

Aplicação da fabricação aditiva na construção de ferramentas para uma linha de produção automóvel

Manuel Morais Castro Quinteiro Lopes

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. José António de Sousa Barros Basto



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2019-07-18

Aos meus pais e irmão.

Resumo

Nos dias de hoje, as linhas de produção da indústria automóvel estão sujeitas a uma elevada pressão de produtividade e busca de eficiência dos processos. Uma das vias de redução dos custos de exploração de uma linha de produção passa pela internalização da produção de ferramentas e pequenas séries de produtos utilizados na reparação ou mesmo na melhoria contínua e evolução dos componentes do processo produtivo. Esta produção é conseguida pela utilização da tecnologia de fabricação aditiva com filamento plástico, mais conhecida por impressão 3D. É neste contexto que o Centro de Produção de Mangualde (CPMG), uma unidade industrial do Groupe PSA responsável pela produção de veículos comerciais ligeiros, decidiu que queria melhorar a aplicação desta tecnologia no seu processo produtivo. O presente documento baseia-se no projeto desenvolvido na empresa com o propósito descrito.

Concretamente, o projeto concentrou-se na análise e melhoria do processo de fabricação aditiva existente na empresa desde há três anos.

Foram analisadas as ferramentas e peças que já eram fabricadas na empresa para perceber se os materiais utilizados seriam os mais apropriados.

A gestão de custos de impressão não era feita nem havia nenhuma maneira de estabelecer uma comparação eficaz entre peças impressas e terceirizadas.

Não era utilizada nenhuma plataforma de gestão dos pedidos de impressão e a disposição dos equipamentos e materiais encontrava-se desorganizada.

Concretamente, o projeto objetiva a escolha e aquisição de novos materiais, a criação de uma ferramenta autónoma de apoio à gestão de custos e histórico de impressões, a introdução de uma plataforma de gestão de pedidos de impressão e a reorganização da disposição dos equipamentos e materiais associados à impressão 3D.

Applying additive manufacturing in the construction of tools for an automotive production line

Abstract

Nowadays, the production lines of the automotive industry are subject to a high pressure of productivity and in need of increasing the efficiency of the processes involved. One of the ways of reducing the costs of operating a production line involves the internalization of the production of tools and small series of products used in the repair or even the continuous improvement and evolution of the components of the production process. This production can be achieved by using plastic filament based additive manufacturing technology, better known as 3D printing. It is in this context that the Mangualde Production Center (CPMG), an industrial unit of Groupe PSA responsible for the production of light commercial vehicles, decided that it wanted to improve the application of this technology in its production process. This document reports the project developed in the company.

The project focused on analyzing and improving the additive manufacturing process that the company had been using for three years.

The tools and parts that the company already manufactured using the additive manufacturing technology were object of analysis in order to understand if the materials used in their manufacturing were the most appropriate.

Prior to this project, the company did not manage printing costs nor had it a way of effectively comparing printed and outsourced parts.

There was a lack of a printing requests management platform and the layout of the 3D printing equipment and material was not correctly organized.

The project aims at the selection and acquisition of new materials, the creation of a solution to support cost management and track prints history, the introduction of a platform to manage printing requests and the reorganization of the equipment and materials layout.

Agradecimentos

Na empresa onde realizei a dissertação, o Centro de Produção de Mangualde, agradeço ao engenheiro Carlos Mesquita pela oportunidade proporcionada de integrar este projeto na empresa. Agradeço igualmente ao Bruno Nascimento e ao Tiago Almeida, que me acompanharam neste projeto, por toda a orientação e apoio profissional prestados, assim como o bom humor e disponibilidade mostrados. Agradeço ainda a toda equipa da PERFO 4.0, aos estagiários que iniciaram o percurso na empresa comigo e a todos os colaboradores com quem tive o prazer de conviver todos os dias.

Agradeço ao Professor José António Barros Basto pela ajuda, orientação e valiosos conselhos prestados ao longo da elaboração da presente dissertação.

Agradeço aos meus amigos e familiares por me terem aturado e ajudado ao longo destes meses e desde sempre.

