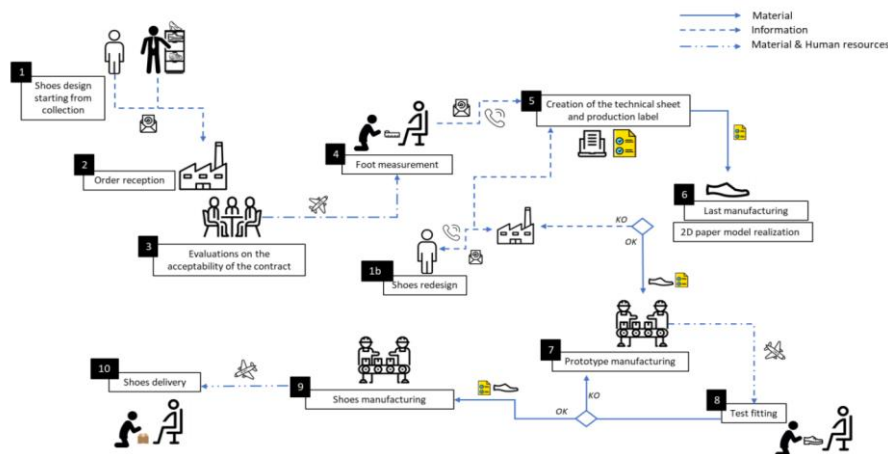


Figura 8: Processo tradicional para aquisição de sapatos personalizados, de (Marconi et al., 2019)

As escolhas dos clientes são influenciadas pela coleção de sapatos atuais, presente na loja ou catálogo. O funcionário geralmente não possui ferramentas para ajudar os clientes na configuração do calçado, obtendo-se um sapato personalizado que não sofrerá constrangimentos técnicos. No final desta primeira fase, o funcionário envia a encomenda por e-mail para a empresa, incluindo todos os requisitos elaborados pelo cliente. O despacho é recebido pelo gabinete de vendas que colabora com os administradores para avaliar preliminarmente a viabilidade da encomenda. Se esta for considerada aceitável, o

artesão, que está encarregue de todo o processo de personalização, juntamente com o vendedor vão ao cliente para a medição do pé. Tendo em conta que as empresas de calçado de gama alta geralmente servem o mercado global, esta é uma ineficiência relevante tanto em termos de perda de tempo, na deslocação até ao cliente, como em dinheiro (viagens de longa distância). Durante a fase de medição do pé, o artesão não utiliza qualquer ferramenta de apoio, utilizando procedimentos de medição manuais através de réguas e implantes de gesso. Com base na forma do pé e na sua experiência, recomenda ao cliente o modelo de calçado mais adequado, o que por sua vez o vendedor finaliza a encomenda com uma cópia da comissão de papel e envia-a para a empresa por e-mail, tornando-se uma das fases mais críticas. Em primeiro lugar, só o artesão tem o conhecimento de fazer medições nos pés da maneira certa. Em segundo lugar, ocorre frequentemente uma perda de informação (por exemplo, medidas específicas do pé do cliente, variações técnicas ou estilísticas do calçado). Em alguns casos, pode ocorrer muitas chamadas telefónicas e troca de e-mails entre o cliente e a empresa para esclarecer os detalhes da encomenda. Quando todos os detalhes do calçado são definidos, o gabinete técnico cria a ficha técnica e gera a documentação de produção, para que o fabrico possa iniciar. Uma vez que as empresas de calçado de gama alta são muitas vezes pequenas empresas, tanto as encomendas standard como os pedidos por medida, “made to measure” (MTM), são geridas na linha de produção padrão, com claras ineficiências. No máximo, a documentação de produção relativa às encomendas de MTM é diferenciada (por exemplo, de diferentes cores de papel) da documentação base para informar os operadores da linha de produção.

Durante a fase de fabrico, inicialmente, o artesão, com o apoio de uma última empresa de fabrico de sapatos, esboça especificamente o pé do cliente, e em seguida, o departamento de modelização realiza manualmente um modelo de papel 2D da parte superior do sapato, sem recurso aos sistemas de suporte de CAD ou tecnologias semelhantes. Só nesta fase as especificações são profundamente analisadas de um ponto de vista técnico e estilístico e a verdadeira viabilidade técnica pode ser verificada. Se todos os requisitos do cliente não puderem ser satisfeitos, terá que existir um novo recomeço da fase de negociações. Através de numerosas chamadas telefónicas e e-mails, o colaborador de vendas tenta encontrar uma solução de compensação entre os requisitos do cliente e os constrangimentos técnicos. Os clientes que exigem este tipo de produtos são geralmente muito exigentes, portanto existe uma nova fase de negociação que geralmente é muito

extensa e complexa, o que implica uma perda de tempo e um aumento dos custos de produção. Sem a possibilidade de feedbacks visuais, é muito difícil convencer os clientes de que algumas combinações estilísticas não são possíveis, sendo necessário chegar à fase de prototipagem para tomar consciência das escolhas incorretas feitas durante as fases de configuração e design. Findada a fase de modelagem em papel num modelo 2D, a produção do protótipo pode iniciar-se. O primeiro protótipo do sapato é geralmente feito de materiais menos valiosos, por forma a otimizar o valor dos recursos utilizados. Concluído o protótipo, o artesão e o empregado de vendas voltam ao cliente para o primeiro teste. Se o cliente não estiver totalmente satisfeito (por exemplo, nível de conforto inaceitável, alterações estilísticas necessárias), inicia-se um processo iterativo de modificação do modelo e do encaixe de teste, até chegar a uma solução aceitável. Numerosos testes de montagem podem surgir derivados a inúmeros fatores, tais como a forma incomum do pé, bem como por erros cometidos durante a medição manual do pé ou na conceção do protótipo (o processo não é repetível e é baseado na experiência artesanal). Obviamente, o processo atual causa dois problemas principais: um atraso no tempo de entrega do produto final, e um desperdício de dinheiro devido ao fabrico de mais de um protótipo físico, bem como a necessidade de várias viagens para o teste. Uma vez aprovado o protótipo, o fabrico final de sapatos pode iniciar. Os operadores mais experientes estão envolvidos, e o artesão monitoriza pessoalmente todo o processo. Assim que o sapato estiver pronto, inicia-se os processos de verificação de qualidade e captação de imagens para registo interno posterior. Após procedimento de controlo, são embalados em caixas personalizadas (por exemplo, caixa de madeira, caixa com as iniciais do cliente), juntamente com produtos de acompanhamento (por exemplo, produtos de polimento, carta de agradecimento), e enviados para o artesão e empregado de vendas que entregam pessoalmente os sapatos ao cliente.

4 Indústria 4.0 e Tecnologias de Fabrico Digital Direto (FDD)

A Indústria 4.0 ou quarta revolução industrial foi antecedida por outras três revoluções ao longo da história, que contribuiu individualmente com um determinado impacto e evolução na dinâmica da economia mundial, aplicado à relação laboral e nas várias tecnologias para a fabricação de novos produtos (Tropia et al., 2017)

Ainda citando o mesmo autor, e demonstrado pela Figura 9, a primeira revolução industrial ocorreu na segunda metade do século 18, sendo intensificada no século 19 e surgiu com a introdução de alguns mecanismos e do aproveitamento da força do vapor. A partir de 1870, a adoção da eletricidade e da divisão do trabalho na indústria impulsionou a segunda revolução, através da introdução de mecanismos que permitiam produção em linha de montagem. Ao criar uma ponte entre o conhecimento científico e o sistema produtivo, modificou-se a produção, pois passou-se a produzir-se mais em menos tempo, como também a produzir-se bens e produtos antes não imaginados. Desta forma, entra-se na terceira revolução, também chamada de “revolução digital”, onde teve início em 1969. A mão de obra, nesta fase, qualifica-se e passa a liderar as etapas de produção, comercialização e a gestão das empresas.

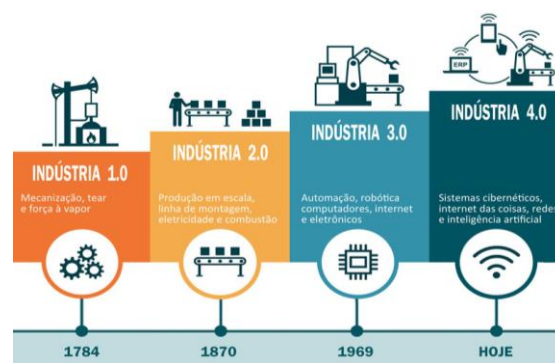


Figura 9: Evolução da Indústria Tecnológica, de (Inc.Outlook, 2021; Schwab, 2016)

Com o contínuo avanço tecnológico, foram despertadas novas necessidades de fabrico e complexidade, potenciando modificações e aperfeiçoamentos em equipamentos existentes, bem como a criação de outros. O avanço das técnicas de eletrónica e de tecnologia da informação para automação foram aplicadas nos processos de produção, permitindo a personalização de diversos objetos já existentes no mercado.

Nos anos 90, com a evolução dos conhecimentos nas diversas áreas de mecânica, eletricidade e eletrónica, iniciou-se a aplicação em robôs de inteligência artificial em contexto de fábrica, caminhando assim para uma nova revolução.

A quarta revolução industrial, também designado por “Indústria 4.0” surge somente em 2011, na Alemanha, (Roblek et al., 2016), e apresenta-se como uma abordagem abrangente que afeta todos os processos de negócio. Distinto de todas as revoluções industriais anteriores que se concentraram nos processos de produção, baseia-se nos conceitos tecnológicos de identificação por rádio frequência (RFID), sistemas ciberfísicos (CPS), Internet das coisas (IOT), Internet dos serviços (IOS), que permite novas formas de controlo e comunicação. A entrada direta do cliente no design introduz nas empresas a capacidade de produzir cada vez mais produtos customizados, com tempos de ciclo mais curtos e custos mais baixos do que os associados à normalização e à produção em massa. O produtor e o cliente terão uma constante participação no processo de customização do produto final.

4.1 Tecnologias Indústria 4.0

Segundo Pfähler, Morar, & Kemper (citado por Cotteleer et al., 2013) a tecnologia de fabrico aditivo com aplicação industrial, remonta à década de 1980, e tem como processo, unir materiais para fazer objetos a partir de modelos 3D de um ficheiro existente, habitualmente camada sobre camada, distinguindo-se das tecnologias de fabrico subtrativo e formativas. Na primeira década do FA, o seu foco comercial estava na prototipagem, enquanto a segunda década foi conotada por uma quantidade significativa de trabalho dedicada à análise de capacidade e benefícios do FA para a produção de ferramentas. Na década de 2000 e até ao presente, o foco mudou para a utilização do FA para a produção de componentes de uso final, que é designado como Fabrico Digital Direto (FDD) (Gibson et al., 2021). O FDD continuou a ganhar impulso e hoje em dia, a maioria das peças feitas por FA são para FDD e ferramentas rápidas, em vez do seu uso como protótipos. Uma visão geral dos tipos de aplicações que o FDD permite, bem como os benefícios e desvantagens em comparação com os processos convencionais de fabrico de peças, é apresentada ao longo da dissertação.

A Figura 10 ilustra os custos associados à produção através da tecnologia convencional e do FA. Para uma produção convencional, verifica-se que os valores de produção de pequenas séries possuem um custo extremamente elevado, devido aos custos elevados de início de produção, entre eles a compra do equipamento e a produção de moldes. O aumento na produção de unidades, amortiza o custo inicial e provoca uma descida no custo unitário. Desta forma, a produção através dos meios convencionais traduzem preços baixos para grandes séries de unidades parametrizadas.

Por outro lado, as tecnologias de FA, que estão atualmente à disposição, permitem, promover uma notória transição entre a produção em massa, realizando através de uma forma tradicional, para uma produção mais voltada para a customização, estimulando a diversidade, a unicidade e complexidade, embora com as suas devidas limitações. Desta forma podem ser encaradas como uma ferramenta inovadora, versátil, que devido às suas características, se apresenta como elo de ligação entre o passado e o futuro (Vicente, 2016).

Esta nova tecnologia permite novas oportunidades de customização, através de melhorias significativas no desempenho do produto, na multifuncionalidade e custo global de fabrico mais baixo (Cotteleer & Joyce, 2014). Devido às características apresentadas, o FA permite modificar qualquer peça, sem comprometer os custos das produções, tornando-se desta forma viável e rentável a produção de lotes personalizados. Através da Figura 10, verifica-se que os custos de produção para as tecnologias de FA, mantém-se constante independentemente do volume de unidades produzidas, ao contrário do fabrico convencional, como referido anteriormente.

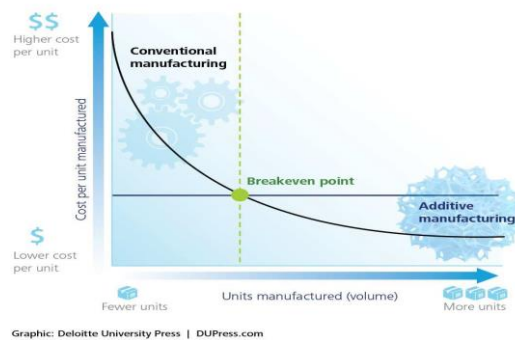


Figura 10: Análise custos entre os processos de fabrico aditivo e convencionais, de Cotteleer & Joyce, 2014

Os processos de fabrico aditivo necessitam de uma sequência de passos, representados pela Figura 11, começando tradicionalmente com a criação de um modelo tridimensional (3D) através da utilização de software de design assistido por computador (CAD). O modelo 3D baseado em CAD é tipicamente guardado como uma linguagem padrão, designada por estereolitografia, (.STL), que é uma representação do modelo através de uma malha composta por triângulos. Em seguida, o software divide o ficheiro de dados em camadas individuais, que são enviadas como instruções para o dispositivo. O dispositivo FDD cria o objeto adicionando camadas de material, uma em cima da outra, conforme o estipulado pelo corte do ficheiro, até que o objeto físico esteja completo. Uma vez terminado o objeto, poderá ser necessário uma variedade de atividades de acabamento. Dependendo do material utilizado e da complexidade do produto, algumas partes podem necessitar de processos de polimento, cura, enchimento de material ou pintura.

Através de outra ótica, a tecnologia de fabrico aditivo não só reduz a quantidade de material utilizado, como também facilita e incrementa a complexidade geométrica. A ampla liberdade de design permitida pelo FDD conduz a produtos cada vez mais inovadores e eficientes nos vários sectores industriais, (Dong et al., 2019), contudo estes necessitam de ser normalizados.

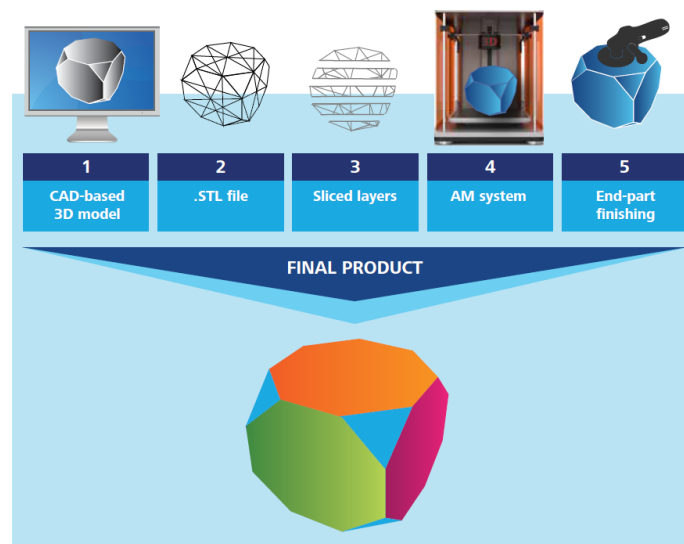


Figura 11: Fluxo do processo de Fabrico Aditivo, de Cotteleer et al., 2013

4.2 Engenharia Inversa:

A engenharia inversa é vista como um dos processos capazes de diminuir os prazos do ciclo de desenvolvimento de produto. A aquisição da geometria do objeto físico é um passo fundamental, que tem como finalidade obter a informação digital necessária para gerar a réplica desse objeto através do modelo CAD. Por outras palavras, segundo Várady, Martin et al. (1997), citado por Goonetilleke (2013), no domínio do CAD, a engenharia inversa pode ser definida como o processo de obtenção de um modelo CAD através da aquisição de forma de um modelo físico existente.

O processo de engenharia inversa está dividido em quatro fases principais:

- Aquisição de dados digitais e pré-processamento dos dados;
- Segmentação;
- Criação das superfícies;
- Geração do modelo tridimensional.

A primeira fase diz respeito aos dados adquiridos através do uso de um scanner, que realiza a digitalização do objeto, formando um determinado aglomerado de pontos (nuvem de pontos) dispostos numa superfície. Posteriormente, a nuvem necessita de processamento, como por exemplo a remoção de ruído e eliminação dos pontos fora da zona de interesse da peça. A segmentação e criação das superfícies referem-se ao tratamento dos dados adquiridos para que a superfície reproduza a informação dada pelos pontos, que por sua vez leva à última fase do processo que consiste na obtenção do modelo CAD.

Os métodos mais comuns para a aquisição de pontos são a utilização de uma sonda de contacto montada numa máquina de medição por coordenadas ou *Coordinate Measuring Machine* (CMM), sonda de contacto montada num braço articulado, ou um scanner laser 3D. Ambos os processos permitem a obtenção de uma nuvem de pontos correspondente à superfície do objeto (Ciobanu et al., 2012; Salles & Gyi, 2012).

4.3 Realidade virtual/Aumentada

A tecnologia de Realidade Virtual (RV) e de Realidade Aumentada (RA), permitem ao ser humano, através de equipamento específico, a capacidade de interagir com elementos digitais ou imergir totalmente em mundos digitais, (De Freitas & Ruschel, 2010)

A tecnologia de RV foi desenvolvida para a utilização de modelos geométricos reais em formato digital, podendo em alguns casos, propiciar um ambiente completamente imersivo devido aos modelos estarem à escala real.

Por outro lado, com uma interface não tão evasiva, a RA, como indica o próprio nome, aumenta a perceção sobre o mundo real, sobrepondo imagens deste com elementos ali não existentes e permite inserir elementos virtuais em ambientes reais, reunindo uma versatilidade diferente na exploração e visualização de modelos geométricos mais complexos.

Resumidamente a RA diz respeito à sobreposição de objetos virtuais ao ambiente real, enquanto a RV é a introdução de objetos reais em ambientes virtuais (Ferreira, 2014).

Para ajudar a diferenciar os dois conceitos, Milgram desenvolveu um diagrama (diagrama de Milgram), que permite identificar a passagem do meio real para o virtual, de uma forma conceptual, identificando também uma nova zona composta pela RV e RA, designada por Realidade Mista (MR), conforme Figura 12:

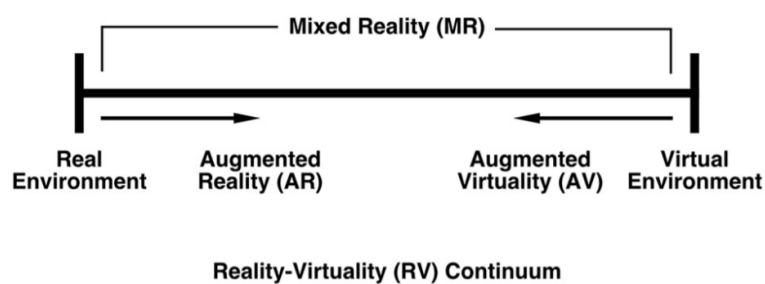


Figura 12: Continuidade segundo diagrama de Milgram, de Skarbez et al., 2021

A vantagem de ter um dispositivo de RA permite o utilizador receber instruções e agir em conformidade, mesmo sendo apenas um iniciante. Através de uma aplicação, programada para a execução de uma atividade, o utilizador observa o ecrã (virtual) que

Ihe mostra imagens e anotações dos equipamentos (real) que possibilitam a reparação e manutenção.

A RA já está presente nas mais diversas áreas de atividade como, a Engenharia na avaliação virtual de projeção e construção de infraestruturas, produção, recuperação e manutenção do setor automóvel, aéreo e náutico; Entretenimento, no desenvolvimento de jogos eletrónicos e cinematográficos potencializando a interação com o ser humano; a Geologia e a Hidrologia que permitem visualizar informações sobre os terrenos e biodiversidade em geral; e no Ensino em geral, permitindo sequenciar os passos a tomar num determinado exercício (Ferreira, 2014).

A RV é mais do que a mera apresentação de um mundo em 3D. Um conteúdo de RV, para reproduzir uma experiência o mais fielmente possível, deve servir-se de gráficos e simulações realistas, efeitos sonoros e interfaces físicas, de forma a garantir que os seus utilizadores adquiram um alto nível de excitação e que se comprometem com a atividade desenvolvida.

A RV também aplicada em diversas áreas e setores que permitem situações de melhoria contínua, como por exemplo na Astronomia, permitindo de uma forma cómoda conhecer todo o universo que nos rodeia; Medicina e/ou meio Militar, que potencia situações de stress para que o utilizador possa treinar diversas vezes sem medo de errar (Iberdrola, n.d.).

A Figura 13 através de uma interface simples, demonstra as diferenças existente entre as duas realidades.



Figura 13: Diferença entre Realidade Virtual e Realidade Aumentada TekiMobile, 2021

Uma vez que os consumidores apresentam um perfil mais tecnológico, as marcas encontram nas experiências imersivas uma forma disruptiva de se relacionarem com eles e de fortalecerem os seus laços.