Agradeço especialmente à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão por todo o apoio, sempre incondicional, e por me proporcionarem todas as condições para chegar onde estou hoje. O meu mais sincero obrigado.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	O Grupo PSA e o CPMG.....	1
1.3	Objetivos do projeto	2
1.4	Planeamento do projeto	3
1.5	Estrutura da dissertação	3
2	Fabricação Aditiva.....	5
2.1	Fused Deposition Modelling (FDM)	6
2.2	Impacto na linha de produção	8
3	Problemas e o seu contexto atual na empresa.....	10
3.1	Situação inicial	10
3.1.1	Impressoras 3D	10
3.1.2	Material	11
3.1.3	Unidades Requerentes	12
3.1.4	Processo de Impressão 3D.....	14
3.1.5	Gestão de <i>Stock</i>	16
3.2	Problemas da situação atual	17
3.2.1	Materiais Utilizados.....	17
3.2.2	Controlo e Gestão de Custos.....	19
3.2.3	Rastreamento e Histórico de Pedidos e Impressões	19
3.2.4	Localização e Disposição dos Equipamentos.....	20
4	Soluções propostas.....	23
4.1	Aquisição de Novos Materiais	23
4.1.1	Aplicação do Policarbonato	24
4.1.2	Implementação	25
4.2	Criação de uma ferramenta de apoio à gestão de custos e histórico de impressões	26
4.2.1	Objetivos da ferramenta.....	26
4.2.2	Esquematização da Solução	27
4.2.3	Interface e <i>Software</i> Utilizados	27
4.2.4	Tratamento de Dados e Cálculo dos Custos de Impressão	28
4.2.5	Visualização dos indicadores.....	30
4.2.6	Ficheiro de comparação de custos e <i>lead times</i> entre peças	31
4.3	Plataforma de gestão de pedidos de impressão	34
4.4	Disposição e Manutenção dos Equipamentos e Materiais	35
4.4.1	Disposição e Reutilização	35
4.4.2	Manutenção e Monitorização	36
5	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	38
	Referências	40
ANEXO A:	Exemplos de peças passíveis de serem impressas.....	43
ANEXO B:	Folha de Excel Antiga com Custos, Tempos e Lucros.....	45
ANEXO C:	Comparação das características do ABS, PLA, Nylon e PC.....	46
ANEXO D:	Fotografias relacionadas com a aquisição do PC	47
ANEXO E:	Ficheiro Excel com várias soluções de <i>enclosure</i> para as impressoras	48
ANEXO F:	Informações do ficheiro CSV disponibilizado pelo Cura Connect.....	50
ANEXO G:	Ficheiro Excel com os indicadores de impressão	51
ANEXO H:	<i>Workflow</i> de um Pedido de compra geral	56

ANEXO I:	Impressão 3D na Plataforma SharePoint	57
ANEXO J:	Página de monitorização e manutenção da Ultimaker 3	58

Siglas

ABS – “*Acrylonitrile Butadiene Styrene*” - Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno;

CPMG – Centro de Produção de Mangualde;

FA – Fabricação Aditiva;

FDM – “*Fused Deposition Modelling*” – Modelagem de Deposição Fundida;

FFF – “*Fused Filament Fabrication*” – Fabricação de Filamento Fundido;

PA – “*Polyamide*” – Poliamida;

PC – “*Polycarbonate*” – Policarbonato;

PEI – “*Polyetherimide*” – Polieterimida;

PLA – “*Polylactic Acid*” – Ácido Polilático;

PSA – “*Peugeot Société Anonyme*” – Peugeot Sociedade Anónima;

RI – Responsável de Impressão;

SLA – “*Stereolithography*” – Estereolitografia;

SLS – “*Selective Laser Sintering*” - Sinterização a Laser Seletiva;

TPE – “*Thermoplastic Elastomer*” – Elastómero Termoplástico;

TPU – “*Thermoplastic Polyurethane*” - Poliuretano Termoplástico;

UR – Unidade Requerente.