4.4 Personalização Vs. Customização

Os termos personalização e customização são diversas vezes confundidos, onde diversas vezes lhes é atribuído o mesmo significado, contudo após a análise do capítulo 4, verifica-se que apareceram em distintas Revoluções Industriais, obtendo também desta forma, um conceito distinto.

Embora a produção em massa utilize a modularização para, simultaneamente, aumentar a variedade e manter a eficiência da produção, se tenha tornado uma tendência nos últimos tempos, existem algumas limitações nesta concepção:

- Os clientes não participam plenamente na fase de concepção;
- As várias combinações são pré-determinadas pelos designers;
- O conceito de produção em massa não é suficiente para satisfazer os requisitos individuais, não sendo capaz de prestar serviços e bens personalizados.

Enquanto a personalização é feita a partir de algo existente, adaptado para o utilizador, a customização é despontada pelo utilizador.

A customização em massa pode ser brevemente definida como uma estratégia baseada na capacidade de fornecer produtos ou serviços personalizados através de processos flexíveis para se diferenciar em mercados altamente competitivos (Keskin et al., 2017).

O design da arquitetura do produto juntamente com a configuração do produto é uma abordagem essencial, que permite mais opções para os clientes, permitindo diferenciar-se no mercado. Contudo, apenas com a entrada direta do cliente no design é possível as empresas produzirem cada vez mais produtos customizados com tempos de ciclo mais curtos e custos mais baixos (Keskin et al., 2017).

4.5 Normalização dos equipamentos e materiais

No sentido da normalização, Figura 14, os comités técnicos da *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e outras organizações nacionais e internacionais com interesses mútuos ou relacionados, juntaram-se para criar uma estrutura das normas para o FA, da *Internacional Organization for Standardization* (ISO)/TC 261 e da ASTM F42. Estas, foram comparadas e analisadas com o desenvolvimento atual das normas de FA existentes e prosseguidas por cada organização. Foi revisto os vários documentos com informação e propostas existentes para a estrutura e organização das normas FA. A

comunhão e as diferenças de cada estrutura candidata foram discutidas e culminando num consenso sobre uma estrutura comum para as normas FA que aborda as perspectivas e requisitos tanto da ISO/TC 261 como da ASTM F42.

A estrutura comum acordada define múltiplos níveis e uma hierarquia de normas FA, com os seguintes três níveis:

Normas gerais: Normas que impõem conceitos gerais, requisitos comuns que geralmente são aplicáveis à maioria dos tipos de materiais, processos e aplicações do FA;

Normas de categoria: Normas que impõem requisitos específicos de uma categoria ou categoria de processo sinuoso específico a cada material, categoria ou processo;

Normas especializadas: Normas que impõem requisitos específicos de um material, processo ou aplicação.

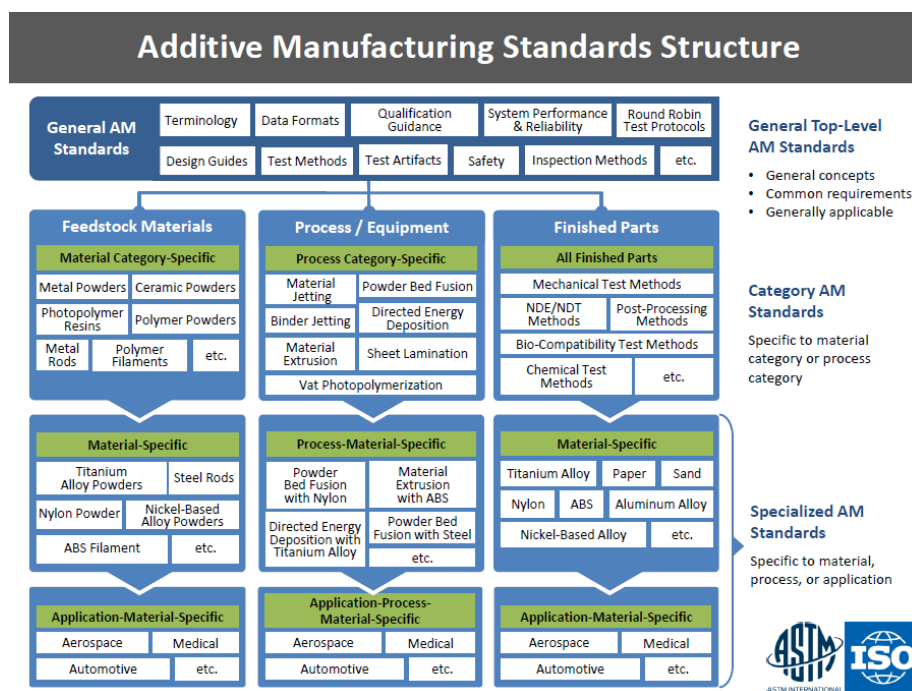


Figura 14: Estrutura Standard dos processos de Fabrico Aditivo, de ASTM, 2017

O conjunto de diretivas que classificam a gama dos processos aditivos, referenciada pela norma ISO 17296-2:2015, que transposta pela ISO 17296-2:2017, divide tipicamente as tecnologias de FA, em sete categorias de fabrico primário, conforme descritos pela Tabela 3 (Cotteleer et al., 2013; Vasco, 2019).

Tabela 3: Processos de Fabrico Aditivo, de fonte própria

Cat.	Processo	Cat.	Processo
1.	VAT Photopolymerisation (Fotopolimerização)	5.	Power Bed Fusion (Fusão em camada de pó)
2.	Material Jetting (Impressão 3D por Jato de material)	6.	Sheet Lamination (Laminação de folhas)
3.	Binder Jetting (Impressão 3D de Aglomerante)	7.	Directed Energy Deposition (Deposição direta de energia)
4.	Material Extrusion (Deposição de material fundido)		

1. Vat Photopolymerization

Os processos de fotopolimerização utilizam resinas líquidas ou foto polímeros como materiais primários. Existem vários tipos de radiação que podem ser usados para realizar a cura dos foto polímeros, podendo ser os raios gama, raios-X, feixes de elétrons, UV e, em alguns casos, luz. Para este processo, foram desenvolvidas duas configurações primárias, a foto polimerização em cuba numa cuba, Figura 15.

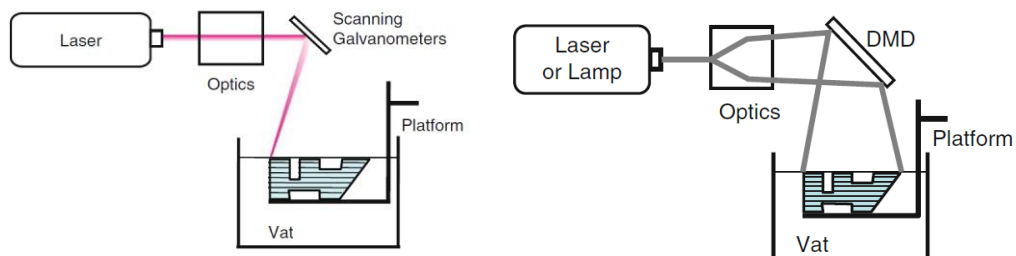


Figure 15: Processo de foto polimerização em cuba, de (Rashid, 2019)

Através da incidência de um foco contra a superfície da resina, cura uma linha de resina a uma profundidade que depende de muitos fatores. No entanto, também é importante considerar a largura da linha curada, bem como o seu perfil. A forma da linha curada depende das características da resina, das características energéticas do laser e da velocidade de digitalização.

Tecnologias FA relacionadas: Estereolitografia (SL ou SLA), *Digital Light Processing* (DLP), *Digital Light Synthesis* (DLS) e *Continuous Liquid Interface Production* (CLIP)

2. *Material Jetting*

Os equipamentos que utilizam esta tecnologia, utilizam dois jatos individuais, um para deposição de material termoplástico e outro para a deposição de material de suporte, sendo este á base de cera (Rashid, 2019), Figura 16. A cabeça de impressão deposita seletivamente material na área de construção. Estas gotículas são compostas por foto polímeros com materiais secundários (ex.: cera) para criar estruturas de suporte durante o processo de construção. A radiação UV solidifica o material foto polímero para formar peças sólidas. O material de suporte é removido durante o processo de limpeza.

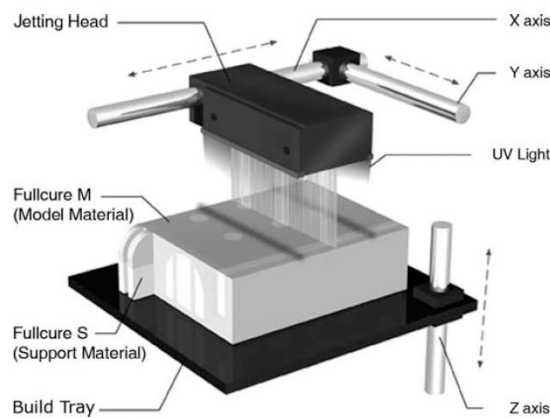


Figure 16: Processo de fabrico através de material Jetting, de (Rashid, 2019)

Tecnologias FA relacionadas: *Multi-Jet Printing*(MJP) e *PolyJet*®.

3. *Binder Jetting*

Contrariamente ao processo anterior, o *Binder Jetting* apenas deposita uma pequena parte do material numa cama de pequenas partículas de material, Figura 17. As partículas de material são juntas seletivamente usando um agente ligante líquido (ex.: cola), através de um elevado espetro de cores. Assim que uma camada se forma, cria uma nova por deposição de pó no topo do objeto, repetindo-se o processo até formar o objeto. O material não ligado, é usado para suportar o objeto, reduzindo assim a necessidade de sistemas de suporte.

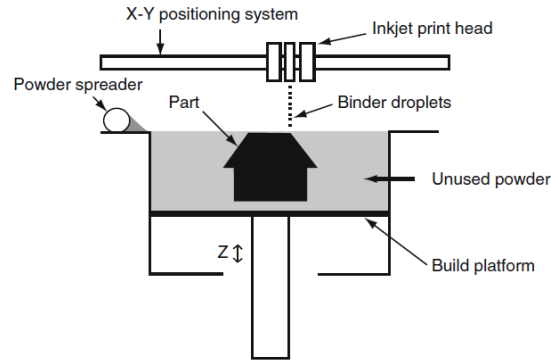


Figure 17: Processo de fabrico através de *binder jetting*, de (Rashid, 2019)

Tecnologias FA relacionadas: *Powder Bed and Inkjet Head (PBIH)*, *Plaster-based 3D Printing (PP)*

4. *Material Extrusion*

A extrusão de material de uma forma geral é a fusão de material altamente viscosos através de um bocal, Figura 18. Uma vez que o material é extrudido, a máquina realiza as operações de deposição de material num plano horizontal, conseguindo iniciar e parar o fluido. Concluída a camada, a máquina realiza um movimento de ascensão ou descida, para que uma nova camada possa ser produzida. Este processo inclui vários tipos de preenchimento interno do objeto, permitindo que possam ser alterados os parâmetros de densidade (Rashid, 2019).

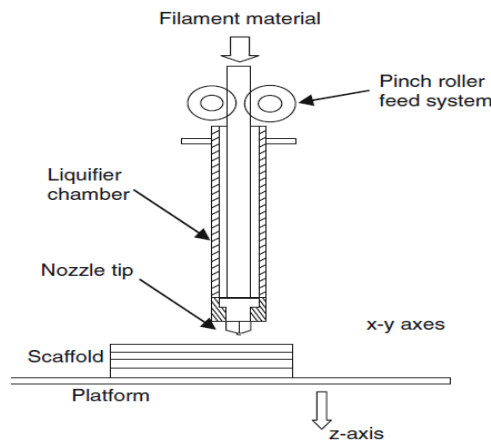


Figure 18: Processo de extrusão de material, de (Rashid, 2019)

Tecnologias FA relacionadas: *Fused Deposition Modeling (FDM)*, *Fused Filament Fabrication (FFF)*

5. Powder Bed Fusion

O processo SLS foi originalmente desenvolvido para produzir protótipos de plástico utilizando uma técnica de digitalização a laser em foco. Após desenvolvimento e estudos em outros materiais, foram introduzidos fontes térmicas que permitiram a expansão aos pós metálicos e cerâmicos.

O processo utiliza uma ou mais fontes de energia, auxiliadas por mecanismos (galvanómetros) que permite adicionar rapidez suavidade entre camadas de pó. Auxiliarmente, é necessário a existência de um rolo que introduz uma nova camada de material, para se realizar a continuidade da impressão, Figura 19, (Rashid, 2019).

Após a fusão de uma camada, é colocado uma nova camada de pó, para que se possa repetir o processo até que o objeto estar completo. O material por fundir é usado como suporte do objeto em produção, o que reduz a necessidade de sistemas de suporte.

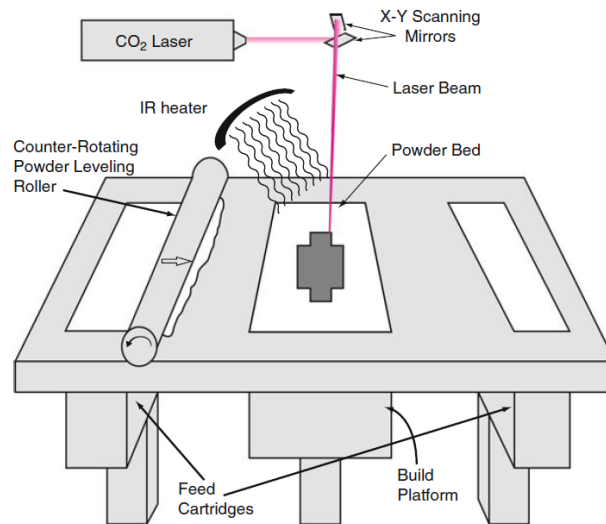


Figure 19: Processo de fusão de material, de (Rashid, 2019)

Tecnologias FA relacionadas: *Electron Beam Melting (EBM)*, *Selective Laser Sintering (SLS)*, *Selective Heat Sintering (SHS)* e *Selective Laser Melting (SLM)*. *Multi-Jet Fusion (MJF)*

6. Sheet Lamination

O material de laminação mais popular foi o papel com um revestimento termoplástico num dos lados. Regra geral, qualquer material pode ser utilizado neste processo, desde que, o laser utilizado tenha capacidade suficiente para realizar o corte, Figura 20. Assim, o corte realiza-se em torno da fronteira do objeto, bem como nos locais que vão ser removidos. À medida que as folhas são cortadas, é adicionada uma nova por cima, ficando colada às demais pela camada termoplástica. O processo é repetido até que a peça fique completa.

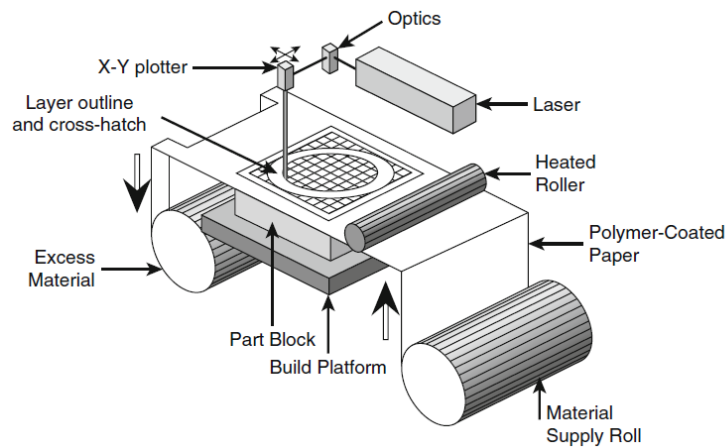


Figure 20: Processo de fabrico através de *sheet lamination*, de (Rashid, 2019)

Tecnologias de FA relacionadas: *Laminated Object Manufacturing (LOM)*, *Ultrasonic Consolidation (UC)*

7. Directed Energy Deposition

Os processos por *Directed Energy Deposition* permitem a criação de peças através do derretimento e deposição de material a partir de matéria-prima em pó ou arame. Embora esta abordagem possa ser utilizada em polímeros, cerâmica e compósitos de matriz metálica, é predominantemente utilizada para pós metálicos. Assim, é muitas vezes referida como tecnologia de "deposição de metal". Este processo utiliza um feixe de energia localizada (como um laser, um feixe de elétrons ou um arco plasma), para derreter o material expelido e construir objetos tridimensionais de uma forma semelhante aos processos baseados na extrusão, Figura 21. Ao contrário das técnicas de fusão de camas

em pó, os processos de deposição de energia, não são utilizados para derreter um material que é pré-colocado num leito de pó, mas para derreter materiais à medida que estão a ser depositados (Rashid, 2019).

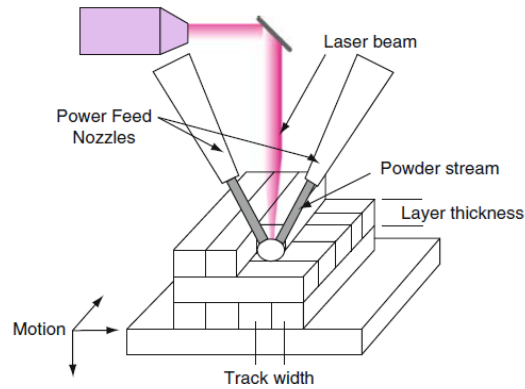


Figure 21: Processo de fabrico através de *Directed Energy Deposition*, de (Rashid, 2019)

Tecnologia FA relacionadas: *Laser Metal Deposition* (LMD) e *Laser Engineering Net-Shape* (LENS®)

Segundo Michelle, 2019, haverá um crescimento demarcado na procura de equipamento das várias tecnologias de FA para o sector do calçado, conforme apresentado pela Figura 22. Esta perspetiva de crescimento, demonstra que o futuro do sector do calçado, terá que enraizar esta nova tendência ao adotar um novo *know how*, passando pela aquisição e trabalho em novas tecnologias.

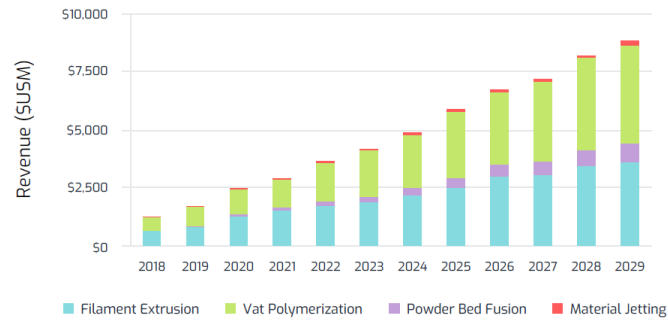


Figura 22: Evolução da tendência de utilização das diferentes tecnologias para o sector do calçado, de Michelle, 2019

Pela mesma proporção, a Figura 23, demonstra um crescimento elevadíssimo, na venda de sapatos criados através de FA., potencializando a necessidade urgente de criar/adaptar um novo modelo de negócio.

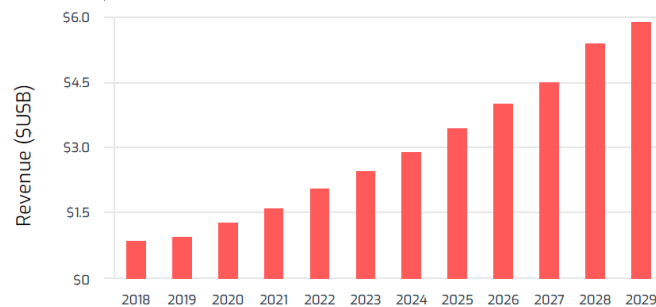


Figura 23: Perspetiva das vendas de calçado manufacturado através do FA, de Michelle, 2019

Após a análise do conteúdo acima citado, existe a necessidade de analisar concretamente quais são, efetivamente, as tecnologias que realmente potenciam as diferenças notórias no sector do calçado.

Essa análise é espelhada pela Tabela 4, onde contém um resumo das características presentes em cada processo estudado anteriormente, permitindo de uma forma mais consciente verificar qual a tecnologia que deverá ser utilizada para cada caso específico.

Tabela 4: Identificação das vantagens tecnológicas, de fonte própria

Características	Tecnologias						
	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 4	Cat. 5	Cat. 6	Cat. 7
Translucidez	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓✓✓	✗	✓	✗
Rigidez	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓	✓✓✓
Flexibilidade	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓	✓
Variedade nos materiais	✓✓	✓✓	✓✓✓	✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓
Variedade de cores	✗	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✗	✓✓	✓
Acabamento	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓	✓✓	✗	✓
Módulo de Elasticidade	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓	✓
Módulo à Flexão	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓
Modelo Funcional	✓	✓	✓	✓✓✓	✓✓✓	✗	✓✓✓
Rapidez de execução	✓✓	✓	✓✓✓	✗	✓✓✓	✓✓✓	✓✓
Precisão	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓✓	✓✓✓	✗	✓
Pós Processamento	*	*	*	*	*	*	*
Preço de Fabrico	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓✓	✓	✓✓✓
Legenda	✗- Mau ✓- Razoável ✓✓- Bom ✓✓✓-Muito Bom ✓- Valor Baixo ✓✓- Valor Elevado ✓✓✓-Valor Muito Elevado * - Necessário						

As tecnologias de FDD mais utilizadas na produção de calçado, segundo Michelle,(2019), é a *VAT photopolymerization*, que inclui processos tradicionais como o SLA e o DLP. Estas tecnologias primariamente são utilizadas para a prototipagem de moldes e na produção de peças de uso final. As tecnologias de fusão de camas em pó, incluindo tanto as tecnologias SLS como as tecnologias térmicas, tais como a *Hp's Multi Jet Fusion* são também relevantes no processo de fabrico de alguns componentes.

Este autor, ainda, afirma que em todas as tecnologias utilizadas para a produção parcial no fabrico de calçado, o material mais comum é o poliuretano, um elastómero que está disponível em diferentes formas. Os poliuretanos são únicos na combinação da força dos plásticos rígidos com a flexibilidade e elasticidade da borracha.

4.6 Potencial Impacto das tecnologias do FDD na produção de calçado

A análise apresentada por Cotteleer et al., (2013), determinou as diferenças mais notórias entre os modelos tradicionais e os modelos de fabrico aditivo, espelhando abaixo um resumo das vantagens de cada um.

Vantagens da produção tradicional

- **Produção em massa:** O fabrico tradicional é adequado para uma produção de grande volume onde os custos fixos de ferramentas e configuração podem ser amortizados num maior número de unidades.
- **Escolha de materiais:** As técnicas tradicionais de fabrico podem ser implantadas numa grande variedade de materiais, polímeros e metais.
- **Fabrico de peças grandes:** A maquinação tradicional é mais adequada para o fabrico de grandes peças quando em comparação com os sistemas de FDD, estando limitados pelos tamanhos predefinidos e disponíveis da área de trabalho.

Vantagens das Tecnologias de Fabrico Digital Direto

- **Complexidade do design:** O FDD permite a criação de objetos com configurações geométricas complexas e com dimensões precisas, sendo difíceis ou impossíveis de criar utilizando métodos tradicionais.
- **Disponibilidade de mercado:** Os sistemas de FDD podem fabricar produtos com reduzidas ferramentas, economizando tempo durante a conceção e desenvolvimento do produto, permitindo uma maior rapidez na resposta no mercado.
- **Redução de resíduos:** O FDD utiliza menos quantidade de material no fabrico dos mais diversificados componentes, bem como, na maioria, dispensa o tratamento final reduzindo ou eliminando significativamente desperdícios ou resíduos durante a produção. Isto torna o FDD um processo mais eficiente.

Em suma, o FDD oferece às empresas um incremento na eficiência de tempo de produção e redução de custos ao longo do ciclo de vida e da cadeia de fornecimento do produto. Proporciona uma maior flexibilidade de design e personalização do produto quando comparado com o fabrico tradicional. Estes benefícios proporcionam um aumento dos níveis de adoção das técnicas do FDD, identificadas por duas áreas-chave, que incluem:

- Racionalização do fluxo de trabalho: O FDD pode reduzir o tempo de desenvolvimento de protótipos e conseqüentemente, a diminuição de ciclos de produção. Uma vez que os processos de FDD produzem menos resíduos, utilizam menos ferramentas e matéria-prima do que o fabrico tradicional. Deste modo existe uma rentabilização e antecipação dos benefícios de custo.
- Design flexível e personalização do produto: Os processos de FDD oferecem uma rápida modificação nos conteúdos dos ficheiros, o que permite o seu rápido a um baixo custo, influenciando de uma forma positiva a experiência do consumidor final.

5 Fase 1 | Avaliação das potencialidades dos processos FDD na produção de calçado

Em síntese, verifica-se que existem várias técnicas de FDD disponíveis para aplicações ou impressão de ortóteses, onde se pode incluir os diversos componentes do sapato, destacando as tecnologias mais notórias, segundo (Spentys, 2020; Zolfagharian et al., 2021):

- FDM (*Fused Deposition Modelling*);
- SLA (*Stereolithography*);
- DLP (*Digital Light Processing*) e DLS (*Digital Light Synthesis*);
- SLS (*Selective Laser Sintering*);
- MJF (*Multi Jet Fusion*);
- *Inkjet* ou *Binder Jetting* (BJ)

Relativamente às tecnologias identificadas, Zolfagharian et al., (2021), expõe que as tecnologias baseadas em pó, como a *Multi Jet Fusion* (MJF) da HP e a *Selective Laser Sintering* (SLS) são frequentemente utilizados no fabrico de palmilhas, enquanto que as tecnologias baseadas em resina são mais direcionadas para as entressolas.

5.1 Variação de estrutura das palmilhas e solas

Alguns elementos presentes no sapato, tais como a palmilha e a sola, tem como função principal a absorção de energia e alta elasticidade, aumentando a acomodação do pé. Ao se ajustar a propriedade do material ao longo do objeto., pode ser projetado um componente para única ou para multifunções através da variação das estruturas reticulares (*lattice structure*).

A estrutura reticular em mesoescala é um tipo de arquitetura que possui âncoras e nós num espaço tridimensional (3D). Como mostra a Figura 24, as estruturas podem ser divididas em três categorias com base no seu grau de ordem, sendo o primeiro tipo, a estrutura periódica, que tem uma célula unitária distribuída repetidamente no espaço 3D. A segunda categoria, é uma estrutura reticular com uma configuração quase periódica, também designada de estrutura reticular “conformada”. A última categoria, aplica-se à estrutura reticular aleatória, devido à forma e tamanho das células unitárias serem aleatórias no espaço 3D. Estas características diferenciadas, tornam a sua propriedade

mecânica mais difícil de controlar, quando comparada às anteriores categorias (Dong et al., 2019).

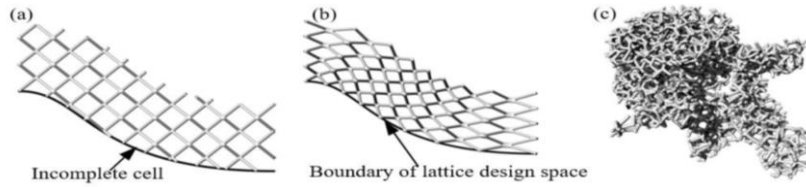


Figura 24: Três tipos de estruturas, (a) Estrutura reticular periódica, (b) Estrutura reticular conformada, e (c) Estrutura reticular aleatória, de Dong et al., 2019

O componente feito por estruturas reticulares pode ser alterado, podendo ser ajustada a sua densidade, fazendo variar entre a forma flexível e/ou rígida. A alteração da estrutura implica a variação da tipologia da estrutura reticular, como mostrado na Figura 25, sendo possível, ainda, variar a espessura da estrutura.

A geometria com diferentes tipos de estruturas é mostrada na Figura 26. A propriedade da estrutura da rede é alterada consoante a variação da tipologia utilizada permitindo a modificação das propriedades da rigidez e da pressão plantar, conforme a necessidade da aplicação final.

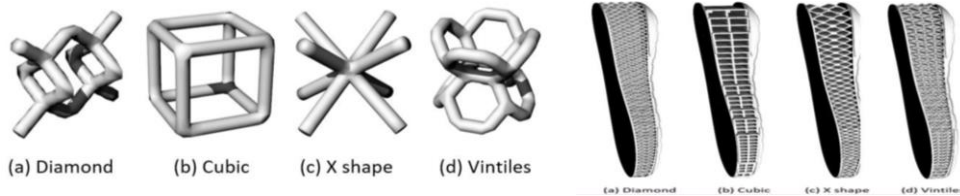


Figura 25: Diferentes tipos de estruturas de látice, de Dong et al., 2019

Figura 26: Aplicação dos diferentes tipos de estrutura látices, de Dong et al., 2019

5.2 Tecnologia aplicada à fabricação de Palmilhas

O uso de palmilhas promove um melhoramento do movimento da articulação do pé, através do amortecimento de impactos, diminuição de atrito horizontal do pé com o solo, maior suporte e estabilidade às deformidades. Contudo, os benefícios do uso de palmilha são dependentes do conforto oferecido aos seus utilizadores e, quando bem utilizada, promove o alívio de pressão em determinados pontos de forte compressão nos pés, visando reduzir o risco de complicações como ulceração e amputação (Mantovani et al., 2014).

As palmilhas podem ser constituídas por materiais diversos, podendo ter origem natural, como a pele, a cortiça ou feltro; através de polímeros celulares, como o polipropileno (PP), polietileno (PE), espuma vinílica acetinada (EVA), poliuretano (PU), policloreto de vinilo (PVC) ou poliuretano segmentado (SPEU); através de espumas poliméricas como a espuma de latex e o neopreno; compósitos e materiais rígidos, onde o seu principal objetivo é o bom acondicionamento do pé dentro do sapato (Silva, 2015).

Independentemente do material ou combinações de materiais a escolher, haverá sempre vantagens e desvantagens notórias, sendo necessário definir consoante o objetivo e preço final. De uma forma geral, as palmilhas constituídas por materiais de origem natural, têm como vantagens o baixo custo, a leveza e acessibilidade económica. A pele é um dos materiais mais utilizados na indústria do calçado, pelo seu aspeto visual, mas também pelas suas propriedades: conformável à forma do pé, durável, flexível, impermeável ou porosa, consoante tratamento químico.

Silva, (2015), apresenta o “*PORON®*”, como sendo um dos materiais nobres utilizados na indústria do calçado, tratando-se de uma espuma de poliuretano com elevada capacidade de amortecimento do pé, Este material apresenta excelente resiliência, semelhante à dos silicões, e alta durabilidade, quando exposto a elevados esforços de compressão. No entanto, o autor identifica que geralmente este apresenta-se sobre a forma de insertos que são colocados ao nível do calcanhar, devido essencialmente ao seu elevado custo.

Fabrico através de processo SLS [Aetrex]

A *AETREX*, segundo (Schwartz & Tucker, 2021) através da recolha dos dados biométricos, utilizando um scanner patenteado como Aetrex's Albert 2 Pro, imagem 27, consegue desenhar o protótipo de umas palmilhas e fazer corresponder com elevada precisão ao pé do utilizador. Este método, à semelhança de outros, também possui várias fases de implementação até à produção do produto final. Após a recolha dos dados biométricos através de um conjunto de 8 camaras, que permitem uma visualização do pé a 360°, bem como, de uma base com cerca de 5000 sensores de pressão, permite a produção de um complexo mapa de pressão plantar, que posteriormente é convertido num objeto 3D.



Figura 27: Scanner Aetrex's Albert 2 Pro, adaptado de Schwartz & Tucker, 2021

Findada a conceção, é incorporada ao modelo várias possibilidades de geometria, distribuídas consoante a necessidade de a pressão plantar recolhida, permitindo um maior conforto e alívio da pressão aplicada, como se pode visualizar pela imagem 28.



Figura 28: Processo de conceção da palmilha através do scanner da Aetrex's, adaptado de Schwartz & Tucker, 2021

Para terminar o processo, a palmilha é impressa através de processos de SLS, pertencente à categoria 5 do FDD, recorrendo aos equipamentos da serie P500 da EOS. Este equipamento permite sinterizar materiais plásticos e metais, através de uma precisão de camada de 120 µm, (Eos, 2019), traduzindo num acabamento excelente.

Fabrico através de processo FDM [Gyrobot]

Através do mesmo princípio, o modelo seguinte, desenvolvido pela *Gyrobot*, tem como objetivo a produção de palmilhas personalizadas através de processos de extrusão de material da categoria 4. Segundo Silva, (2015), a *Gyrobot* sugere que a impressão destas palmilhas personalizáveis deva ser feita através da extrusão de filamento de uretano termoplástico (*Filaflex* TPU) e utilizando um extrusor de filamentos de materiais pouco rígidos compatível. Na Figura 29, pode-se verificar a análise plantar identificada previamente (não existe registo do modo de aquisição) de modo a ajustar a estrutura reticular, proporcionando um maior conforto. O material escolhido, TPU, advém da necessidade da flexibilidade e conforto necessário na palmilha para que possa haver absorção da pressão plantar.



Figura 29: Processo de Fabrico da Palmilha através do método da *Gyrobot*, adaptado de Silva, 2015

Ao longo da pesquisa, o autor do site,(3DPrint, 2021) identifica que as palmilhas impressas através da tecnologia de FDM possuem um mau acabamento superficial, contudo, este permite a possibilidade de misturar materiais diversos criando densidades variáveis. Relativamente aos custos, o autor considera uma redução de custos entre 50 a 80% comparativamente com o fabrico clássico, conforme referência da internet (BCM3D, n.d.).

Fabrico através de processo SLA - DLP [Orthopaedic Insole Excellence]

A empresa *Atum3D* criou uma resina de alto desempenho, *Covestro Addigy*, que oferece rigidez quando comparado ao material convencional termo conformado. Combinando as características mencionadas com a grande capacidade de alongamento do material, permite criar diversos padrões com a particularidade de paredes extremamente finas. Esta resina também apresenta propriedades de amortecimento melhoradas em comparação com os materiais tradicionais de palmilha.

Para a produção das palmilhas a empresa, (Atum3D, 2020) também criou uma estação de impressão, designada por DLP 5-365 EXZ, que se destaca das demais da sua categoria, devido às medidas fora do convencional. A impressora tem uma altura de produção de 45cm, o que significa 80% mais alta do que as restantes e utiliza um poderoso feixe de luzes de 365nm, o que permite a construção dos objetos mais rápidos, atingindo velocidades de 75mm por hora

5.3 Entressola fabrico através de processo DLS]

O processo de fabrico de entressolas customizadas, segue o princípio da criação e variação da estrutura reticular, de modo a criar uma estrutura resistente e confortável consoante a atividade executada. O projeto de customização das entressolas é guiado por uma equipa (Zolfagharian et al., 2021), refletido pela Figura 30, onde se baseia na análise de elementos finitos, realizado com o auxílio do software *Abacus*. Através da identificação da distribuição de stress na superfície da sola, permite gerar a melhor estrutura para a entressola de modo a mitigar os impactos sofridos.

Após simulação da estrutura, para a realização da impressão das entressolas, o autor sugere a utilização de tecnologia de DLS, pertencente à 5ª Categoria do FA., sendo ideal para a impressão de polímeros macios. O material escolhido para o estudo foi o poliuretano elastomérico (EPU40) dada as suas propriedades, Figura 31, serem semelhantes a um material viscoelástico, semelhante à borracha.

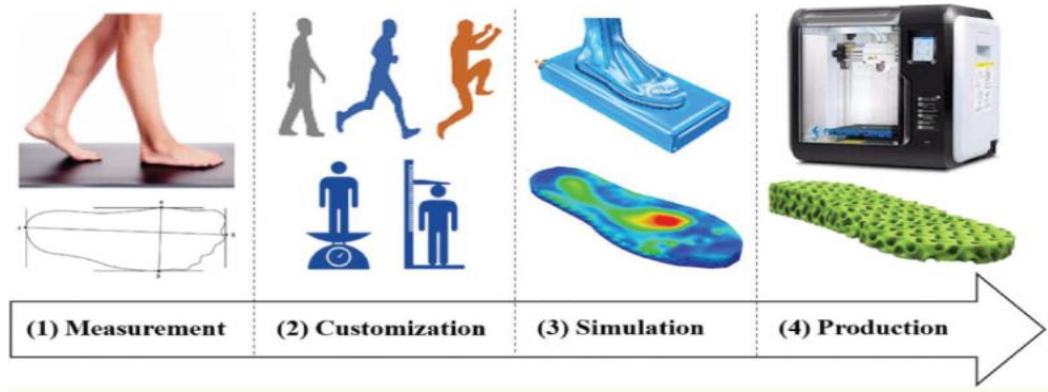


Figura 30: Modelo de produção de palmilhas através do fabrico aditivo, de Zolfagharian et al., 2021

	Resin	Ultimate tensile strength	Elongation at break	Tensile modulus	Shore hardness	Impact strength	Heat deflection temp	Comparable thermoplastic	Biocompatibility: cytotoxicity
2 Part Resins	CE 221	85 MPa	3%	3900 MPa	92D	15 J/m	230° C	Glass filled nylon	✓
	EPU 40	9 MPa	300%	N/A	68A	N/A	N/A	TPU	✓
	EPU 41	15 MPa	250%	N/A	73A	N/A	N/A	TPU	✓
	EPX 82	80 MPa	5%	2800 MPa	89D	45 J/m	130° C	20% glass-filled PBT	✓
	FPU 50	29 MPa	200%	700 MPa	71D	40 J/m	70° C	Polypropylene	✓

Figura 31: Características EPU 40; de Carbon, 2021

5.4 Tecnologia aplicada à fabricação das Solas

Os sapatos normalizados podem ter várias configurações de sola, transformando os processos de fabrico associados divergentes consoante os materiais utilizados, sendo as mais usuais de borracha feitas em moldes, e posteriormente termo conformadas. Contudo estas podem ser apresentadas por materiais como a pele, *thermoplastic rubber* (TPR), *polyurethanes*, *thermoplastic polyurethanes* (TPU) e *ethylene vinyl acetate* (EVA) (Spahiu et al., 2020).

Visualizando um rasto genérico de um sapato, verifica-se que no interior possui um padrão de ranhuras, geralmente em forma retangular ou em favo de mel, com o objetivo de encapsular o ar, produzindo baixa rigidez e aumentando a suavidade da sola.

Dos estudos encontrados, verifica-se que a tecnologia utilizada para a impressão das solas baseia-se no FDM, empregando como material de produção o TPU 95A da *Ultimaker*, e o TPE-s conhecido como *FilaFlex*, devido o seu alto grau de resistência flexível e abrasão. Ambos os estudos conduzidos, por vários elementos (Feijs et al., 2016; Spahiu et al., 2020) baseiam-se na análise e otimização da faixa plantar, através da variação da estrutura interna da sola ou da estrutura externa em geral, Figura 32.



Figura 32: Sapatos impressos com TPU e TPE (tecnologia FDM), adaptado de Feijs et al., 2016; Spahiu et al., 2020

5.5 Tecnologia aplicada à fabricação das Almas

As almas são peças estruturais fundamentais nos vários tipos de calçado comercializado, quer tenham um salto baixo, médio ou alto. As almas do sapato são caracterizadas por um fragmento de material fixado junto à palmilha de montagem, com a finalidade de dar sustentação ao arco do pé e resistência estrutural ao sapato. Geralmente encontra-se posicionada desde a planta do pé ao calcanhar, sendo fixada no salto por parafusos ou pregos. Este componente pode ser composto por vários tipos de material, como por exemplo, madeira, aço, arame ou plástico (Felin, 2014), Figura 33.

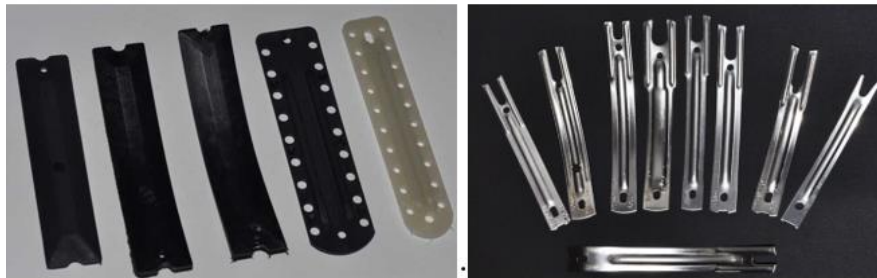


Figura 33: Almas produzidas em plástico e em aço, adaptado de MacapII, 2017

Identificados os materiais que compõem as almas, rapidamente se pode extrapolar o fabrico destas através das seguintes tecnologias, conforme apresentadas ao longo do capítulo 6:

- Fabrico através de processo FDM;
- Fabrico através de processo SLS;
- Fabrico através de processo *Multi-Jet Modelling* (MJM) e *PolyJet*®.

6 Fase 2 | Conceptualização do modelo de produção utilizando processos FDD

O modelo de negócio em estudo, tem como um dos pilares fundamentais, a manufatura personalizada do calçado, vista e escolhida pelo cliente final. Assim, a estrutura base deste pilar, Figura 34, assentará na proposta desenvolvida por uma equipa italiana (Marconi et al., 2019).

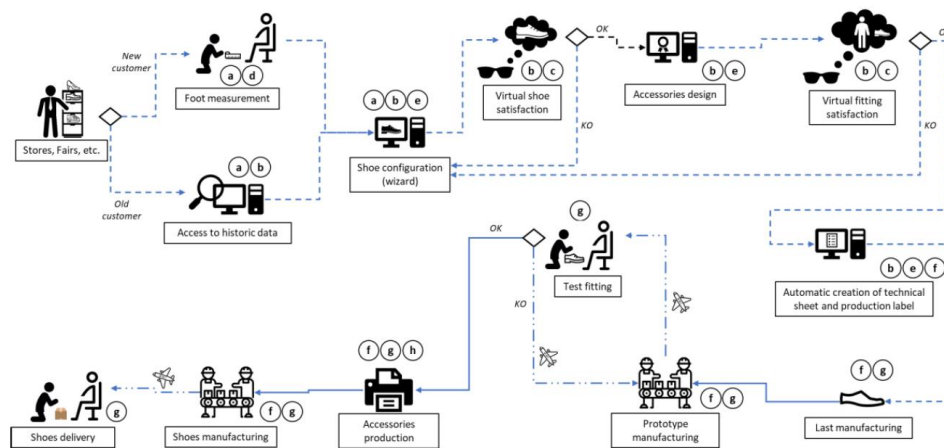


Figura 34: Modelo de negócio segundo o processo de customização de sapatos (Marconi et al., 2019)

O cliente dirige-se à loja da empresa com a intenção de comprar sapatos feitos à medida. A base de dados (DB) existente permite verificar se existem dados históricos disponíveis (como por exemplo, medidas de pé ou encomendas anteriores) e, nesse caso, carregar o perfil do utilizador para iniciar a configuração do sapato. No caso de novos clientes, o “sapateiro” regista-o/a e procede com a digitalização do pé. Em ambos os casos, o configurador baseado em CAD sugere, como ponto de partida, o último que melhor se adequa ao pé do cliente. Desencadeia uma espécie de oficina de design de calçado, onde o cliente interage com o sistema especializado para criar um sapato personalizado que satisfaça as suas necessidades. As regras adequadas, implementadas no configurador, permitem dar um preliminar feedback ao cliente sobre a viabilidade da sua solução, evitando problemas futuros. O segundo feedback é fornecido pelo modelo virtual de alta-fidelidade, de acordo com o qual o cliente pode melhorar a configuração. Existe também a possibilidade de criar acessórios personalizados (por exemplo, fivelas, iniciais, etc.) e

visualizá-los no modelo virtual. Através da utilização de marcadores apropriados e uma aplicação de software para dispositivos móveis, o sistema AR é capaz de projetar a customização do sapato sobre o pé do cliente, a fim de dar-lhe a sensação de usá-lo em tempo real. Neste ponto, o cliente tem a verificação final do design do sapato.