Índice de Figuras

Figura 1 - Logótipos do Groupe PSA e do CPMG.....	2
Figura 2 - Cronograma do projeto	3
Figura 3 - Esquematização do processo de fabricação aditiva FDM	5
Figura 4 - BQ Prusa i3 Hephestos (esquerda) e Ultimaker 3 (direita)	10
Figura 5 - Exemplos de peças impressas utilizando PLA normal	11
Figura 6 - Exemplos de peças impressas em <i>Wood PLA</i>	12
Figura 7 - Exemplos de peças impressas em TPU	12
Figura 8 - Planta do CPMG com URs de produção identificadas	13
Figura 9 – Distribuição inicial de peças por UR	13
Figura 10 - Processo de Impressão <i>AS IS</i>	14
Figura 11 - Pino de guia em PLA (i) e sua aplicação	18
Figura 12 – Chave de Calibração de Faróis Atual, em uso	18
Figura 13 - Chave Calibração Faróis Atual	18
Figura 14 – Modelo Inicial da Chave de Calibração de Faróis, em PLA.....	18
Figura 15 – 2º Modelo da Chave de Calibração de Faróis, em PLA.....	19
Figura 16 - Esboço do <i>layout</i> inicial da plataforma online de impressão 3D (fonte: CPMG) .	20
Figura 17 – <i>Layout</i> da sala de reuniões Steve Jobs, na situação inicial	21
Figura 18 - Pino de Guia em PC.....	25
Figura 19 - Chave de Calibração dos Faróis em PC.....	25
Figura 20 - Chave de Calibração de Faróis em PC em uso (esquerda) e após fratura (direita)	26
Figura 21 - Esquematização da solução da ferramenta proposta.....	27
Figura 22 - Menu principal do ficheiro Excel de indicadores	30
Figura 23 - Folha 10. <i>Printing Calculator</i>	31
Figura 24 - <i>Template</i> do ficheiro de comparação entre peças (com dados fictícios)	32
Figura 25 - Distribuições de quantidade e tipos de peças.....	32
Figura 26 - Cale Original e Cale Impressa em PLA.....	33
Figura 27 - Calibre para regulação de escovas limpa vidros impresso em 3D.....	33
Figura 28 - Protótipo de um porta-eléctrodo impresso em 3D.....	33
Figura 29 – Gancho original e impresso.....	34
Figura 30 – Plataforma de acompanhamento dos pedidos de impressão	34
Figura 31 - Disposição encontrada para os Equipamentos e Materiais.....	35
Figura 32 - Peça reaproveitada como suporte de monitor	35
Figura 33 - Exemplos de peças e ferramentas passíveis de serem produzidas internamente (1 de 2, fotografias da autoria de Tiago Almeida).....	43
Figura 34 - Exemplos de peças e ferramentas passíveis de serem produzidas internamente (2 de 2, fotografias da autoria de Tiago Almeida).....	44

Figura 35 - Ficheiro Excel antigo com os custos e tempos de impressão	45
Figura 36 - Comparação de características entre o ABS, PLA, Nylon e PC in “ https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/properties- table/?filas=abs,pla,Nylon,polycarbonate ”	46
Figura 37 - Peças de suporte impressas em PLA (a vermelho) e capa de acrílico (a azul)	47
Figura 38 – Recorte da superfície de Impressão LokBuild e aplicação na cama de impressão	47
Figura 39 - Folha de Índice do ficheiro Excel com os diferentes tipos de <i>enclosure</i>	48
Figura 40 - Exemplo de um tipo de <i>enclosure</i>	49
Figura 41 - Informações do ficheiro CSV exportado do Cura Connect	50
Figura 42 - Folha 1. <i>Raw Data from R</i>	51
Figura 43 - Folha 3. <i>Filtered Costs - Charts</i>	52
Figura 44 - Folha 4. <i>Overall Costs - Charts</i>	52
Figura 45 - Folha 5. <i>Costs - Pivot Tables</i>	53
Figura 46 - Folha 6. <i>Prints per Days & Weeks</i>	53
Figura 47 - Folha 7. <i>Real vs Estimated Times</i>	54
Figura 48 - Folha 8. <i>Quantity of Material</i>	54
Figura 49 - Folha 11. <i>Success Rate</i>	55
Figura 50 - <i>Workflow</i> de um pedido de compra geral	56
Figura 51 - Pasta de impressão 3D na Plataforma SharePoint	57
Figura 52 - Página de monitorização e manutenção da Ultimaker 3 da interface Cura Connect	58

1 Introdução

Este relatório foi elaborado no âmbito da Unidade Curricular de Dissertação, no 2º semestre do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O projeto descrito foi realizado em ambiente empresarial, no Centro de Produção de Mangualde (CPMG) pertencente ao Groupe PSA.