O cliente uma vez satisfeito, o pedido de sapatos é formalizado, e toda a informação gerada na loja (por exemplo, parâmetros biométricos, configuração de sapatos, acessórios) são transferidos para o sistema *Product Database/Lifecycle Management* (PDM/PLM), disponibilizá-lo para o processo de produção. A ficha técnica e a documentação de produção são geradas automaticamente, sem perdas de informação. Este processo digital permite que o processo seja mais rápido e mais eficiente, mantendo o equilíbrio certo entre qualidade, artesanato e tempo para o mercado. A produção segue os mesmos passos que no processo tradicional, no entanto o sucesso esperado no teste de montagem é maior e as fases iterativas são eliminadas ou pelo menos reduzidas (Marconi et al., 2019).

6.1 Produção suportada em tecnologias FDD

A característica deste modelo, pode trazer benefícios quando aplicadas a um novo conceito de produção, sendo corroborada pela análise de alguns estudos que apontam para a necessidade de reinventar o modelo de negócio (APICCAPS, 2013; Commission & Industry, 2012). Desta forma é necessário criar um pensamento estratégico organizado e implementado de forma coerente e continua.

Para conceptualização do modelo, recorremos ao caso prático da empresa de produção de calçado Jomarpi .Lda. Trata-se de uma empresa que trabalha com diferentes tipos de material para a manufatura do calçado, sendo eles a pele natural e sintética, bem como outros têxteis, dispondo de sistemas tradicionais, como máquinas de corte automático (CAD/CAM) que se fundem com a técnica e o conhecimento dos experientes colaboradores. De forma se destacar das demais, a Jomarpi, desenvolve e modela a maior parte dos produtos produzidos, baseando-se nas necessidades dos clientes, apostando na criatividade, originalidade e inspiração no conforto. Devido à tipologia, esta fábrica modela e executa as seguintes montagens de sapato: Montagem Plana, *Mocassim*, *Strobel*, *String* e *GoodYear*.

A Jomarpi realiza praticamente todo o trabalho dentro da fábrica, importando apenas alguns componentes que divergem da sua essência, como por exemplo as solas, as palminhas, as almas e os pequenos componentes de decoração, podendo estes ser de diversas tipologias ou conceções.

Para a decoração/customização do sapato, recorre a dois setores alternativos, a prensagem através da utilização de um carimbo personalizado metálico, onde é pressionado contra a pele, marcando-a com um decalque profundo; no mesmo setor ainda se pode encontrar o processo de estampagem a quente, que utiliza um carimbo personalizado aquecido, que ao entrar em contacto com a pele este deixa uma gravura de baixo-relevo. No último setor recorrem ao método tradicional de cravagem para a colocação de ilhós metálicos.

A Jomarpi é constituída por 3 (três) pavilhões de produção, figura 35, estando dois pavilhões dispostos na vertical partilhando a mesma face e um terceiro pavilhão mais à retaguarda. A ilustração da empresa poderá não estar totalmente correta.

O intento da visita teve como ponto fulcral, conhecer quais os equipamentos existentes e a ordem com que eram utilizados, bem como, que tipologia de sapatos eram mais comuns.

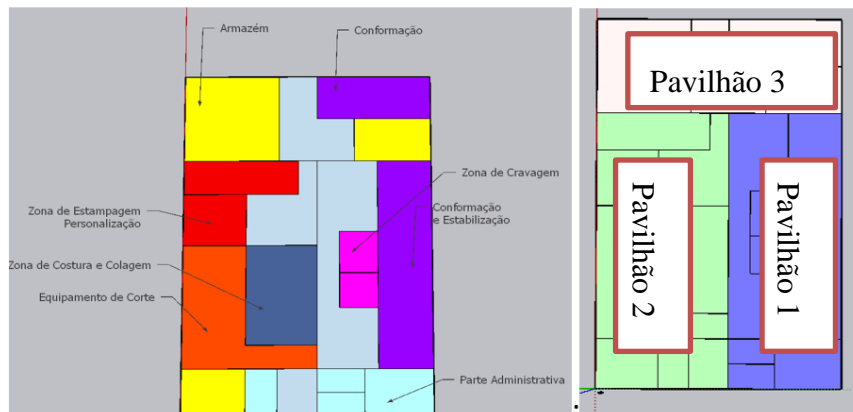


Figura 35: Esquema geral da apresentação da empresa, de fonte própria (SketchUp)

No 1º pavilhão, figura 35 demarcado a azul-claro, encontra-se um pequeno espaço destinado à Parte Administrativa, onde se podem encontrar os escritórios de desenvolvimento, na área da Qualidade, Produção e Desenvolvimento e da Gestão da empresa, estando o restante pavilhão setorizado e dedicado à produção fabril.

De uma forma visual, ao se entrar na área de produção, pavilhão 2, deparamo-nos imediatamente com vários sectores organizados, funcionais e sequenciais, de forma que o trabalho não fique parado no posto de trabalho anterior. Neste pavilhão encontra-se de forma sequencial, o pequeno armazém, representado a amarelo, que comporta as peles e os têxteis que estão a ser utilizados maioritariamente durante aquele lote de produção, e logo em seguida o sector do corte, a laranja, que é composto por uma máquina de corte por jato de água e uma máquina de corte por faca. A interface com as máquinas é totalmente feita no próprio equipamento, podendo se realizar a programação do próximo lote a ser maquinado, bem como selecionar apenas o componente individual desejado, estando estes dispostos no software por modelo e tamanho.

Cada máquina possui especificações próprias, sendo utilizadas para propósitos diferentes. A máquina de corte por jato de água é utilizada para o corte dos modelos dos têxteis devido a este não riscar nem alterar as propriedades dos materiais sintéticos. No momento da visita, a máquina não estava a ser utilizada para o corte dos componentes em pele, devido à espessura destes, sendo necessário a utilização da máquina de corte de facas. Esta adequada para o corte de pequenas séries devido à rápida rapidez e precisão.

Verificou-se que a máquina de corte por jato de água possui um sistema de otimização do espaço de trabalho que através do software consegue reorganizar as matrizes a cortar (modelo), tendo inicialmente identificado as anomalias presentes no rolo, como, rasgos, furos, queimaduras, proporciona um aproveitamento de cerca de 87% do material a utilizar.

Após o corte dos diversos moldes/componentes, estes são divididos e distribuídos, setor a azul-escuro, para as bancadas de trabalho dos funcionários por ordem de trabalhos (OT), auxiliando-se de uma folha de registo, onde se executam os trabalhos de montagem, das gáspeas e do traseiro. Após o seu término, os artigos e o registo dos trabalhos efetuados são colocados numa cesta e avançam para o próximo sector para dar continuidade ao trabalho. Devido à facilidade do processo no estado atual, qualquer componente que tenha que ser gravado ou marcado, através de prensa a quente/pressão, deverá efetuar essa etapa, no sector que se encontra posteriormente, antes de avançar para a próxima fase.

Findados os trabalhos manuais de costura, colagem e colocação dos forros, estes estão prontos para seguir para o próximo local de trabalho representado pela cor roxa.

Este localiza-se novamente no Pavilhão 1, onde se encontra os processos de conformação (quente e frio), que utilizam os sistemas de luva para dar forma final ao sapato. A conformação a quente ajuda a amaciar a pele, tornando-a mais maleável, enquanto a conformação a frio ajuda a fixar e a dar a forma final ao sapato.

O calçado é colocado numa forma (de madeira ou plástico), que reproduz a conformação do pé humano, determinando-se o estilo exato do calçado acabado. Inicia-se a costura do corte (parte superior) com o solado (entressola), seguindo-se a operação de colocação da sola e alguns pequenos adornos que possam ser usados durante o processo.

Paralelamente a este sector, encontra-se o sector do acabamento, preenchido a cor-de-rosa, onde se dá um tratamento extra ao sapato para que este fique com mais brilho.

Ainda neste espaço, existe um setor para se colocar outros elementos estéticos como os cordões, ilhós e pequenas marcações finais.

Após visita da empresa verificou-se que existe um enorme potencial de evolução no setor do calçado e dos curtumes, no entanto, é necessário explorar quais as necessidades dos clientes, bem como, até onde é que o cliente está disposto a diversificar e a se tornar único.

Rapidamente surgiu a necessidade de explorar esta lacuna, abordando a pesquisa sobre todo o conceito que envolve a produção e a customização do sapato. Após várias análises identificou-se que, neste momento, apenas existem coleções de sapatos personalizados baseados nas estações do ano, na moda atual ou seguindo um padrão próprio do estilista, existindo um enorme distanciamento com o consumidor final. Existe a necessidade de criar uma parceria entre o cliente, o comerciante e o modelador para se potencializar um novo paradigma. Auxiliados por sistemas informáticos CAD, Realidade Virtual/Realidade Aumentada e pelas mãos experientes dos artesãos que possuem o saber e a experiência de longa data, e que dominam a perícia de conceção, possibilitam o nascimento de um novo modelo de produção, representado pela figura 36.

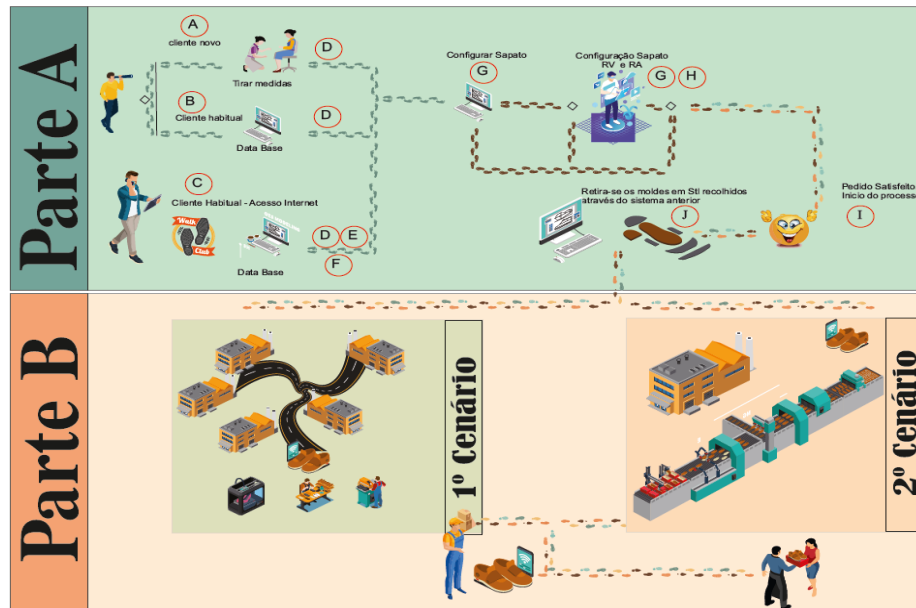


Figura 36: Modelo negócio proposto para o fabrico digital direto, fonte própria (CorelDraw)

Para a explicação do modelo de negócio proposto é necessário dividi-lo em 2 partes, A e B, sendo ambas igualmente compostas por diversas etapas, sendo abordadas mais à frente:

- Parte A: Idealização e escolha do modelo de sapato customizado;
- Parte B: Conceção do modelo apresentado.

6.2 Modelação de sapato piloto

Para iniciar este capítulo, foi necessário criar modelos de sapato, tendo-se optado pela linha clássica de sapatos para homem. Para a criação destes modelos, utilizou-se o software *SolidWorks*, (SolidWorks Corp & Dassault Systèmes, 2021) que permite a criação e montagem de objetos em desenhos 3D e 2D.

Através deste software foi possível a conceção de alguns componentes, quer sejam estruturais ou decorativos de modo a ser possível a criação de uma biblioteca de artigos que tem como finalidade proporcionar diversidade e unicidade ao produto final escolhido pelo cliente.

Outra possibilidade seria a utilização do software *RhinoCeros*, (The Institute of Biomechanics of Valencia and Robert McNeel & Associates, 2005) que disponibiliza ferramentas avançadas para a projeção dos diversos componentes do sapato.

Na figura 37, a título exemplificativo, encontra-se algumas peças desenvolvidas que irão fazer parte da base de dados para serem utilizadas com escolha e customização do cliente.

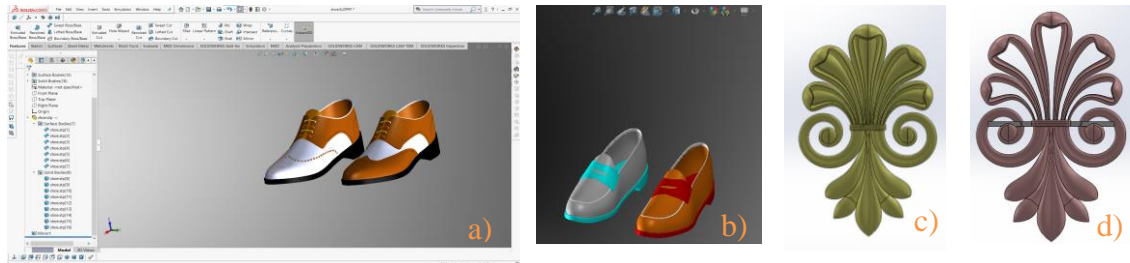


Figura 37: a) e b) Desenvolvimento do sapato e customização de cores; c) Desenvolvimento acessório; d) Versão customizada do acessório criado, de fonte própria (SolidWorks)

A utilização deste software potencializa a visualização do objeto com uma panóplia de cores infindáveis, figura 38, permitindo assim a criação de um vasto leque de possibilidades de escolha.

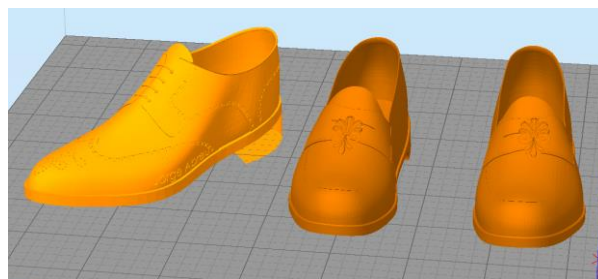


Figura 38: Modelação das peças com os acessórios e personalização de nome, utilizando um software de fatiamento Simplify 3D (extensão .STL), de fonte própria (SolidWorks)

Para que estes modelos possam ser utilizados futuramente, é necessário gravar os mesmos com a extensão “STL” e alocá-los na base de dados, para visualização do mesmo através de Realidade Virtual.

Durante as várias pesquisas, verificou-se que existem aplicações para Smartphone que utiliza um sistema que permite escolher diferentes tipos de sapato. Contudo esta não permite a possibilidade de alterar cada componente individualmente, nem a hipótese de carregar os modelos previamente modulados.

6.3 Aplicações para Smartphone

- **WannaKicks**

A aplicação em questão denomina-se por *WannaKicks* (Fedorova, 2021), e tem como principal objetivo detetar o formato do pé, criar uma imagem do sapato escolhido e aloca-lo nas coordenadas identificadas, criando desta forma uma experiência virtual da utilização do protótipo, figura 39.

A aplicação inclui vários estilos diferentes de marcas populares como *Nike*, *Adidas*, *Puma*, *AIR Jordan* e *Yeezy*, com a opção de os comprar diretamente, já que todos os modelos têm uma página com informações úteis e um link para a loja oficial.



Figura 39:Realidade Aumentada através da aplicação *WannaKicks*, adaptado de Fedorova, 2021

Tal como esperado, a marca *WannaKicks* afirma que a experiência de artigos digitais 3D, potencializam o incentivo à compra, uma vez que os consumidores sentem uma ligação mais profunda ao produto (Fedorova, 2021).

Seguindo as pisadas dos conteúdos digitais, aumentando as possibilidades de customização dos vários componentes, permite a existência de uma maior liberdade de escolha, levando desta forma a uma nova experiência de luxo personalizada. Os estilistas das várias marcas irão poder desenhar os mais ousados e estilosos componentes de sapato, visualizando imediatamente a aprovação por parte dos novos compradores.

- **SneakerKit**

Latente na mesma linha de pensamento, os desenvolvedores da *Vyking LTD* (Rui, 2021) produziram uma aplicação que permite ao utilizador visualizar os sapatos presentes na “base de dados”, nos pés através do recurso da camera do próprio telefone, conforme é possível ver pela Figura 40.



Figura 40:Realidade Aumentada através da aplicação *SneakerKit* da *Vyking LTD*, adaptado de Rui, 2021

Identificou-se que esta aplicação utiliza um recurso de edição online que permite:

- Importar os seus modelos 3D;
- Posicionar em 3D;
- Pré-visualizar dentro da aplicação do "SneakerKit";
- Exportar e difundir rapidamente os seus ativos 3D para iOS, Android e Web.

Contudo, a utilização desta plataforma de edição é restrita, estando apenas disponível para membros de design registados através de convite (Rui, 2021).

6.4 Proposta de Produção FDD do sapato piloto

Numa primeira instância, recorrendo ao panorama desenvolvido e representado pela Figura 41, o processo de aquisição do sapato customizado pode iniciar-se através de 2 (duas) formas, através do contacto direto com uma loja de sapataria aderente (A), ou simplesmente acedendo ao site/Base de dados (F), estando este ponto mais dirigido para utilizadores que já possuam previamente os seus dados antropomórficos, onde se iniciará o restante processo.

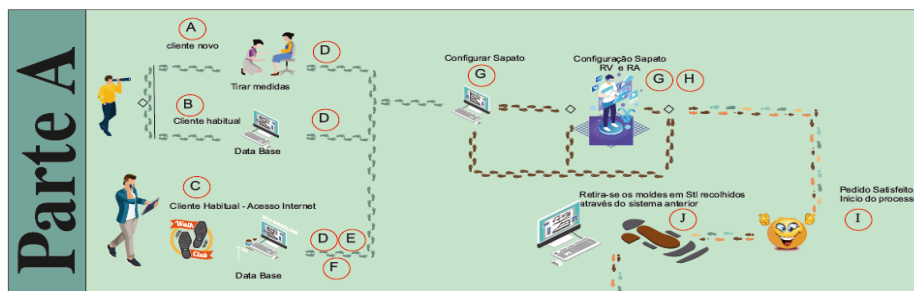


Figura 41: Esquema de negócio proposto - Parte A, de fonte própria (CorelDraw)

No caso (A) o lojista numa primeira etapa através de instrumentos apropriados, (D), retira todas as medidas necessárias para a manufatura do sapato, desde comprimentos e largura da faixa plantar, bem como mede a pressão plantar executada pelo cliente, conforme alguns métodos presentes no capítulo 5, desbloqueando automaticamente se este possui uma pegada simétrica ou se é necessário haver pequenas correções nos modelos a produzir, Figura 42.

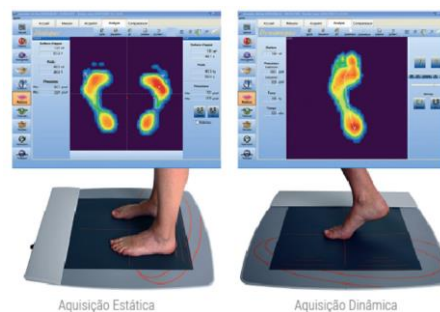


Figura 42: Aquisição de dados pressão plantar através de situações estáticas e dinâmicas, de ReProgramar, 2021

Para executar estas medições os lojistas terão sistemas de plataforma (que possuem sensores em matriz) para a realização de uma leitura “contínua” de dados, que permitem a determinação da pressão em toda a planta do pé, quer em situações estáticas ou em marcha. Por forma a otimizar e a tornar os dados da marcha mais fiáveis o utilizador terá que pisar o tapete descalço e, no caso de se procurar estudar um comportamento dinâmico, primeiro deve dar umas passadas iniciais fora da plataforma, calcando-a seguidamente, para que todo o procedimento possa corresponder o mais possível à realidade (Silva, 2015).

Após o conhecimento rigoroso da distribuição das pressões plantares, devem seleccionar-se, antes da fase de modelação, os materiais disponíveis e mais adequados para o fabrico do sapato, identificados no capítulo 3.2, em especial, da palmilha e sola, sendo criteriosamente seleccionados pelo consumidor final.

Conforme foi visto anteriormente, no caso de o utilizador efetuar o acesso através da plataforma, (C), este poderá introduzir os seus dados antropomórficos; a) caso já tenha adquiridos os dados através do descrito em (D); b) de uma forma aleatória ou baseado no costume de aquisição (E), tornando-se numa forma muito pouco precisa; c) através da aquisição de dados através do auxílio de RA (F), sendo também uma forma, ainda com alguma imprecisão.