Em seguida, será feita uma curta apresentação da empresa, enquadramento e motivação, principais objetivos do projeto, a metodologia seguida e a estrutura da dissertação adotada.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Este projeto tem como foco principal a utilização de tecnologia de fabricação aditiva com filamentos plásticos na construção de peças e ferramentas a serem utilizada numa linha de produção automóvel.

A correta implementação da tecnologia de fabricação aditiva de peças e ferramentas na indústria automóvel substitui a necessidade de compra das mesmas a terceiros, reduzindo significativamente os custos e o tempo de desenvolvimento associados. Um caso de sucesso na utilização desta tecnologia é a Volkswagen Autoeuropa que validou a ideia em 2014 e, desde então, reduziu os custos de desenvolvimento de ferramentas em 91% e o seu tempo de desenvolvimento em 95% (Ultimaker, 2017). Números percentuais como estes, aplicados a um volume de negócio desta dimensão, traduzem-se em poupanças anuais de centenas de milhares de euros. As possibilidades e potencialidades das impressoras 3D foram o que motivou o CPMG a investir nesta tecnologia.

A equipa onde o projeto decorreu é a PERFO 4.0 e encontra-se estabelecida no Edifício Administrativo do CPMG.

1.2 O Groupe PSA e o CPMG

O Groupe PSA (*Peugeot Société Anonyme*, logótipo apresentado na Figura 1) é uma empresa multinacional francesa (fundada em 1966) fabricante de veículos automotores vendidos sob as marcas Peugeot, Citroën, DS, Opel e Vauxhall. Foi fundada em 1966 pela Peugeot S.A. e, em 1976, a fusão da Citroën S.A. e da Peugeot S.A. deu origem ao grupo PSA Peugeot Citroën. Em 1978, o grupo comprou a empresa Chrysler Europe. A Peugeot é a maior marca PSA em todo o mundo, enquanto a Opel e a Vauxhall são as maiores marcas PSA na Europa. A presença do Groupe PSA é global, tendo fábricas e centros de desenvolvimento na América do Norte, América do Sul, Ásia e Europa. Em 2016 mudou o seu nome para o que possui atualmente (PSA, 2019).



Figura 1 - Logótipos do Groupe PSA e do CPMG

O CPMG é uma unidade industrial responsável pela produção de veículos comerciais ligeiros do Groupe PSA. Foi fundado em 1962 e cobre uma superfície de 78.257 m², contando, atualmente, com cerca de 1.000 colaboradores efetivos. Neste momento é responsável pela produção dos modelos Peugeot Partner, Peugeot Rifter, Citroën Berlingo, Citroën Berlingo Van, Opel Combo e Opel Combo Furgão. (PSA, 2019)

Em 2018 aumentou a sua produção 17,8% face ao ano anterior. Com mais de 1,4 milhões de veículos produzidos desde a sua criação, está a fabricar 321 veículos por dia.

A fábrica opera 24 horas por dia, 5 dias por semana, podendo em alguns meses os colaboradores da linha trabalhar também a sábados e domingos, dependendo do mês e da produção prevista para esse mês. O trabalho está repartido por três turnos: turno da manhã das 07:00 às 15:00, turno da tarde das 15:00 às 23:00 e turno da noite das 23:00 às 07:00. Este é o horário dos colaboradores da linha de produção. Os colaboradores dos departamentos administrativos têm apenas um horário, trabalhando de segunda a sexta, das 08:00 às 17:00. Este é também o horário de funcionamento da impressão 3D.

O processo de fabrico de um automóvel no CPMG é feito e dividido em várias partes, respeitando o seguinte fluxo de fabricação (em ordem crescente): Ferragem – Pintura – Montagem – Qualidade (*Bout D'Usine*). A Logística está presente durante todo o processo de fabricação, tendo como missão principal a entrega de peças em cada um destes postos no momento em que elas são precisas.