Para a aquisição dos dados utilizando a RA, o utilizador pode recorrer ao uso da camara do smartphone e, utilizando, por exemplo, uma ferramenta desenvolvida pela “NIKE”, Figura 43, que através de uma interface relativamente simples, permite a medição do tamanho dos pés com um erro aproximadamente de 2mm. Para a realização da medição, a aplicação pede para o utilizador se encostar a parede e apontar o aparelho para os pés, permitindo assim que se crie as matrizes necessárias para a aquisição dos dados, obtendo-se assim uma medição individual dos membros, salientando o tamanho, a volumetria e forma de cada pé.

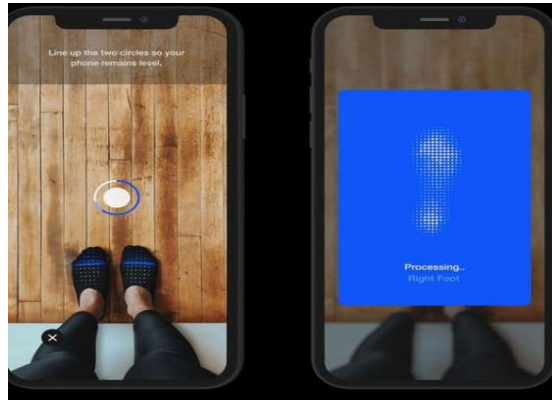


Figura 43: Medição através de RA, sistema integrado pela NIKE ,adaptado de Nike, 2019

Da mesma forma que verificado pelo cenário (A), quando se fala de um cliente antigo, este, ao interagir com uma loja credenciada de sapatos, apenas necessita efetuar a ligação à Base de Dados (B) para entrar no seu perfil e terá acesso a todo o histórico de medições (D), obtidas anteriormente, compras e sugestões consoante as suas escolhas.

Após entrada na Base de Dados, inicia-se o processo de escolha do sapato, podendo este ocorrer em duas etapas consecuentes, ou em simultâneo, (G) e (H). Isto é, o utilizador poderá customizar todo o seu sapato na máquina (G), com toda a panóplia de possibilidades, e posteriormente com o auxílio de camaras dispostas no ambiente da loja;(ou) com o auxílio da camara do telefone através de uma aplicação; visualizar o aspeto final, podendo simplesmente ocorrer sincronamente num mundo de RA em que visualiza e altera em simultâneo.

Finalizada com elevada satisfação a escolha customizada do sapato (I), dá-se início ao processo de criação do modelo (J). Devido ao facto de todas as variações dos diversos modelos se encontrarem numa Base de Dados, é possível automaticamente gerar os ficheiros STL. de cada componente, agora customizado, identificado no capítulo 4.1. Desta forma é possível obter a planificação com todos os componentes do sapato customizado para que se possa enviar futuramente para as fábricas de produção (G), Figura 44, bem como a ficha técnica do produto para especificar quais os materiais a utilizar, Figura 45. Nesta imagem, retirada da empresa “grupoBT.pt”, verificamos todas as especificações das peças a usar para aquele modelo em específico e para uma determinada faixa de tamanhos (33 ao 46). No cenário explanado, a ficha técnica será

única quando comparado com os demais modelos, refletindo as características únicas escolhidas.



Figura 44: Planificação do sapato, adaptado de (Pinterest, 2021)



Figura 45: Exemplo de Ficha Técnica com as características de construção do sapato, de Livrozilla, n.d.

A combinação eficaz entre o método clássico com as novas tecnologias criam um novo processo de desenvolvimento de produtos baseado no paradigma "ver, desenhar, comprar" e na produção personalizada "único". Este será um processo impulsionado por dois pilares comuns que produzem artigos de luxo: design centrado no utilizador e produção à medida.

Os cenários têm como ponto em comum a análise da possibilidade da criação de um mercado do calçado centralizado, aumentando a visualização e a proximidade ao cliente final, potenciando as vendas.

Inicia-se, neste ponto, os vários cenários propostos, Figura 46, para a manufatura do sapato previamente escolhido:

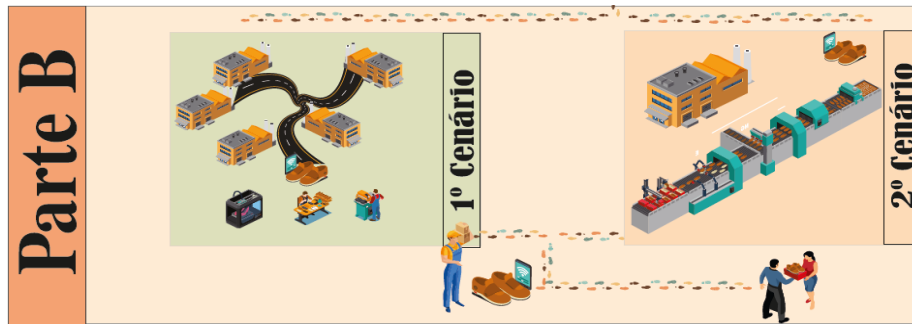


Figura 46: Desenvolvimento dos cenários propostos - Parte B, de fonte própria (CorelDraw)

6.4 Cenário 1 “Produção mista – Recurso a tecnologias de FDD”

Este cenário surge como sendo uma interligação entre o lojista a retalho e a rede de distribuição das fábricas dos diversos componentes do sapato, Figura 47.

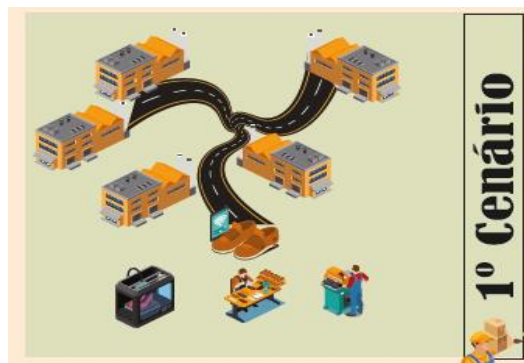


Figura 47: Proposta do cenário 1, de fonte própria (CorelDraw)

As partes do calçado geralmente são fabricadas de forma independente, no entanto necessitam de ter conexões umas com as outras conforme verificado no capítulo 2.3. Nos dias de hoje por questões de especialização e económicas, maioritariamente cada parte é concebida em locais diferentes sendo posteriormente realizada a montagem numa fábrica centralizada ou especializada para tal. As questões do volume e a complexidade quer dos equipamentos, quer do próprio processo de manufatura clássica nos diversos fatores, fomenta que haja uma descentralização do produto.

Este cenário segue a linha de pensamento da descentralização de trabalho, estando caracterizado por um espaço bastante reduzido, quando comparado a uma fábrica

clássica, justificado pela existência de uma única tarefa, ligação das várias partes do sapato e colocação de elementos de customização.

O facto das diversas peças serem provenientes de fábricas específicas ou características, permite a diminuição do desperdício provocado pelas etapas de produção e manufatura da matéria-prima, do consumo energético geral e da necessidade de precaver um stock variado de têxteis. Neste cenário em particular o grande impacto existente reside essencialmente dos consumos médios provenientes no transporte dos vários componentes.

No entanto, este cenário está constantemente dependente dos tempos de disponibilidade e do fabrico das demais fábricas, dificultando o planeamento, a gestão e o compromisso com as tarefas seguintes.

Este pequeno espaço deverá ser composto por essencialmente 3 (três) setores:

- Administração – Receção, Gabinete Administrativo;
- Área de Montagem;
- Área de Desenvolvimento e Produção Aditiva.



A Área Administrativa tem como objetivo o desenvolvimento de novos produtos e essencialmente a interação com exclusividade com o cliente.

Para que haja um bom e fluido trabalho, a área da montagem será dividida da seguinte forma:

- Bancada de trabalho contemplando uma máquina de costura, onde se efetuará os trabalhos mais minuciosos de união dos materiais, bem como máquinas para realização de processos de vulcanização de solas.
- Impressora que possua alta resolução para permitir impressão de eventuais palmilhas e acessórios. Como critério fundamental, a mesma também deverá ser fácil de manusear, possuir uma elevada taxa de velocidade e uma lista de materiais diversificados (rígidos, elastómeros, compósitos, resinas)

Na Tabela 5, identifica-se um conjunto de equipamentos, de diferentes categorias que cumprem as especificações que foram estipuladas no tópico anterior:

Tabela 5: Equipamento para produção de palmilhas e acessórios, de fonte própria

Equipamentos para produção de palmilhas, acessórios e personalização			
	ProJet MJP 2500	Speedy 100	Hp Multi Jet Fusion 4200
Imagem			
CATEGORIA	2ª Cat. Material Jetting	Laser printer	3ª Cat. Binder Jetting
Tecnologia	MultiJet Printing (MJP)	Laser CO2	Multi Jet Fusion (MJF)
Preço aproximado, Euros	± 20 000	Não foi possível recolher informação	±120 000
Volume de construção, mm	294 X 211 X 144	610 x 305 mm	2210 X 1200 X 1448
Resolução DPI	600 X 900 X 790	Não foi possível recolher informação	1200
Fonte Alimentação	220-240 VAC, 50 HZ, 10A, FASE	AC 110-230V 50/60Hz;	220–240 VAC, 50–60 HZ
Laser	Não se aplica	30 – 60 w	Não se aplica
Espessura de camada, µm	32	200	80
Tamanho do sistema, mm	1120 X 740 X 1070	1018 x 784 x 467	3700 X 3700 X 2500
Accuracy, mm	0.025-0.05	Não foi possível recolher informação	Não foi possível recolher informação
Peso, kg	325	95	750
Ref. Internet	https://www.3dsystems.com/3d-printers/projet-mjp-2500-series	https://www.troteclaser.com/pt/maquinas-a-laser/gravadora-laser-speedy/	https://3dprinting.com/products/industrial-3d-printer/hp-jet-fusion-3d-4200/

Na área de investigação, executam-se todos os trabalhos de programação, pesquisa de tendências para futuras modelações e integração dos modelos em base de dados. Neste setor não é necessário nenhum equipamento em especial para laborar.

De uma forma geral, verifica-se que o facto de todo o processo ser através de aquisição dos vários setores especializados, poderá haver modelos em que seja difícil a introdução de decalques através de prensa. Desta forma, restringiu-se o uso aos equipamentos de gravação a laser.

6.5 Cenário 2 “Produção de calçado com recurso à tecnologia do FDD”

Segundo Tony Miranda, criador Português ligado à Alta Costura, num artigo elaborado pela CTCP (2014), afirma que “é importante controlar todo o processo de fabrico. O desenvolvimento criativo e as escolhas dos materiais não chegam, é importante estar por detrás de todo o trabalho, acompanhar o seu nascimento e os primeiros passos...” (CTCP, 2014).

A parceria entre o cliente, o comercial e o modelador, apoiados por sistemas informáticos CAD, possibilita o nascimento do protótipo pensado de raiz para uma futura industrialização.

Findada a necessidade de obtenção de informação, procedeu-se à criação de uma “fábrica modelo”, cenário 2 proposto conforme a Figura 48. Assente na cultura tradicional, contudo com um carácter inovador patenteado na utilização das novas tecnologias e na natureza independente, tem como ambição a realização de todo o processo desde a conceção/corte de todos os modelos até à montagem, concluindo com o embalamento e entrega.

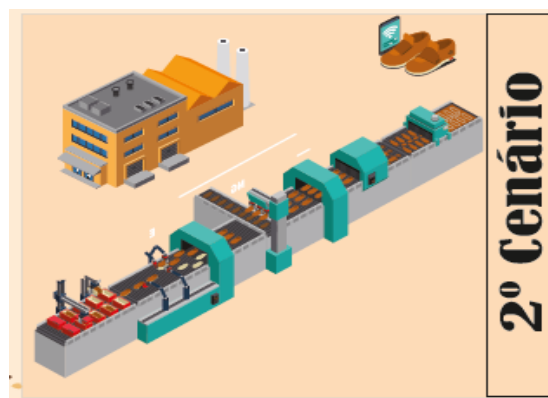


Figura 48: Proposta de cenário 2, de fonte própria (CorelDraw)

De forma a não se tornar mais um modelo de fábrica regular foi possível incluir alguns sistemas de otimização através da inclusão de tecnologia, podendo-se identificar as várias estações de armazenagem, locais de corte e preparação inicial, os itinerários a serem percorridos pelo material em manufatura, bem como os locais de armazenagem e pós processamento que inclui embalagem e expedição.

Para o desenvolvimento desta estrutura utilizou-se o software “SketchUp” versão 2021,(Grover, 2009) Figura 49, que permite de uma forma rápida e bastante elaborada projetar a configuração da estrutura fabril, com recurso às novas tecnologias, de fabrico de sapatos customizados.

A estrutura da fábrica foi desenvolvida e projetada sob 5 (cinco) pilares essenciais, Armazenagem e Logística; Produção; Desenvolvimento e Design; Administração; Centro de Expedição, urgindo todas as nuances e particularidades de cada uma delas. Ao se projetar a fábrica, Figura 42, quer a nível de crescente de produtividade, bem como a nível funcional, foram identificadas áreas de passagem (corredores), setores de trabalho manual delimitados com linhas de segurança e setores de trabalho móveis.



Figura 49: Proposta de Fábrica de Calçado através de Fabrico Aditivo, de fonte própria (SketchUp)

Para uma melhor identificação do que está projetado pela Figura 49, os sectores de atividades possuem cores diferenciadas, mostradas pela Tabela 6:

Tabela 6: Identificação das atividades nos setores através de cores

Cor Azul	Sectores onde predomina o trabalho manual realizado pelos colaboradores;
Cor Vermelho	Sectores com elementos móveis (rotacionais);
Cor Cinzento	Corredores de passagem dos colaboradores
Cor Amarelo	Delimitação das áreas de Segurança
Cor Azul-Escuro	Sectores onde circulam veículos ou equiparados conduzidos pelos colaboradores.

Para uma facilidade de visualização, a imagem 50, através de um processo de numeração sequencial, identifica os espaços de trabalho elencados na Tabela 7. A numeração presente também tem como função, explicar de uma forma linear todo o processo de fabrico do sapato.

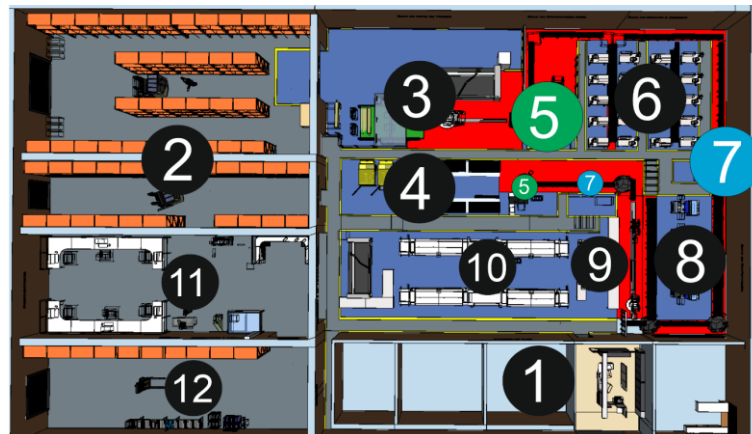


Figura 50: Identificação dos setores de trabalho, de fonte própria (SketchUp)

Tabela 7: Identificação dos setores através de algarismo, de fonte própria

1	Receção, Gabinetes e Balneários
2	Armazéns
3	Corte de Pele e Têxteis
4	Zona de produção de Palmilhas, Solas (Almas)
5	Colocação de Identificação RFID
6	Zona de Costura e Colagem
7	Pórtico de Controlo de Qualidade
8	Zona de Conformação
9	Montagem do Sapato
10	Estabilização a quente e a frio
11	Gabinete de desenvolvimento, Personalização e Controlo de Qualidade
12	Expedição

Receção e produção de ordem de trabalho

Neste ponto, identificado pela Figura 51, localizam-se as áreas de lazer e vestuários dos colaboradores e a área administrativa (receção e gabinete das chefias) que é responsável por toda a aquisição dos pedidos efetuados pelos lojistas aderentes. Neste processo de aquisição é rececionado o pedido, bem com todos os componentes em formato STL., acompanhado com a ficha de produto que identifica quais os materiais e cores correspondente foram escolhidos.



Figura 51: Setor Administrativo, de fonte própria (SketchUp)

Após receção e análise do pedido elabora-se uma Ordem de Trabalho (OT) de modo a iniciar todo o processo de fabrico, onde é disponibilizada na rede da empresa por forma a todos os sectores estarem em sintonia. Este sector ainda é responsável por numerar e aglomerar os pedidos por padrão, de modo a maximizar a utilização da pele e dos têxteis.

Armazéns

Devido à tipologia e atividade desta fábrica é imprescindível a existência de grandes armazéns para que se possa arrecadar as mais diversas variações de cores e texturas necessárias ao longo fabrico diferenciado.

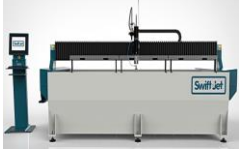
A fábrica é composta por 2 (dois) armazéns semelhantes, contudo com matérias-primas de diferentes tipologias e condições de armazenagem (humidade e temperatura) que abastecem 2 (dois) setores distintos. Estes armazenam matéria-prima têxtil, polímeros e metais nos seus diversos estados.

Os armazéns são responsáveis por disponibilizar a matéria-prima a ser usada em cada OT, de modo a minimizar o desperdício e as falhas de identificação.

Corte de Pele e Têxteis

Este sector inicia o trabalho após confirmar a matéria-prima proveniente do armazém, de modo a haver uma dupla confirmação do pedido. Posteriormente o rolo da matéria-prima é levado para as “plotter” de recorte, com o auxílio de carros automatizados. Neste caso, estão disponíveis a máquina de corte por jato de água, bem como a laser que são equipamentos CNC, isto é, equipamentos controlados por computador; está também disponível uma prensa que utiliza cortantes para os trabalhos com menos volumes ou isolados. Para estes equipamentos identificaram-se, Tabela 8, as possíveis características:

Tabela 8: Equipamento de corte, de fonte própria

Equipamentos para corte de modelos			
	Laser hyprecision 50	Lf13251c	Xyj-2/10
Imagem			
Tecnologia	Jato de água	Laser co2	Hidráulico Cortantes
Velocidade de corte	15m/min	30m/min	Não se aplica
pressão	30hp/22kw; 60,000 psi	Não se aplica	10toneladas
Potencia Laser	Não se aplica	150w	Não se aplica
Fonte Alimentação	Não foi possível identificar	220V/380V 50Hz/60Hz	Não foi possível identificar
Espessura de camada, µm	50.8	até 20mm	Não se aplica
Área de trabalho	1600 x 3100 mm	2500mm x1300 mm	370x280 mm
Precisão	0.0150mm	±0.02mm	Não foi possível identificar
Ref. Internet	https://www.macsolu.pt/maquinas-corte-jato-de-agua	https://www.gweikecnc.com/pt/laserdefibra/462.html	https://pt.made-in-china.com/co_ycxyjx/product_10t-Small-Hydraulic-Press-Leather-Shoe-Making-Machine_egueuoghg.html

O processamento de corte, gravação, perfuração e escavação do couro pode ser efetuado numa única tarefa (através das tecnologias apresentadas de jato de água e laser), economizando tempo, conveniência e alta eficiência.

Terminada a ação de corte dos vários componentes o trabalhador efetua pequenas marcações consoante a OT a que pertencem para que seja mais fácil a sua identificação. Posteriormente acionado o sensor que autoriza um braço mecânico a retirar as peças e a colocá-las no tapete rolante para seguirem para o sector seguinte (ponto 5).

Zona de produção de Palmilhas, Solas e Almas

Independentemente de o processo de fabrico de calçado ser considerado tradicional ou mais automatizado, as palmilhas devem ser fabricadas de acordo com a forma exata do pé. Contudo, nesta fábrica ir-se-á se abordar a utilização com recurso aos meios tradicionais e ao meios de fabrico aditivo, devido ao facto de, apesar de existir um aconselhamento para a utilização de palmilhas e solas adequadas ao pé por forma a tornar o calçado mais confortável, baseando essencialmente no registo da pressão plantar, acredita-se que a generalidade dos consumidores não irão ter este aspeto tão em conta, visto ser uma componente que não tem grande destaque visual, e, por esse motivo ainda se apostar nas tecnologias convencionais de produção, conforme se representado pela Figura 52.