O CPMG tem um potencial de exportação anual que ronda os 77.000 carros por ano, produzindo 1 carro a cada 4 minutos. O fabrico de cada carro envolve várias fases e cada fase vários e variados processos. Cada processo é único e tanto as peças como as ferramentas utilizadas em cada um vão diferindo entre si. Todas as peças e ferramentas são compradas a fornecedores externos e algumas têm de ser substituídas com regularidade, seja por desgaste, quebra ou mesmo pela sua perda. Para além de não serem baratas, a substituição destas peças e ferramentas pode, também, demorar vários dias, fazendo com que este processo seja caro e moroso.

Surgiu, então, a necessidade de arranjar uma alternativa que reduzisse o custo e tempo de aquisição das peças utilizadas neste processo. A alternativa encontrada foi a compra de duas impressoras 3D, a primeira em 2016 e a segunda em 2018, para imprimir peças e ferramentas para serem utilizadas na linha de produção. Este projeto nasceu para se fazer um estudo analítico e financeiro sobre a viabilidade desta tecnologia na empresa, que até então era desconhecida.

1.3 Objetivos do projeto

Como acima referido, o CPMG adquiriu e utilizava a tecnologia de fabricação aditiva desde 2016. No entanto, não dispunha de um suporte de gestão de custos do processo de impressão, nem um registo do histórico de impressões. Isto tornava muito difícil para a empresa saber quais eram as peças e ferramentas que lhes compensava imprimir.

Concretamente, este projeto teve dois objetivos principais.

Um dos objetivos foi a identificação de peças que deveriam deixar de ser compradas a fornecedores externos e passar a ser produzidas internamente, com a utilização das impressoras 3D.

O segundo objetivo deste projeto foi a compilação de um catálogo de peças, que inclui as informações mais importantes para cada peça, como os seus custos, tempos, frequências de impressão, entre outros.

Destes dois objetivos foram estabelecidos objetivos intermédios como:

- A pesquisa e aquisição de novos materiais de impressão para implementar na fabricação de ferramentas;
- A criação de uma ferramenta de apoio à gestão de custos e de histórico de impressões que possibilitasse a criação e visualização de indicadores relativos ao processo de impressão 3D;
- A implementação de uma plataforma de gestão de pedidos de impressão para visualização, criação, e acompanhamento em tempo real de todos os pedidos de impressão;
- A alteração e reorganização da disposição dos equipamentos e materiais e melhoria da manutenção e monitorização dos mesmos.

1.4 Planeamento do projeto

De acordo com os objetivos atrás referidos, o desenvolvimento do projeto foi dividido em fases e subdividido em diferentes tarefas, como é possível observar na Figura 2.

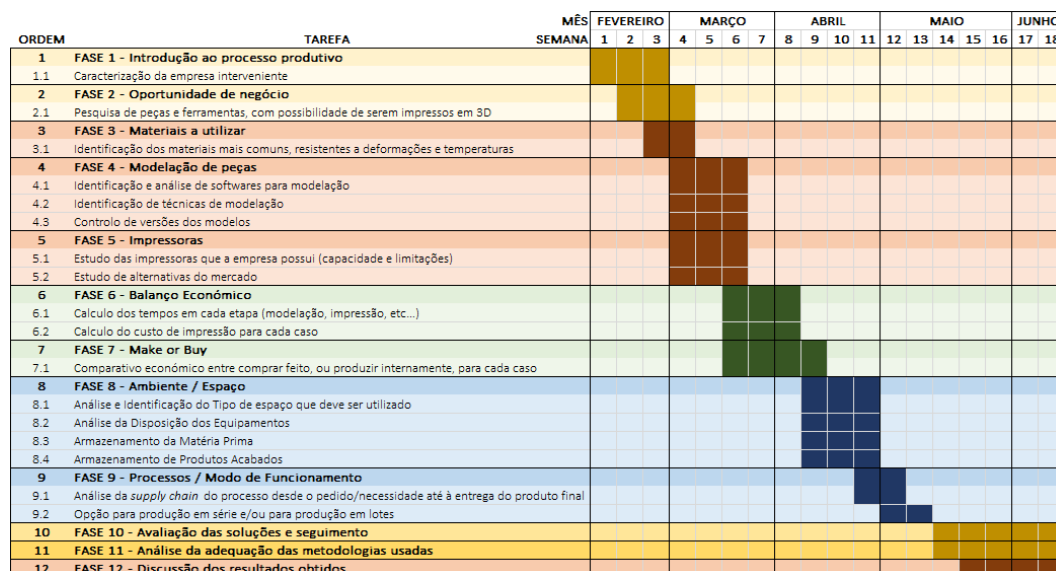


Figura 2 - Cronograma do projeto

1.5 Estrutura da dissertação

A estrutura da presente dissertação está dividida em cinco capítulos.