Figura 52. Zona de produção de almas, palmilhas e solas, de fonte própria (SketchUp)

Desta forma o espaço ir-se-á dividir com equipamento específico para a produção de palmilhas e solas, baseando nas tipologias conhecidas e abordadas no capítulo 5 (Tecnologia aplicada à fabricação de Palmilhas e Solas) e por equipamento específico para produção de almas metálicas, que terá a seguinte configuração identificado nas tabelas 9, 10 e 11:

Tabela 9: Equipamento específico para produção de palmilhas, solas e almas, parte 1, de fonte própria

Equipamentos para produção de palmilhas, solas e almas			
	ProJet MJP 2500	Objet 30Prime	Hp Multi Jet Fusion 4200
Imagem			
CATEGORIA	2ª Cat. <i>Material Jetting</i>	2ª Cat. <i>Material Jetting</i>	3ª Cat. <i>Binder Jetting</i>
Tecnologia	<i>MultiJet Modeling (MJM)</i>	<i>PolyJet</i>	<i>Multi Jet Fusion (MJF)</i>
Preço aproximado, Euros	± 20 000	± 50 000	±120 000
Volume de construção, mm	294 X 211 X 144	826 X 600 X 620	2210 X 1200 X 1448
Resolução DPI	600 X 900 X 790	600 X 600 X 1600	1200
Fonte Alimentação	220-240 VAC, 50 HZ, 10A, FASE	220-240 VAC, 50-60 HZ, 3.5 A	220-240 VAC, 50-60 HZ
Espessura de camada, µm	32	De 16 a 36	80
Tamanho do sistema, mm	1120 X 740 X 1070	294 X 192 X 148.6	3700 X 3700 X 2500
Accuracy, mm	0.025-0.05	Abaixo 100 mm – ±100µm	Não foi possível recolher informação
Peso, kg	325	106	750
Ref. Internet	https://www.3dsystems.com/3d-printers/projet-mjp-2500-series	https://www.stratasys.com/3d-printers/objet30#objet-30-table	https://3dprinting.com/products/industrial-3d-printer/hp-jet-fusion-3d-4200/

Tabela 10: Equipamento específico para produção de palmilhas e almas, parte 2, de fonte própria







Equipamentos para produção de palmilhas e solas			
	CreatBot F430	Roboze ARGO 500	Markforged Metal-X
Imagem			
Categoria	4ª Cat. <i>Material Extrusion</i>	4ª Cat. <i>Material Extrusion</i>	4ª Cat. <i>Material Extrusion</i>
Tecnologia	<i>Fused deposition modelling (FDM)</i>	<i>Fused deposition modelling (FDM)</i>	<i>Fused Deposition modelling (FDM)</i>
Preço aproximado, Euros	± 5 000	± 175 000	±100 000
Volume de construção, mm	400*300*300	500 X 500 X 500	300 X 220 X 180
Resolução DPI	12.7 µm	Não foi possível recolher informação	Não foi possível recolher informação
Fonte Alimentação	200V-240V / 50-60HZ	220-240 VAC, 50-60 HZ	200-240 VAC (12A / 6A)
Espessura de camada, µm	0.04/0.5 MM	10	50
Tamanho do sistema, mm	620*485*680	935 X 1436 X 2375	575 X 467 X 1120
Accuracy, mm	0.01	Não foi possível recolher informação	Não foi possível recolher informação
Peso, kg	48	1500	75
Ref. Internet	https://www.creatbot.com/en/creatbot-f430.html?gclid=eaiaiqobchmizqkv_g_c_p9aiv0edech24xqvxeayasaegkj__d_bwe#tech-specs	https://www.roboze.com/en/3d-printers/argo-500.html	https://markforged.com/3d-printers/metal-x

Tabela 11: Equipamento específico para produção de palmilhas e almas, parte 3, de fonte própria

	Equipamentos para produção de almas		Equipamento Exclusivo para Entressolas
	EOS P 500	DMP FLEX 100	DLP STATION 5-365 EXZ
Imagem			
Categoria	4ª Cat. <i>Power Bed Fusion</i>	4ª Cat. <i>Power Bed Fusion</i>	1º Cat. <i>Vat photopolymerization</i>
Tecnologia	<i>Selective Laser Sintering (SLS)</i>	<i>Direct Metal Laser Sintering (DMLS)</i>	<i>Direct Laser Processor (DLP)</i>
Preço aproximado, Euros	Não foi possível recolher informação	Não foi possível recolher informação	Não foi possível recolher informação
Volume de construção, mm	500 x 330 x 400	100 x 100 x 90	190 x 107 x 450
Fonte Laser	Co ₂ , 2 x 70 w	Co ₂ , 100 w fibra	2k ultra HD
Velocidade de deslocação m/sec	Até 2 x 10		75 mm per hour
Fonte Alimentação	400 v / 100 a	230 v/ monofásica	110-240 v/ monofásica
Espessura de camada,	120 µm	10MM A 100MM	6 A 500 MM
Tamanho do sistema, mm	3400 x 2100 x 2100	1210 x 1720 x 2100	588 x 461 x 1333
Peso, kg	7000	1300	136
Ref. Internet	https://www.eos.info/en/additive-manufacturing/3d-printing-plastic/eos-polymer-systems/eos-p-500	https://br.3dsystems.com/3d-printers/dmp-flex-100	https://www.atum3d.com/products-dlp-365-exz.php

A necessidade de ter uma impressora SLS, pós metálicos, advém da vasta variação na configuração das solas, sendo necessário a criação de diferentes almas. Através desta solução consegue-se alcançar um ponto fulcral na produção do sapato a um preço reduzido e com uma pegada ecológica mais reduzida.

Para o processo de fabrico das almas é imprescindível seguir determinadas etapas, conforme apresentadas pela Figura 53. Primeiro modelação em software e posteriormente impressão. Após se realizar a impressão, a peça deverá ser lavada para se retirar todo e qualquer resíduo de pó metálico, terminando com a necessidade de sinterização do material em forno.

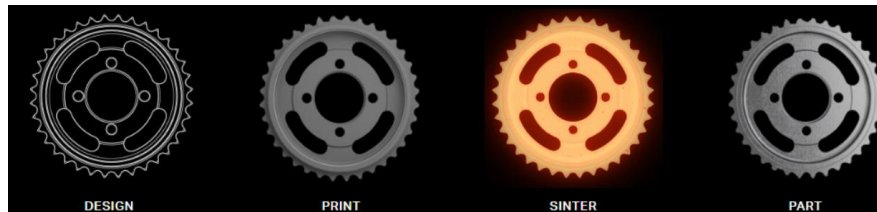


Figura 53: Processo de sinterização de material, de Ramirez, 2018

Colocação de Identificação RFID

O facto de se trabalhar com constantes pedidos de produtos dispares uns dos outros, exige uma necessidade de maior gestão e controlo, o que implica empregar uma identificação RFID para cada componente do sapato. Desta forma, além de se saber exatamente em que fase está o produto, consegue-se através de uma interface informar o cliente da percentagem de conclusão do seu pedido. Ao longo da fábrica estão dispostos 3 (três) pontos para colocação de etiquetas de referenciação. Numa primeira instância, todos pequenos componentes são referenciados com uma etiqueta de papel com um código de barras (nesta é colocado o código com o pedido OT, data de pedido, e numeração do componente). Após assemblagem dos diversos componentes, é introduzida a etiqueta RFID conforme Figura 54, para futura e constante referenciação do sapato.



Figura 54: Sistema de localização através de rádio frequência, (Zetes, 2021)

Através da Figura 55, demonstra-se como está identificada a zona de referenciação. Numa primeira fase o colaborador identifica cada um dos componentes com a etiqueta com o código de barras e coloca os no tapete giratório. A leitura do código, aciona o sensor (caso o leitor detete o código de barras), e faz com que o braço automatizado faça a movimentação para o novo tapete rolante.

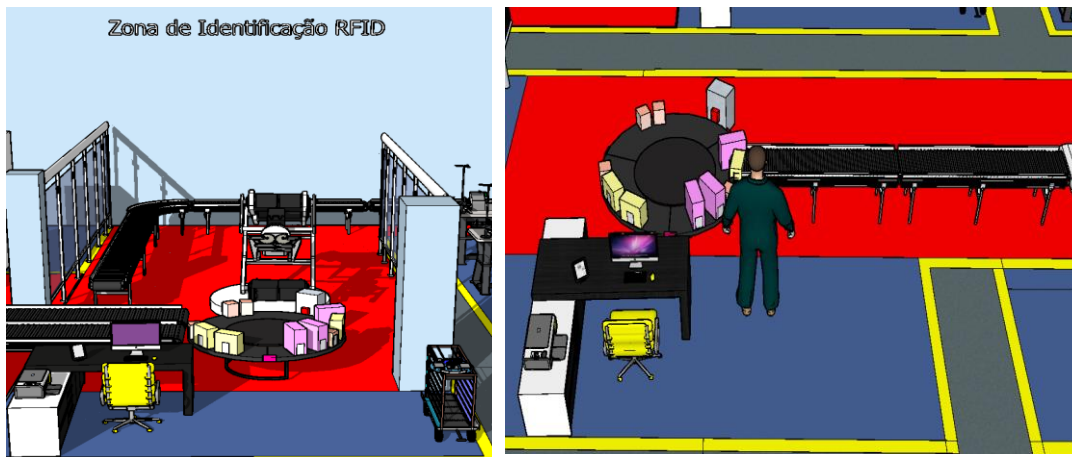


Figura 55: Locais de referenciação planeados, de fonte própria (SketchUp)

Após a assemblagem de todos os componentes, este dirige-se para um tapete final, onde é colocado uma etiqueta final com o código RFID de modo que seja possível localizar o produto final em todas as fases posteriores (Localização em armazém, transporte, entrega final).

Zona de Costura e Colagem

Este local, Figura 56, identifica-se muito com os já existentes nas fábricas por forma a garantir um nível de excelência. Como foi referido anteriormente, a capacidade e as habilidades intrínsecas no manuseamento dos diversos componentes, enaltece a permanência da mão humana na manufatura dos sapatos. A capacidade de determinar se os componentes se conjugam harmoniosamente, ou se é necessário realizar alguma tarefa de desbaste ou corte, apenas é possível graças ao imenso talento dos colaboradores.

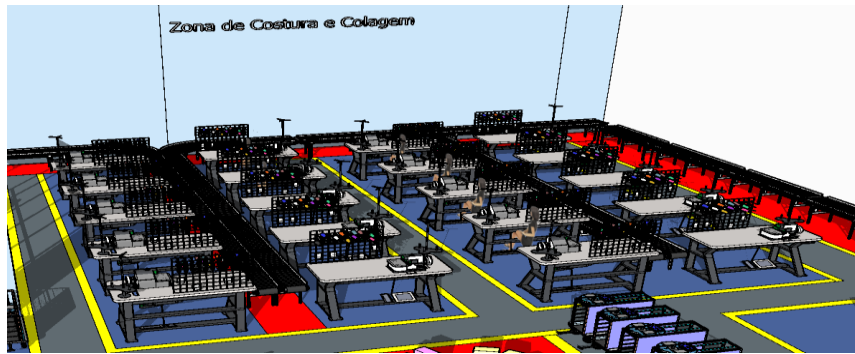


Figura 56: Zona de Costura e Colagem de componentes, de fonte própria (SketchUp)

Nesta fase, além de costura, também se realiza a colagem de algumas partes do sapato, como por exemplo os forros e os contrafortes que normalmente são fabricados em material não-tecido impregnado por cola, couro ou termoplástico.

Segundo Silva, (2015), de uma forma simples o contraforte pode ser laminado, extrudidos ou injetado, sendo o mais usual, o laminado. Este é composto por material não-tecido, é cortado através dos cortantes (efetuado previamente na etapa 3) geralmente em forma de asas de borboleta, e posteriormente impregnado por cola (normalmente de base solvente), para endurecimento e seguidamente introduzido no interior do traseiro para que possa ser termo conformado.

Pórtico de Controlo de Qualidade

Para que haja um elevado fator de produtividade, este tem que estar assente nos parâmetros ideais de qualidade do produto, Figura 57. Importa desde cedo identificar se o modelo está a ser bem concebido e sem falhas, respeitando integralmente o que foi selecionado pelo cliente de modo a avançar para a próxima estação.

É possível detetar eventuais problemas vindos dos anteriores sectores de fabrico, como por exemplo:

- Erros técnicos de modelação;
- Contraforte incorretamente moldado;
- Gáspeas incorretamente vergadas;
- Defeitos da pele;
- Pele com pouca maleabilidade;
- Sentido de distensão incorreto;
- Peças mal posicionadas;
- Cravados irregulares;
- Falta de cravados;
- Vazados irregulares;
- Etc..

Graças ao sistema de código de barras implementado nos diversos componentes é extremamente fácil identificar a que OT pertence, e realizar de um modo rápido se cumpre todos os parâmetros.

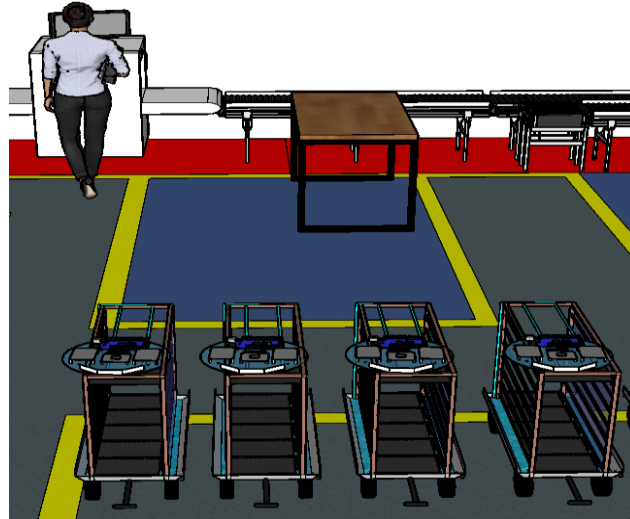


Figura 57: Controlo Parcial de Qualidade, de fonte própria (SketchUp)

Zona de Conformação

Conformação é o processo mecânico onde se obtém a modelação através da compressão de materiais sólidos em moldes, utilizando a deformação plástica da matéria-prima para o preenchimento das cavidades dos moldes. Esta deformação é oposta da deformação elástica, devido a esta recuperar o estado inicial quando sujeita a variações de pressão.

O processo pode, ou não, ser executado através do aquecimento da matéria-prima, para facilitar o processo ou simplesmente para alterar as características mecânicas da peça final (JRCRavo, 2021).

Através da conformação a quente ativa-se a cola existente, no contraforte e molda o calcanhar; na testeira e molda a gáspea, com menos gasto de energia, sendo desnecessário um novo tratamento térmico, garantindo uma maior produtividade.

Na conformação a frio existe a vantagem de um melhor acabamento final na peça, bem como o aumento da resistência mecânica devido ao “encruamento” da peça, contudo uma diminuição da sua ductilidade.

A zona de conformação proposta é composta por duas zonas que se confrontam entre si, em ambos os processos podem ser obtidos por conformação a frio ou a quente. O facto da deformação plástica dos materiais ser realizada a elevadas temperaturas, as tensões e as cargas provocadas nas ferramentas e nas máquinas são, relativamente, menores quando comparadas às conformações a frio (Altan et al., 2012).

Estes equipamentos, Figura 58 têm como função aquecer o material (couro ou componente + cola) e dar forma ao componente do sapato, seja a biqueira ou o contraforte, exemplo Tabela 12.

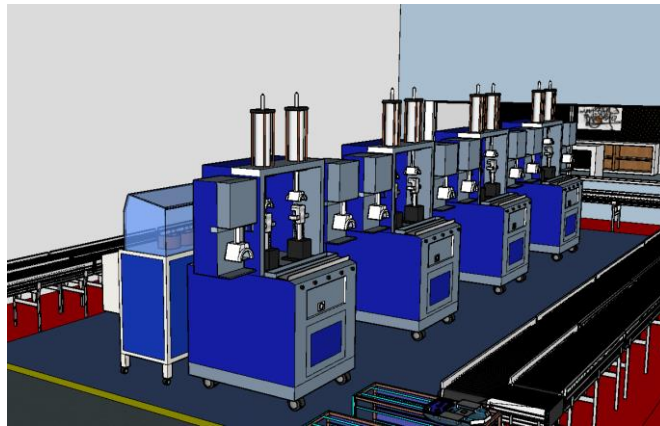


Figura 58: Zona de Conformação a quente e a frio dos vários componentes do sapato, de fonte própria (SketchUp)

Tabela 12: Equipamento para conformar sapato, de fonte própria

	Conformar cortes dupla FW148/2	Multiform 3
Imagem		
Tecnologia	Conformação	Conformação
Pressão, bar	6 bar	6 bar
Fonte Alimentação, V- Hz	400V, 50hz	230V fase única, 50Hz
Potência, kW	2.4	2500
Tamanho do sistema, mm	930 x 800 x 1440	1660 X 855 X 2030
Peso, kg	350	560
Ref. Internet	http://www.flowmat.pt/products/?id=21&c=1&s=2 https://tecmacal.pt/uploads/2020/01/pt488m_ultiform3pdf.pdf	

Montagem do Sapato

Esta zona possui característica muito idênticas/semelhantes às identificadas na zona 6, visto ser um local onde predomina a especialização da mão humana na montagem e colagem do sapato.

Após conformação dos componentes do sapato (gáspea e traseiro), as linhas de montagem direcionam para a zona final de montagem, Figura 59. É nesta etapa que dependendo da tipologia utilizada será aplicada técnicas distintas de união do salado ao corte, colagem, costura ou vulcanização. (A vulcanização não está presente nesta abordagem da fábrica).

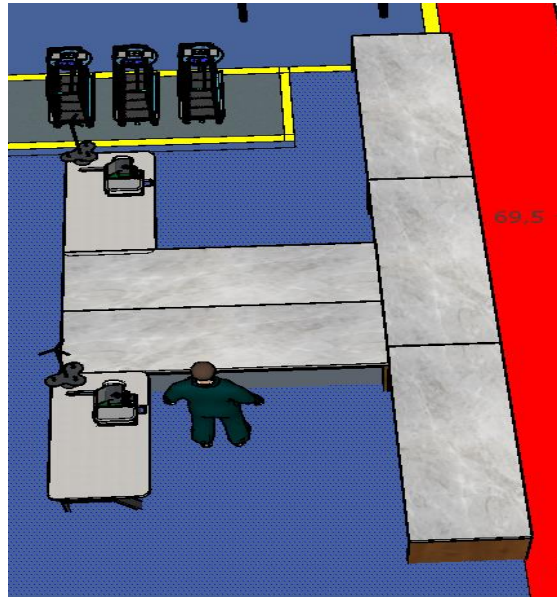


Figura 59: Zona de Costura e Colagem Final (Solado - Corte), de fonte própria (SketchUp)

Para a união das peças, este ir-se-á utilizar as máquinas de costura habituais, bem como o equipamento automático para pregar o corte ao solado, conforme características da Tabela 13.

Tabela 13:Características do equipamento para a montagem, fonte própria

CERIM K24	
Imagem	
Tecnologia	Costura
Pressão, bar	6
Fonte Alimentação, V- Hz	Não foi possível identificar
Potência, kW	3.5
Tamanho do sistema, mm	1300 x 1700 x 2100
Peso, kg	1110
Ref. Internet	https://tecmacal.pt/uploads/2020/01/pt448cat-k24pdf.pdf

Estabilização a quente e a frio

Dependendo da tipologia de montagem usada, conforme identificada no capítulo 2.3, o sapato montado deverá efetuar uma estabilização a quente ou a frio, Figura 60.

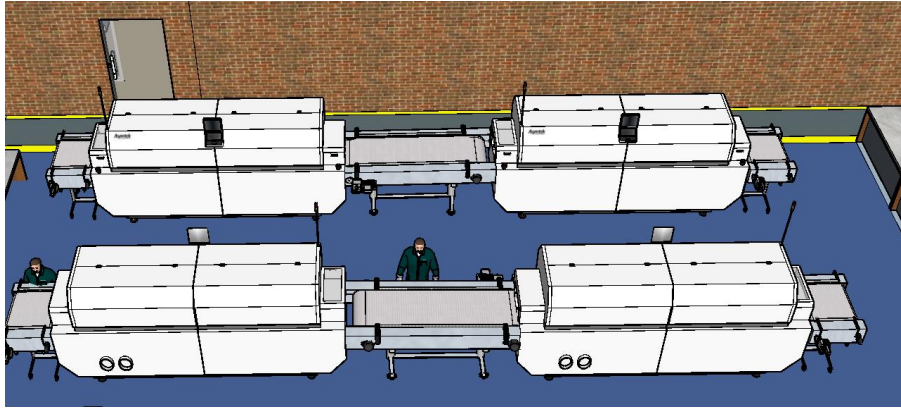


Figura 60: Zona de estabilização a quente e a frio, de fonte própria (SketchUp)

Após colagem e montagem do corte ao solado, o sapato tem que ser colocado no túnel de arrefecimento, para estabilizar o sapato, aumentando a resistência da colagem da sola. O sapato deve estar sujeito a temperaturas de -5 a -20°C.

Por outro lado, o túnel de aquecimento serve para reduzir as tensões internas que são geradas nos materiais, principalmente no couro, assim, alisa e estabiliza o calçado para perfeita adaptação à forma pretendida, devendo também ser controlado por parâmetros de referência, conforme sugerido pela Tabela 14:

Tabela 14: Tabela de temperaturas de referência, adaptação de ICSAS, 2017

Material	Processo
Camurça, Nubuck e couro granitado	Ar Húmido a 120°C
	Ar seco a 120° - 130°C
PVC – couro revestido	Ar seco a 120° - 130°C
PU e PVC – couro revestido	Ar seco a 100°C
Materiais revestidos a PU	Ar seco a 120°C
Materiais revestidos a PVC	Ar seco a 100°C
Tecidos	Ar seco a 100°C

Por forma a especificar este sector com equipamento a adquirir, a Tabela 15, demonstra qual o equipamento a usar:

Tabela 15: Características do equipamento conformação térmica, de fonte própria

COSMOPOL POLAR 1600	
Imagem	
Ventiladores	6
Caudal de ar	4000 m / h
Temperatura	+ 10 ° a -20 °
Ref. Internet	https://tecmacal.pt/ver-produto/cosmopol-polar1600

Gabinete de desenvolvimento, Personalização e Controlo de Qualidade

Esta zona final encontra-se dividida pelo gabinete de desenvolvimento de novos projetos e criações para fomentar e amplificar a panóplia de escolhas ao utilizador, bem como a responsabilidade de programação dos parâmetros das máquinas mais modernas de produção de materiais de FDD; e pelo espaço de personalização e controlo de qualidade final. Este gabinete assenta no princípio básico do Fabrico Aditivo. Consoante a Figura 61 este local será responsável pela supervisão dos equipamentos da 3ª, 4ª Categoria do Fabrico aditivo, presentes no próprio espaço, bem como pelos do setor 4, necessários para o fabrico essencial de: Palmilhas e Solas onde estas podem ser compostas por diferentes densidades, dependendo da sua estrutura reticular, ou material de fabrico;

A aplicação da 5ª Categoria permite a criação de adereços metálicos que servem apenas como elemento decorativo, bem como da criação única de almas.

A maioria dos adereços são colocados com a ajuda de um cravo ou arrebite através de uma pequena prensa hidráulica manuseada pelo colaborador.

Para concluir este espaço, ir-se-á utilizar uma tecnologia de subtração para fomentar uma sinergia com as tecnologias já mencionadas, colmatando desta forma a vertente da remoção do material em produtos terminados. A introdução de sistemas a laser de baixa

potência permite a personalização dos materiais de couro e/ou sintéticos, tal como em artigos pessoais que venham a ser aplicados no sapato.

Os equipamentos de fabrico aditivo já foram identificados no setor “Zona de produção de Palmilhas, Solas e Almas”, sendo apresentado na Tabela 16, o equipamento de subtração de material de pequenas dimensões. Este deverá apenas ser utilizado para o caso de o sapato já estar montado.

Tabela 16: Equipamentos de Subtração, de fonte própria

Speddy 400	
Imagem	
Categoria	<i>Laser printer</i>
Tecnologia	<i>Laser CO2</i>
Preço aproximado, Euros	Não foi possível
Volume de construção, mm	1016 x 610 mm
Fonte laser	60 - 120 w
Velocidade	4.3 m/s
Fonte alimentação	230v / 50/60hz
Tamanho do sistema, mm	1428 x 952 x 1050 mm
Peso, kg	310 kg
Ref. Internet	https://www.troteclaser.com/fileadmin/content/pdf/Laser_Machines/Speedy-Series/tec-en-catalog-laser-engraver-speedy-series.pdf



Figura 61: Gabinete de Desenvolvimento, Personalização e Controlo de Qualidade, de fonte própria (SketchUp)

Neste espaço são criados e montados todos os adereços finais que irão constituir o produto final, bem como é realizado o acabamento.

O acabamento do calçado é caracterizado por ser a etapa em que o calçado passa por todos os aperfeiçoamentos finais, pintura, polimento ou envernizamento e colocação das etiquetas e palmilhas. Por fim, antes do produto ser enviado, passa por um controlo de qualidade refinado de forma a verificar todos os requisitos e pormenores que foram solicitados.

Expedição


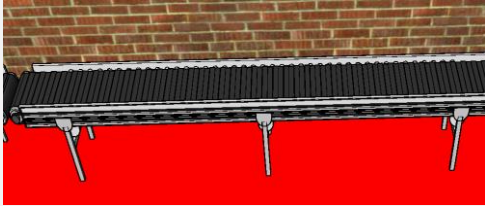
No final encontra-se o centro de expedição, que também conjuga com o término da manufatura dentro da fábrica. Este espaço é destinado ao embalamento, referenciação e arrumação do sapato customizado para futura entrega ao distribuidor.

Neste local encontra-se apenas um identificador com RFID por forma a terminar o processo de identificação do estado dentro da empresa e originar um alerta de envio à transportadora.

Acessórios:

De forma a completar a caracterização dos equipamentos presentes de uma forma geral em todo o espaço, criou-se um novo tópico “Acessórios”, Tabela 17

Tabela 17: Acessórios complementares, de fonte própria

	Esteira rolante de calçado	Representação gráfica
Imagem		
Ref. Internet	https://www.bymaster.com.br/produtos/transportador-flexivel-e-gil-tm-2-flex/	

Equipamento para transporte dos componentes do calçado através dos diversos processos da linha de montagem. O sistema é adequado a indústria 4.0, possibilitando a conexão com o sistema de gestão da empresa para controle de produtividade e controle remoto das funções do trilho, possibilitando ainda conexões com outros equipamentos através da rede para indicação de linha de produção parada, reduzindo assim consumos energéticos, e riscos de perdas no processo.

7 Validação do modelo da fábrica

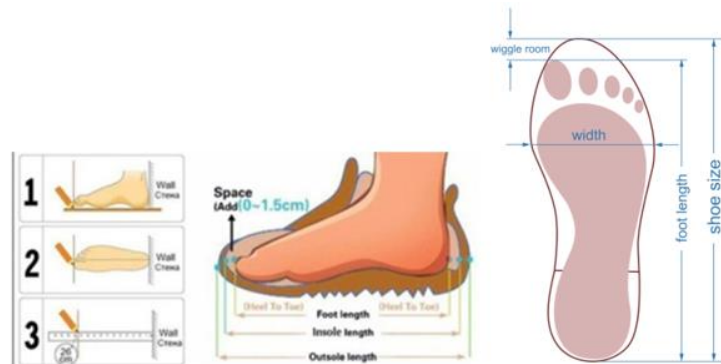
O método utilizado para a validação da produção do modelo proposto, passa pela simulação do processo de fabrico, apresentado no capítulo anterior, através do programa *Tecnomatix Plant Simulation*. Através da utilização do software é possível desenvolver a linha de montagem apresentada e mostrar a viabilidade da produção do cenário da conceção do sapato customizado.

Para não se desenvolver todos os cenários possíveis e imaginários, optou-se por se desenvolver apenas o cenário mais pessimista de modo a se obter o tempo máximo da conceção de um par de sapatos customizados. Para a criação deste cenário optou-se pelos seguintes pressupostos:

- Cada componente é referenciado com um código de barras e/ou RFID;
- Cada componente do sapato possui uma cor diferente;
- Cada componente é estampado e/ou cravado, numa estação própria;
- Cada componente é costurado com uma cor de linha diferente;

Para a aplicação dos mesmos pressupostos, identificados, em questões de programação, são tratados com um aumento de trabalho durante cada tarefa. Deste modo, com o incremento do tempo, simula a substituição da cor das napas/linhas/cordões, cabeças de gravação, ilhós e etc., bem como, deslocações efetuadas por parte do trabalhador.

Para se estabelecer um tempo genérico de fabrico de cada componente, utilizou-se como base de exemplo um par de sapatos com o número 48, sendo este um número que raramente será solicitado, contudo, ajuda a realizar e a enfatizar o pior cenário quanto aos tempos de fabrico. Após se ter escolhido o tamanho, dado à impossibilidade de realizar uma medição correta de todos os componentes, bem como as variações de tamanho entre os diversos de modelos de sapatos apresentados no capítulo 3, optou-se por se atribuir uma razão matemática entre componentes, tendo como por base a Figura 62:



MEN																	
UK size	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13
DE size	38	38,5	39	40	40,5	41	42	42,5	43	44	44,5	45	46	46,5	47	48	48,5
Foot length	24,5	25	25,4	25,8	26,2	26,6	27,1	27,5	27,9	28,4	28,8	29,2	29,6	30	30,5	30,9	31,3

Figura 62: Medição de tamanho de pé e escolha do tamanho do sapato, adaptado de GroovyFox & Loyd, 2021

A atribuição dos tamanhos por cada componente, segue conforme Tabela 18, tendo em consideração a extrapolação matemática, devido a não ter sido possível ter acesso a moldes de produção de sapato. Os valores apresentados são meramente indicativos, contudo, acredita-se que o valor seja bem mais elevado quando comparado com valores reais.

Tabela 18: Tamanho dos componentes, de fonte própria

Componente do sapato estudado	Extrapolação Tamanho	Extrapolação Largura	Extrapolação Espessura	Tamanho (mm)	Área (mm ²)	Volume (mm ³)
Contraforte	=33% Palmilha	=60% Palmilha	=33% Palmilha	107	6415.2	32076
Forro	=Palmilha	=2*Palmilha	=33% Palmilha	324	64800	324000
Língua	=50% Palmilha	=60% Palmilha	=Palmilha	162	9720	145800
Orelha	=70% Palmilha	=Palmilha	=33% Palmilha	226.8	22680	113400
Biqueira	=50% Palmilha	=120% Palmilha	=33% Palmilha	162	19440	97200
Alma	=20% Palmilha	=50% Palmilha	=66% Palmilha	64.8	2592	25920
Palmilha	=TamanhoPé+1.5cm	=LarguraPé	=15 mm	324	32400	486000
Entressola	=Palmilha	=Palmilha	=Palmilha	324	32400	486000
Sola	=110% Palmilha	=Palmilha	=200% Palmilha	356.4	35640	1069200

Para que seja possível realizar a simulação foi necessário consultar a *build rate* ou velocidade de trabalho de cada equipamento através das *datasheets* correspondes, para se obter um tempo estimado em cada estação de trabalho, estando dispostos na Tabela 19.

Tabela 19:Taxa de trabalho dos equipamentos propostos, * e ** taxa de trabalho estimados, *** taxa de trabalho proposta, fonte própria

Tecnologia	Equipamento	Função	Taxa de construção
Jato de água	<i>Laser hyprecision 50</i>	Corte de peles e têxteis	66 mm/min
Laser co2	<i>Lf1325lc</i>	Corte de peles e têxteis	60 m/min
Hidráulico cortante	<i>Xyj-2/10</i>	Corte de peles e têxteis	0.08m/s
<i>Material jetting</i>	<i>ProJet MJP 2500</i>	Produção de palmilhas	* 227 cm ³ /h
<i>Material jetting</i>	<i>Objet 30prime</i>	Produção de palmilhas	** 159 cm ³ /h
<i>Binder jetting</i>	<i>Hp Multi Jet Fusion 4200</i>	Produção de solas	4500 cm ³ /h
<i>Power Bed Fusion</i>	<i>EOS P 500</i>	Produção de almas	6.6 l/h
<i>Vat photopolymerization</i>	<i>DLP station 5-365 EXZ</i>	Produção de Entressolas	150 mm/h
Conformação cortes	<i>Fw148/2</i>	Zona de conformação	*** 5 s/par
Conformação cortes	<i>Multiform 3</i>	Zona de conformação	1100pars por 8h max.
Costura/cravagem	<i>Cerim k24</i>	Montagem do sapato	*** 15 min/tarefa
Costura Manual	-	Montagem do sapato	*** 10 min/tarefa
Estabilizador	<i>Cosmopol polar 1600</i>	Estabilização a quente e frio	*** 15 min/tarefa
Gravação	<i>Speddy 400</i>	Personalização	4.3 m/s
Movimentação	Esteira rolante de calçado	Transporte	*** 5 m/s-

Verificou-se alguns problemas na aquisição de determinados valores de taxa de construção, identificados com *, ** e ***. Para resolução dos dois primeiros (*, **), recorreu-se á interpretação através dos valores por faixas (*lanes*), resultando no valor explanado através da seguinte forma:

Através do entendimento retirado da *datasheet* do equipamento, *ProJet MJP 2500*, informa que este possui uma plataforma de 294 x 211 x 144mm, estando a mesma dividida por 3 faixas (*lanes*), resulta que cada faixa tem cerca de 98mm. Efetuando o cálculo para cada faixa, obtém-se o valor de construção por hora.

Desta forma, resulta que:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ faixa (98mm)} &\rightarrow \frac{7.3\text{mm}}{h} = 98 \times 211 \times 7.3 = \frac{150949,4 \text{ mm}^3}{h} \\
 2 \text{ faixas (196mm)} &\rightarrow \frac{5.5\text{mm}}{h} = 196 \times 211 \times 5.5 = \frac{227458 \text{ mm}^3}{h} \\
 3 \text{ faixas (294mm)} &\rightarrow \frac{3.5\text{mm}}{h} = 294 \times 211 \times 3.5 = \frac{217119 \text{ mm}^3}{h}
 \end{aligned}$$

Perante esta análise, torna-se vantajoso devido à volumetria dos objetos a produzir, utilizar o equipamento com as 2 faixas ($\pm 227 \text{ cm}^3/\text{h}$). Nesse seguimento, e como foi impossível obter os valores da *Objet30*, a taxa de construção deste equipamento será considerado como 70% do valor de produção da *MJP2500* em 2 faixas para o modo *High Quality*. Foi assumido este valor devido ao facto da *Objet30*, ser um equipamento de entrada de gama, consequentemente será menos potente que o anterior.

Para o trabalho realizado essencialmente através da intervenção humana (***), atribuiu-se um valor com base na visita às instalações da *Jomarpi*. Durante a visita às instalações contabilizou-se de uma forma grosseira a duração dos trabalhos em determinados postos de trabalho.

Aplicando a informação das tabelas 18 e 19, obtém-se uma nova Tabela 20, que contém os tempos médios de funcionamento de cada equipamento perante os objetos correspondentes.

Tabela 20: Confirmação de tempos de corte e manufatura perante as tecnologias utilizadas, fonte própria

		jato de água	Laser	Hp Multi	EOS P 500	DLP station
mm		3960	3600000	300000	6600	150
		mm/h	mm/min	mm ³ /h	mm ³ /h	mm/h
Calçado 48	309					
	mm	área mm ²	volume mm ³	Hora	min	seg.
Contraforte	107	6415.2	32076	1.6	97.2	5832.0
Forro	324	64800	324000	0.0	1.1	64.8
Língua	162	9720	145800	2.5	147.3	8836.4
Orelha	226.8	22680	113400	5.7	343.6	20618.2
Biqueira	162	19440	97200	4.9	294.5	17672.7
Alma	64.8	2592	25920	3.9	235.6	14138.2
Palmilha	324	32400	486000	1.6	97.2	5832.0
Sola	356.4	35640	1069200	3.6	213.8	12830.4
Entressola	324	29160	291600	2.2	129.6	7776.0

Identificados todas as incógnitas para o processo (tamanhos de objeto e taxas de construção), iniciou-se o desenvolvimento da produção de sapatos customizados conforme cenário proposto. Para que seja mais confortável a visualização do processo, foram atribuídos cores individuais a cada componente ajudando a interpretar todo o processo ao longo da linha de montagem. A Figura 63, demonstra todo o processo e etapas de transformação a que está sujeito o sapato finalizado.

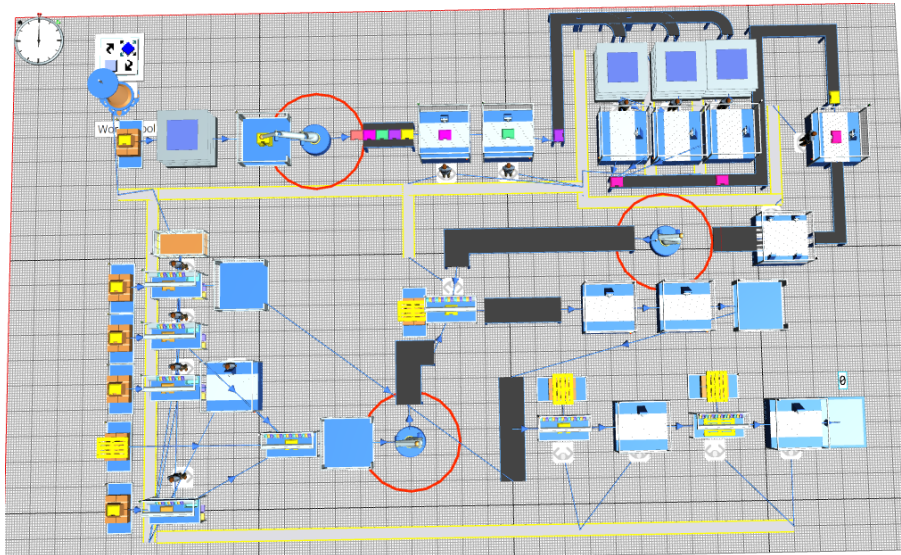


Figura 63: Projeção do modelo de fábrica, fonte própria (Tecnomatix)

Conforme foi referido anteriormente, todas as etapas e processos seguem o cenário proposto, onde de uma forma simplista se apresenta através da Tabela 19. O cenário consta essencialmente com 5 etapas de conceção e transformação, sendo descritas da seguinte forma: Entrada da matéria prima nos equipamentos que é transformada nos vários componentes que serão usados na etapa seguinte Etapa1; Os diversos componentes irão sofrer diversas transformações, seja através de processos de maquinaria ou manuais, onde posteriormente será adicionado um ligante (cola ou linha), transformando os num novo objeto que constitui os elementos da Etapa2; Os novos elementos irão sofrer o mesmos processos que na etapa anterior, será aplicada novamente um ligante formando o elemento sapato da Etapa 3; A próxima etapa rege-se novamente pela adição de componentes provenientes da Etapa 1(Palmilha) e por elementos de Personalização (cordões); Na etapa final, após se obter os dois sapatos, estes são juntos passando a formar um novo elemento (Par Sapato) onde passarão pela adição de uma caixa Personalizada, terminando desta forma o processo de fabrico do sapato.

Tabela 21: Identificação dos objetos, fonte própria

Objeto	Cor	Função	Objeto	Cor	Função
Pele rolo	Vermelho	Matéria-prima	Biqueira	Roxo	Etapa 1
Pó	Castanho	Matéria-Prima	Língua	Castanho	Etapa 1
Cartucho tinta	Azul	Matéria-prima	Forro	Verde	Etapa 1
TPU	Verde	Matéria-prima	Vira	Rosa	Etapa 1
Cola	Branco	Ligante	Alma	Preto	Etapa 1
Linha	Azul	Ligante	Entressola	Violeta	Etapa 1
Cordão	Castanho	Personalização	Sola	Castanho	Etapa 1
Caixa	Castanho	Personalização	Orelha_direita	Verde	Etapa 1
Corte	Rosa	Etapa 2	Orelha_esquerda	Verde	Etapa 1
Solado	Dourado	Etapa 2	Palmilha	Vermelho	Etapa 1
Sapato	Laranja	Etapa 3	Par Sapato	Rosa	Peça Final

A simulação foi realizada para um período de 30 dias, onde se retirou a informação de que, com o equipamento previsto e salientando que este foi feito para o pior cenário, é possível efetuar até 59 pares de sapatos completamente customizados por mês, traduzindo-se em 1 par por dia, conforme confirmado pelos resultados, Tabela 22, obtidos através da simulação.

Tabela 22: Resultados de simulação, fonte própria (Tecnomatix)

Objetos Produzidos	Totais Finalizados		
	Mês	Dia	Hora
Pares Sapatos Customizados	59	1,97	0,08

Ainda foi possível analisar através da Tabela 23, que durante o período de simulação, período de 30 dias, iniciou-se a produção de 121 a 135 componentes do sapato consoante as tecnologias utilizadas.

Tabela 23: Início de produção de componentes, fonte própria (Tecnomatix)

	Matéria Prima	Nº de Saldas	Tecnologia	Componente
Armazém	Pele	135	Corte por Jato de água	Biqueira
				Lingua
				Vira
				Orelha
	Pele	135	Corte laser	Forro
	Cartucho	135	DLS	Palmilha
	Cartucho	135	BJ	Sola
	Pó Metálico	121	SLS	Alma
	TPU	122	DLS	Entressola

8 Discussão de resultados

A intenção da proposta de um novo modelo de negócio para o sector de calçado deve-se ao facto de haver a necessidade de reinventar, inovar e fazer com que este acompanhe os tempos modernos através do auxílio das novas tecnologias disponíveis no mercado. A aplicação deste modelo, não tem como finalidade extinguir os demais existentes, mas sim, abrir uma nova porta ao cluster do calçado, através da aproximação do cliente. O cliente será a peça principal de toda esta nova engrenagem, onde este irá customizar qualquer modelo de sapato ao seu gosto, tornando-o único e especial.

Numa reflexão importante, conforme espelhado no capítulo 3.2, verifica-se uma alteração da cultura, passando de um consumo massivo para uma cultura mais consciente, fomentando assim a escolha por algo diferente, único e sustentável. Desta forma, a criação de algo que gere menos resíduos, envolva menos gastos energéticos e ao mesmo tempo ofereça um valor acrescentado ao produto, está patenteado neste novo modelo de negócio.

A diferença clara entre calçado customizados e calçado padronizado, origina o panorama bastante peculiar, porque tem um impacto imediato na forma como se vê e interagem as fabricas quer de uma forma interna, quer através das sinergias existentes entre elas.

Como foi visto anteriormente a evolução do conceito de customização, apenas é possível se houver o envolvimento claro do cliente durante as etapas de produção do sapato, de modo a alcançar algo especial e único. Esta particularidade da palavra, “único”, acarreta consigo uma mudança radical na forma como se vê as fábricas atuais, bem como afetará as sinergias existentes. O facto de se estar a produzir algo único, faz com que todo o processo padronizado dos diversos componentes acabe por deixar de fazer sentido conforme se conhece hoje em dia.

Examinando o cenário exposto no capítulo 6, designado por “Cenário 1”, este assenta no princípio geral clássico da descentralização, onde a “fábrica modelo”, recebe como “matéria-prima” os diversos componentes pré feitos, necessitando apenas de uma montagem final. Analisando o cenário, verifica-se numa primeira instância que este possui um grande potencial, devido ao facto de ser um negócio simplista e não estar preocupado com os gastos dos resíduos de produção, investimento em equipamento e instalações de grande dimensão, bem como no armazenamento da diversa panóplia de cores e padrões.

No entanto, este cenário tem desvantagens que são manifestadas pela dependência das demais fábricas. Estão assentes na dificuldade de controlo de produção e qualidade do produto; no tempo de fabrico e entrega dos componentes; bem como num aumento da percentagem de incompatibilidade dos vários componentes, visto estarmos a abordar o objeto completamente customizado.