O capítulo atual é introdutório, fazendo-se uma breve apresentação da empresa onde decorreu o projeto, enunciando-se os objetivos propostos e o planeamento seguido para a realização do projeto.

No segundo capítulo faz-se a revisão do estado da arte e fundamentos teóricos relacionados com a fabricação aditiva, apresentando brevemente a sua origem, os diferentes tipos que existem, os tipos de materiais e impressoras disponíveis atualmente, e vantagens desta tecnologia.

No terceiro capítulo é descrita a situação inicial do departamento da PERFO 4.0, onde decorreu o projeto, evidenciando os problemas que motivaram a realização deste projeto.

O quarto capítulo descreve as soluções encontradas, que incluem a aquisição de material, a criação de uma ferramenta de apoio à gestão de custos e histórico de impressões, e a organização do espaço utilizado para a impressão 3D.

O quinto e último capítulo apresenta as conclusões do projeto realizado, assim como as perspetivas e projetos de trabalho futuro a realizar na empresa.

2 Fabricação Aditiva

A fabricação aditiva, FA, mais popularmente designada de impressão 3D, é uma tecnologia de construção de ferramentas, peças e produtos, atualmente usada por fabricantes no mundo inteiro. Ao contrário dos métodos de fabricação subtrativa tradicionais, em que um bloco de material é cortado e moldado para se obter o produto final, esta tecnologia utiliza materiais líquidos, em pó e filamentosos que são depositados, numa superfície plana, camada a camada, para criar o produto final. (Balletti et al, 2017)

É um processo de fabricação relativamente recente, tendo sido inventado nos meados da década de 80, com o nome de Prototipagem Rápida (Gaubatz, 1996). Este método foi concebido como sendo mais rápido e barato na criação de protótipos para o desenvolvimento de produtos. Desde então, a fabricação aditiva evoluiu desde a fabricação de protótipos, passando pela fabricação de ferramentas até, finalmente, a fabricação de produtos.

Este processo, esquematizado na Figura 3, inicia-se com a elaboração do modelo numérico em 3D, de uma peça, num *software* que permita a criação de modelos 3D. Esse ficheiro é exportado, geralmente no formato .STL, e importado para um *software* de impressão especializado, denominado *slicer* (fatiador, em português). O *slicer* ‘corta’ o modelo 3D em camadas finas e gera um código G, ou .gcode, com vários comandos numéricos, que irá ser interpretado pela impressora para construir a peça através da sobreposição de camadas de material. É assim possível alcançar níveis de complexidade que não se conseguem replicar com outras tecnologias: um exemplo é a criação de uma esfera oca, que simplesmente não é possível criar com uma fresadora (Balletti et al, 2017).