De uma forma geral, a existência das sinergias das empresas dos vários sectores de produção de componentes do sapato, pode, em determinados casos ser prejudicial para a economia interna da empresa.

Por outro lado, observando o “cenário 2”, sendo o cenário proposto para uma fábrica de produção de calçado com recurso à tecnologia de FDD., este será completamente autónomo e automatizado, fazendo com que os parâmetros de controlo e qualidade sejam mantidos elevados. Ao mesmo tempo, o facto de ser uma fábrica com um “look” mais moderno, aproxima tanto o cliente final, que lhe proporcionando a experiência de estar no local em cada etapa de montagem, visto poder acompanhar em tempo real a produção graças ao sistema de localização de componentes e estado de produto.

Através do capítulo da validação dos resultados, verificou-se que, para uma fábrica descrita conforme o cenário2, recorrendo essencialmente aos equipamentos utilizados, é possível produzir cerca de 1 par de sapatos totalmente customizados por dia, ou 59 pares num mês de funcionamento. Obviamente que, se quisermos aumentar a produtividade relativamente ao volume de trabalho produzido, verifica-se que os elementos que estagnam a produção são os que produzem elementos de FDD., entre elas, palmilhas, entressolas, solas e almas. Como já foi referenciado anteriormente, todo o envolvente do cenário 2 foi pensado numa perspectiva pessimista, onde o sapato alvo é um número invulgar para a generalidade, número 48, o que traduz em todas as etapas um incremento de tempo. No mesmo sentido, também foi incrementada uma etapa extra, sendo ela descrita como “estampagem e cravação”, onde todos os componentes do sapato entram para uma personalização individual, aumentando assim o tempo de fabrico. Para arrematar este tópico de incremento de tempo, a simulação de cada posto de trabalho, foi programado para efetuar uma ação de cada vez, p.ex. o corte das peças é realizado individualmente, o que traduz um enorme subaproveitamento de cada equipamento.

Em determinadas categorias de FA., é indiferente a quantidade de elementos a produzir, visto que o tempo incrementa proporcionalmente, p.ex, tecnologias de extrusão de

material, contudo, em outras tecnologias compensa a rentabilização da área de trabalho, visto não influenciar no tempo de produção inicial, p.ex tecnologias de fusão de pó e de fotopolimerização. Desta forma, conclui-se que a simulação do fabrico de sapatos apenas foi realizada para a pior hipótese, no sentido de averiguar qual seria o mínimo de receitas possíveis.

Para a construção desta fábrica modelo seria necessário um elevado investimento que não foi possível ser contabilizado por falta de informação, desde a construção do edifício, bem como a aquisição de todo o equipamento. Dos equipamentos analisados, foi possível obter algumas informações dos custos de venda ao público, estando refletidas em cerca de 500.000€. O valor apenas reflete a informação dos custos de aquisição de uma parte dos equipamentos, essencialmente de FA, disponibilizada pelos fornecedores. Contudo, se efetuarmos uma proporcionalidade de valores para os restantes equipamentos (13, excluindo esteiras rolantes e carros de transporte autónomos), em que o valor médio seja 100.000€ podemos estar a falar num investimento médio de cerca de 1.800.000€.

Ao longo da dissertação não foram tidos em conta os valores de produção de cada componente, devido à falta de informação dos custos da matéria-prima do FA.

A exequibilidade do projeto, fomenta a transposição para os demais variadíssimos sectores de mercado, e, podendo também ser extrapolado para o nível de vendas internacionais. Neste caso, deverá haver o cuidado na alteração de determinados parâmetros, como por exemplo, a forma de aquisição das medidas corretas do pé e custos de envio.

Relativamente aos softwares identificados e expostos, como: o *RhinoShoes*, possibilita uma maior interação na criação dos vários componentes e acessórios de sapato, sendo um dos softwares mais utilizados pelas empresas de fabrico e desenvolvimento de calçado.; software de Realidade Virtual e Aumentada, *Unity*, permite o consumidor interagir com o objeto de uma forma mais didática, promovendo e aumentando a ligação com o produto a desenvolver, potenciando e fomentando a compra de algo único.; permitiriam um maior aprofundamento dos conceitos elaborados nesta dissertação, incrementando valor na sua investigação, contudo, não foi possível a utilização dos mesmos devido a licenças de utilização pagas.

9 Conclusões

Este trabalho de investigação centrou-se na conceptualização de um novo modelo de produção, suportado no Fabrico Digital Direto (FDD). A validação deste modelo foi realizada recorrendo a um caso empírico relacionado com a produção colaborativa de calçado. A rápida transição para uma economia global e digital, a elevada pressão concorrencial em setores tradicionais como o calçado e a sua importância para a economia portuguesa, tornam esta investigação pertinente.

De uma forma genérica, verificou-se em diversas ocasiões e estudos, que já existe produção dos vários componentes do sapato, conforme capítulo 5, contudo os mesmos são produzidos de forma isolada. Isto é, os estudos verificados anteriormente, demonstram variação da técnica, materiais ou geometrias para alcançar um novo produto quer para fins terapêuticos, quer para comercialização de um produto esteticamente inovador. Dado o envolvimento da Indústria 4.0 e de todos os conceitos que nela estão implícitos, alguns autores abordaram uma aproximação do cliente durante o processo de modelação do sapato. Esta nova abordagem faz com que o cliente esteja mais por dentro do processo, bem como mais recetível a comprar um produto inovador.

O FDD, com particular enfoque no Fabrico Aditivo, potencia uma maior flexibilidade na resposta às solicitações do cliente, fornecendo-lhe calçado customizado. Dado o envolvimento das tecnologias relacionadas com a o modelo de produção colaborativo designado por académicos, práticos e governantes por Indústria 4.0, da literatura verificou-se que alguns autores têm vindo a abordar a aproximação do cliente ao processo de modelação de sapato. Esta nova abordagem faz com que o cliente esteja mais por dentro do processo, bem como mais recetivo a comprar um produto inovador, contribuindo desta forma para um aumento da sustentabilidade da economia do calçado.

A metodologia utilizada para encontrar uma solução para este problema implementado em três fases sequenciais: (1) identificação e avaliação das potencialidades das tecnologias FDD nos diferentes componentes do sapato, (2) conceptualização dos modelos de fabrico centrados na complementaridade das tecnologias de fabrico convencional com as tecnologias FDD; (3) validação do modelo de fábrica na produção do modelo protótipo de calçado customizado.

A análise e pesquisa do setor de aplicação de cada categoria do FDD, bem como dos materiais disponíveis para utilização, permitiu identificar as vantagens e desvantagens inerentes a cada tecnologia e permitiu, de uma forma seletiva, responder ao primeiro objetivo. Após visita a uma empresa cujo funcionamento assenta com exclusividade nos processos de fabrico clássico, Jomarpi, foi possível visualizar e objetivar toda a cadeia de produção e etapas complementares do processo de fabrico clássico do sapato. Durante a visita, concluiu-se que existem determinados valores agregados no fabrico do sapato clássico de alta gama que não deverão ser descurados, como por exemplo, a presença da mão humana.

Ainda no fabrico clássico, é notório que a área ocupada pelo armazenamento é significativa devido ao estilo de produção adotado. Por outro lado, tanto os cenários abordados, cenário 1 e 2, ao adotar as tecnologias de FDD, podem reduzir de forma drástica o espaço utilizado como armazém de produto final, uma vez que se trata de produtos customizados.

Nestes cenários, o modelo colaborativo de desenvolvimento do calçado customizado pode traduzir-se na satisfação dos requisitos do cliente e na otimização dos processos de fabrico pela adoção de tecnologias de FDD mais adequadas.

No final, esta dissertação deverá auxiliar e desenvolver o mercado do calçado, em geral potenciando as pequenas e médias empresas do sector do calçado em Portugal.

O desenvolvimento deste novo paradigma deverá ser acompanhado por uma análise de viabilidade técnica/económica que suporte a tomada de decisão quanto a adoção destas novas tecnologias. Da mesma forma será necessário equacionar que a implementação deste modelo implica o desenvolvimento de novas competências técnicas, não bastante para o efeito, converter parte da capacidade laboral existente, mas com a contratação de recurso humanos especializados para a operação destas tecnologias. Em qualquer uma das abordagens existirá um custo inerente de formação e/ou especialização que deverá ser devidamente contabilizado em futuros estudos.

10 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros recomendo que seja feito um estágio numa fábrica em que já tenha ou possa vir a adquirir algum equipamento de fabrico aditivo conforme descrito no capítulo 7 (caso de estudo) de forma a se poder contabilizar tempos médios de produção dos exemplares, bem como quantificar quantidades de material utilizado e desperdiçado. Após aquisição dos dados é possível fazer uma avaliação fidedigna sobre a aplicação do fabrico aditivo dos componentes propostos. Ao mesmo tempo, a avaliação da pegada de carbono também poderá ser avaliada para cada cenário proposto, potenciando desta forma mais uma ação de validação do proposto.

Caso haja validação do protótipo da empresa, qual seria o impacto para a implementação na Europa, bem como seria a evolução da economia num curto espaço de tempo?

Poderá o setor de calçado estar a dar passos efetivos para uma total revolução automatizada, desacreditando a mão laboral do ser humano?

11 Bibliografia

- 3DPrint. (2021). *Covestro TPU Used to Make 3D Printed Insoles - 3DPrint*.
- Ahuja, K., & Mamtani, K. (2020). *Industrial Safety Footwear Market Share and Statistics – 2026*. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/industrial-safety-footwear-market>
- Altan, T., Oh, S., & Gegel, H. (2012). Processos De Conformação Dos Materiais - Introdução Aos Processos De Conformação Parte I. *Universidade De São Paulo - Escola De Engenharia De São Carlos - Departamento De Engenharia De Produção - Laboratório De Otimização De Processos De Fabricação (Opf) Processos*, 132.
- APICCAPS. (2013). *FOOTURE 2020: Plano Estratégico-Cluster do Calçado* (C. e A. de P. e seus S. APICCAPS (Associação Portuguesa dos Industriais de Calçado (ed.); CEGEA).
- APICCAPS. (2018). Portugal Footwear cluster 2018. *Monografia Estatística*, 1–129.
- APICCAPS. (2020). Indústria de calçado anima em 2020? *Centro Tecnológico Do Calçado de Portugal, February 2019*, 1–13.
- ASTM. (2017). ASTM F42/ISO TC 261 Develops Additive Manufacturing Standards. *ASTM Interational*, 1–2. https://www.astm.org/COMMIT/F42_AMStandardsStructureAndPrimer.pdf
- Atum3D. (2020). *ORTHOPAEDIC INSOLE*. 2–3.
- BCM3D. (n.d.). *Zoles company manufactures customized insoles thanks to 3D printing*.
- Carbon. (2021). *Designing for DLS™ Process*. <https://www.carbon3d.com/designing-for-dls-technology/>
- Choklat, A. (2012). *Footwear Design* (B. Gustavo Gili, SL (ed.)). Laurence King Publishing Ltd. <http://eds.b.ebscohost.com.ezproxy.unal.edu.co/eds/detail/detail?vid=0&sid=e4f25b74-13bf-4acb-8110-6bb4e31dc26f%40sessionmgr104&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3D%3D#AN=edp2377021&db=edspub>
- Ciobanu, O., Soydan, Y., & Hızal, S. (2012). Customized Foot Orthosis Manufactured

With 3D Printers. *Proceeding of IMS*.

Commission, E., & Industry, D. E. &. (2011). IN-DEPTH ASSESSMENT OF THE SITUATION OF THE EUROPEAN FOOTWEAR SECTOR AND PROSPECTS FOR ITS FUTURE DEVELOPMENT. *European Commission, November*, 135.

Commission, E., & Industry, D. E. &. (2012). IN-DEPTH ASSESSMENT OF THE SITUATION OF THE EUROPEAN FOOTWEAR SECTOR AND PROSPECTS FOR ITS FUTURE DEVELOPMENT. *European Commission, 11(7)*, 216.
<https://doi.org/10.32964/tj11.7>

Cotteleer, M., & Joyce, J. (2014). 3D Opportunity Additive manufacturing paths to performance .. *Deloitte Development LLC*, 3–19.
<https://www2.deloitte.com/insights/us/en/deloitte-review/issue-14/dr14-3d-opportunity.html>

Cotteleer, M., Mahto, M., & Holdowsky, J. (2013). The 3D opportunity primer. *A Deloitte Series on Additive Manufacturing*, 2–14. <http://dupress.com/collection/3d-opportunity>

CTCP. (2014). Indústria portuguesa do calçado é “belíssimo exemplo” para outros setores diz AICEP. *Portugal News*, 1.
<http://www.portugalglobal.pt/PT/PortugalNews/Paginas/NewDetail.aspx?newId=%7B3AD6E5E4-582F-4550-9AC1-12FC126C1C68%7D>

De Freitas, M. R., & Ruschel, R. C. (2010). Aplicação de realidade virtual e aumentada em arquitetura. *Arquiteturarevista*, 6(2), 127–135.
<https://doi.org/10.4013/arq.2010.62.04>

Dong, G., Tessier, D., & Zhao, Y. F. (2019). Design of shoe soles using lattice structures fabricated by additive manufacturing. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 2019-Augus(AUGUST)*, 719–728.
<https://doi.org/10.1017/dsi.2019.76>

Eos. (2019). *EOS P500*. Polymers Solutions P500. <https://www.eos.info/en/additive-manufacturing/3d-printing-plastic/eos-polymer-systems/eos-p-500>

Fedorova, V. (2021). *Gen Z & Shopping_ What's Changing_*.
<https://wanna.fashion/blog/gen-z-and-shopping>

- Feijs, L., Nachtigall, T. R., & Tomico, O. (2016). Sole maker: Towards ultra-personalised shoe design using Voronoi diagrams and 3D printing. *Proceedings of the 2016 Fabrication and Sculpting Event - FASE of the International Geometry Summit - IGS'16*, 31–40. <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/41976954/1.pdf>
- Felin, C. S. (2014). Design de sapatos utilizando tecnologia de impressão 3d. In *Design de sapatos utilizando tecnologia de impressão 3d* (Vol. 53, Issue 9).
- Ferreira, J. R. S. (2014). *Realidade Aumentada - Conceito , Tecnologia e Aplicações - Estudo Exploratório*.
- Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., & Khorasani, M. (2021). *Direct Digital Manufacturing*. In: *Additive Manufacturing Technologies* (Springer (ed.)). https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-56127-7_18
- Goonetilleke, R. S. (2013). *The Science of footwear*.
- GroovyFox, & Loyd. (2021). *Shoes Size*. <https://corporate.lloyd.com/wd/en/company/service/help/size-chart>
- Grover, C. (2009). *Google SketchUp: The Missing Manual*. <http://www.isiacademy-eg.com/Arc/Sketchup/Tutorial>
PDF/OReilly.Google.SketchUp.The.Missing.Manual.May.2009.RETAiL.eBOOK-sUppLeX.pdf
- Iberdrola. (n.d.). *Realidade Virtual, a tecnologia do futuro*. Realidade Virtual: Outro Mundo Ao Alcance de Seus Olhos. Retrieved November 15, 2021, from <https://www.iberdrola.com/inovacao/realidade-virtual>
- ICSAS. (2017). *Manual do Formador Montagem de calçado*.
- Inc.Outlook. (2021). *Has the fourth industrial revolution finally arrived?* <https://www.incoutlook.com/2019/10/21/has-the-fourth-industrial-revolution-finally-arrived/>
- Jr., r R. T. (2017). *Glossário da Moda Masculina_ Partes do Sapato Social - Canal Masculino*. <https://www.canalmasculino.com.br/glossario-da-moda-masculina-partes-do-sapato-social/>
- JRCRavo. (2021). *Deformação a Frio - Projetos - Conformação a Frio*. Deformação a Frio. <https://www.deformacaoafrio.com.br/projetos/conformacao-a-frio>

- Keskin, F. D., Ventura, K., Soyuer, H., & Kabasakal, I. (2017). From mass customization to product personalization in automotive industry: potentials of industry 4.0. *Pressacademia*, 4(3), 244–250. <https://doi.org/10.17261/pressacademia.2017.486>
- Livrozilla. (n.d.). *Especificação Técnica*. Retrieved November 11, 2021, from <https://livrozilla.com/doc/580205/inf.-técnicas>
- Lusa. (2021). *Calçado português resistiu melhor que os concorrentes ao impacto da pandemia - Indústria - Jornal de Negócios*. Calçado Português “Resistiu Melhor” Que Os Concorrentes Ao Impacto Da Pandemia.
- MacapII. (2017). *Almas*. <https://macap2.com/macap-fabrico-calcado-solucoes/almas-3>
- Mantovani, A. M., Martinelli, A. R., Fortaleza, A. C. D. S., Ferreira, D. M. A., & Fregonesi, C. E. P. T. (2014). *Análise da pressão e área de superfície plantar em diabéticos neuropatas , que utilizam palmilha Analysis of pressure and surface area plant in diabetic neuropathies using insole*. 21(4), 43–47.
- Marconi, M., Papetti, A., Scafà, M., Rossi, M., & Germani, M. (2019). An innovative framework for managing the customization of tailor-made shoes. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 2019-Augus(AUGUST)*, 3821–3830. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.389>
- Melanda, C. (2020). *C r i s t i a n a m e l a n d a*. Escola Superior de Artes e Design Instituto Politécnico de Leiria.
- Michelle, S. (2019). 3D printing in footwear: disrupting the shoe industry? *3Dnatives.Com*, 1–9. <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-in-footwear-disrupting-industry-020120194/>
- Nike. (2019). *Nike usa a realidade aumentada*. <https://fhox.com.br/negocios/nike-usa-a-realidade-aumentada-para-um-recurso-engenhoso/>
- Pinterest. (2021). *No TitleShoes Components*. <https://za.pinterest.com/pin/66498531978876803/>
- Pinto, M. de R., & Batinga, G. L. (2016). O Consumo Consciente no Contexto do Consumismo Moderno: Algumas Reflexões. In *Gestão.org* (Vol. 14, Issue Spe). <https://doi.org/10.21714/1679-18272016v14esp.p30-43>
- Presotto, A. (2021). *Motivação: Pirâmide de Maslow*.

<https://www.alura.com.br/artigos/piramide-de-maslow>

Rabeque, D. L., & Rodrigues, G. J. (2017). *Comportamento do Consumidor e o Processo de Decisão de Compra. 1984*, 1–9.

Ramirez, D. (2018). *MARKFORGED INTERNATIONALLY SHIPS FIRST METAL X 3D PRINTERS*. <https://re3dtech.com/markforged-internationally-ships-first-metal-x-3d-printers/>

Rashid, A. (2019). Additive Manufacturing Technologies. In *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_16866-1

ReProgramar. (2021). *Podologia*. https://reprogramar.pt/servicos_base.php?category=8

Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A Complex View of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2). <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>

Rui, S. (2021). *Vyking – AR try-on tech*. https://www.vyking.io/?gclid=CjwKCAjwz5iMBhAEEiwAMEAwGN1F1aPvspgrxsmKEfjZl6CQx95dsElpwY9bqUYVF3EG94Q3OtGGLxoCEnsQAvD_BwE

Salles, A. S., & Gyi, D. E. (2012). The specification of personalised insoles using additive manufacturing. *Work*, 41(SUPPL.1), 1771–1774. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0383-1771>

Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. https://law.unimelb.edu.au/__data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf

Schwartz, E., & Tucker, J. (2021). *Aetrex 3D Printed Orthotics*. <https://www.aetrex.com/3D-printing.html>

Setor do Calçado em Portugal, (2003).

Silva, A. D. de M. M. (2015). *Estudo das potencialidades da impressão 3D no apoio ao fabrico de sapatos para pessoas com paralisia cerebral*. 177.

Skarbez, R., Smith, M., & Whitton, M. C. (2021). Revisiting Milgram and Kishino's Reality-Virtuality Continuum. *Frontiers in Virtual Reality*, 2(April). <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.647997>

SolidWorks Corp, & Dassault Systèmes. (2021). *Solidworks 2021*. 1–7.

- Spahiu, T., Almeida, H., Ascenso, R. M. T., Vitorino, L., & Marto, A. (2020). Advanced technologies for shoe sole production. *MATEC Web of Conferences*, 318, 01012. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202031801012>
- Spentys. (2020). *Finding the best 3D Printer for Orthotics and Prosthetics*.
- TekiMobile. (2021). *Saiba as diferenças entre realidade virtual e realidade aumentada _ Tekimobile*. www.tekimobile.com/saiba-as-diferencas-entre-realidade-virtual-e-realidade-aumentada
- The Institute of Biomechanics of Valencia and Robert McNeel & Associates. (2005). *Rhinoceros Advanced Training Series: Shoe Design and Visualization*.
- Tropia, C., Silva, P., & Dias, A. (2017). *Indústria 4.0: uma caracterização do sistema de produção*. June, 0–14.
- Vasco, J. (2019). *Normas sobre Fabrico Aditivo*.
- Vicente, C. L. (2016). *O design de calçado e a impressão 3D* [UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR]. https://doi.org/10.5151/ped2018-4.2_aco_23
- Zetes. (2021). *technologies-consumables*. <https://www.zetes.com/en/technologies-consumables/rfid-in-supply-chain>
- Zolfagharian, A., Lakhi, M., Ranjbar, S., & Bodaghi, M. (2021). Custom Shoe Sole Design and Modeling Toward 3D Printing. *International Journal of Bioprinting*, 7(4.396), 1–10. <http://doi.org/10.18063/ijb.v7i4.396>