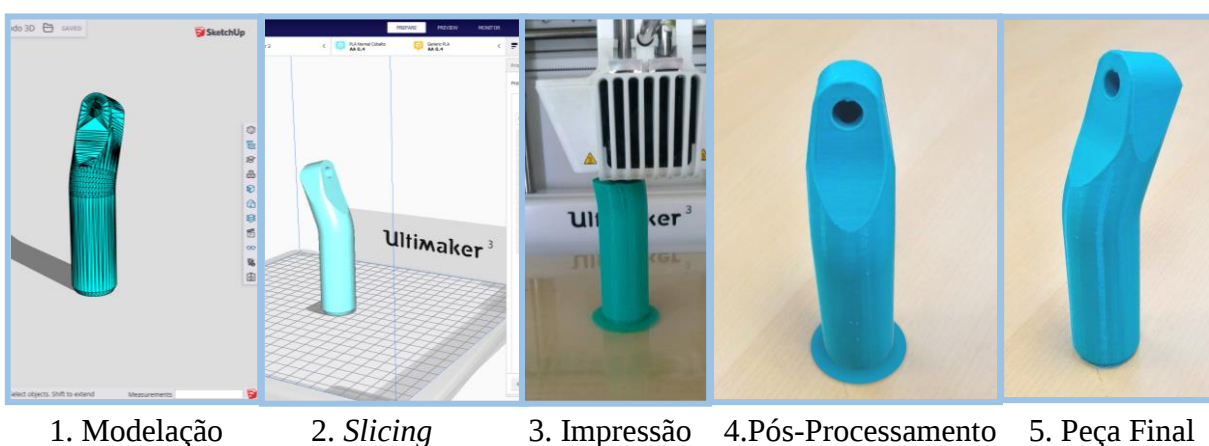


Figura 3 - Esquematização do processo de fabricação aditiva FDM

Segundo Vermeire (2019), as cinco razões principais para usar a fabricação aditiva são as seguintes, por ordem decrescente:

- Liberdade de *design*;
- *Lead time* reduzido;

- Customização do produto;
- Produção economicamente viável (em baixa quantidade);
- Produção *on-demand*, consoante a procura.

A fabricação de protótipos com esta tecnologia possibilita a utilização do produto, pelos clientes, em tempo real e o seu *feedback* ajuda a melhorar o produto final.

A complexidade que é possível atribuir às peças, ao contrário da moldagem por injeção, em que as ferramentas não só são caras como também limitam a forma que se pode atribuir à peça, é uma das grandes vantagens da FA (Li et al, 2017).

Esta tecnologia ainda não consegue substituir métodos tradicionais de fabricação em indústrias onde o volume de produção seja elevado, a customização não seja significativa, ou não exista, e onde o custo seja um fator determinante (Vermeire, 2019). O mesmo autor aponta ainda alguns dos fatores que afetam o uso da FA em algumas indústrias:

- a falta de conhecimento sobre a existência e potencialidades da FA;
- o custo dos materiais e das impressoras permanece relativamente elevado;
- a falta de experiência nesta área e tecnologia.

Estes fatores levam algumas indústrias a ponderar a não adoção desta tecnologia. No entanto, a crescente investigação e inovação desta tecnologia irá aumentar a adoção da FA. O investimento das empresas, nesta tecnologia, fará com que mantenham vantagem competitiva nas respetivas indústrias.

Atualmente existem várias técnicas diferentes utilizadas na fabricação aditiva comercial. Segundo Jani (2018), as três técnicas mais populares são as seguintes:

- FDM (*Fused Deposition Modelling*) ou FFF (*Fused Filament Fabrication*), que irá ser abordada com mais detalhe no capítulo 2.1.1;
- SLS (*Selective Laser Sintering*);
- SLA (*Stereolithography*).

A SLS consiste na sinterização de pó, tipicamente um polímero, camada a camada, através da utilização de um laser direcionado para ligar as partículas de material (Vayre et al, 2012).

A SLA utiliza resina curável com radiação ultravioleta como matéria-prima. A resina é depositada num tanque com uma base de vidro e uma plataforma, onde vai ser construída a peça, é mergulhada na resina. Um projetor de luz UV encontra-se colocado por baixo da base de vidro e, sucessivamente projeta diferentes padrões na base de vidro que vão endurecendo a resina, camada a camada, à medida que a plataforma vai subindo, até a peça estar completa. (Jani 2018).

2.1 Fused Deposition Modelling (FDM)

A técnica mais usada, especialmente em impressoras comerciais e a única utilizada no CPMG, é a FDM. Foi desenvolvida e patenteada por Scott Crump no final dos anos 80 e começou a ser comercializada pela Stratasys nos anos 90 (Patel et al, 2014). Esta técnica baseia-se na estratificação de termoplástico derretido. A formação é baseada no princípio de adição, de modo a que cada camada, uma vez depositada, seja coberta pela seguinte, criando sobreposições consecutivas. A tecnologia FDM tem vindo a crescer 20% em lucro, anualmente, em indústrias como a aeronáutica e a automotiva (Valerga et al, 2018).

Materiais

Os materiais mais utilizados neste processo são os mesmos polímeros termoplásticos testados e utilizados noutros processos de fabricação (como a moldagem por injeção). Existem diversos tipos de materiais, dentro desta categoria, com propriedades mecânicas, características e utilizações bastante diferentes. Os mais utilizados são o PLA, ABS, PC, TPE e o Nylon.

O Ácido Polilático (PLA) é o termoplástico mais popular e utilizado na atualidade devido à sua facilidade de impressão e custo reduzido. Apresenta propriedades mecânicas significativamente superiores às da maior parte dos outros plásticos, com exceção de materiais como o Nylon (PA), o policarbonato (PC), e misturas de compósitos (Tymrak et al, 2014) . Para além disso, é um polímero natural, derivado de fontes renováveis como o amido de milho ou cana-de-açúcar, e tem desempenhado um papel central na substituição de polímeros sintéticos à base de fósseis (Valerga et al, 2018).

O Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS) é o segundo material mais utilizado, atualmente, em impressão 3D e foi um dos primeiros termoplásticos a ser utilizados na fabricação aditiva FDM. Apresenta um custo reduzido (semelhante ao PLA), é um material durável e apresenta excelentes propriedades mecânicas, superiores às do PLA. (Tanguay, 2019). No entanto, segundo um estudo realizado por (Azimi et al, 2016), durante a impressão de ABS são libertadas, para o ar, partículas ultrafinas, numa quantidade considerável, de estireno, componente identificado como sendo provavelmente cancerígeno, para o ar. Devido a este facto, é aconselhável que se imprima ABS num local bem arejado ou que se use um tipo de invólucro (em inglês, *enclosure*) à volta da impressora, com um filtro de ar, para impedir a propagação das partículas ultrafinas. (Azimi et al, 2016).

O Policarbonato (PC) é um dos termoplásticos mais duros e resistentes utilizados na fabricação aditiva FDM. É o material utilizado nos capacetes de bicicletas, vidros de proteção, faróis de automóveis, telhados, entre outros. As suas principais propriedades são a elevada dureza, resistência e durabilidade. Para além disto, o PC é naturalmente transparente. No entanto, apresenta um custo mais elevado do que o PLA ou ABS, é altamente higroscópico (absorve a humidade do ar), o que pode causar defeitos durante a sua impressão e requer temperaturas de impressão mais altas do que o normal. (Simplify3D, 2019).

Os Termoplásticos Elastómeros (TPE) são uma mistura de plástico duro e borracha. Estes filamentos, tal como o seu nome sugere, são elásticos e flexíveis, apresentando características, propriedades e utilizações diferentes dos restantes filamentos. O material mais comum dentro dos TPE, utilizado na impressão 3D, é o Termoplástico Poliuretano (TPU). O grau de elasticidade do plástico depende do tipo de TPE e da formulação química usada pelo fabricante. Podem apresentar flexibilidade parcial ou ser totalmente flexíveis. No entanto, estes materiais, devido à sua enorme flexibilidade, são mais difíceis de imprimir, podendo causar entupimentos no extrusor, bolhas e rastros de material indesejados na peça, o que afeta a qualidade desta (Simplify3D, 2019a).

O Nylon (Poliamida, PA) é um termoplástico muito utilizado pela sua resistência e flexibilidade. Uma das dificuldades de imprimir com Nylon é que, tal como o Policarbonato, é um material higroscópico e requer temperaturas de impressão mais altas do que o normal. Isto torna muito importante o armazenamento destes filamentos em ambientes sem humidade (Simplify3D, 2019b).

Impressoras

O funcionamento de uma impressora 3D FDM é o seguinte: o bocal de um extrusor é aquecido para derreter o filamento termoplástico e pode ser movido nos três eixos principais - horizontalmente (eixos X e Y) e verticalmente (eixo Z) - a partir de motores a passo, controlados numericamente. O rolo de filamento é desenrolado da bobina onde está colocado,

para passar por uma zona aquecida (denominada *hotend*) com temperaturas entre os 200 e os 300°C, dependendo do tipo de material que se está a usar. Este desenrolar é acionado e controlado por um motor passo a passo com uma engrenagem que gira e empurra, lentamente, o filamento para dentro do *hotend*. Existem dois tipos de extrusões: direta e com tubo de Bowden. A diferença entre as duas é que na extrusão direta, o motor passo a passo que empurra o filamento encontra-se montado no extrusor, enquanto que na extrusão com tubo de Bowden, o motor passo a passo não se encontra colocado junto ao extrusor e o filamento atravessa um tubo de Politetrafluoroetileno (PTFE), geralmente, até ao extrusor (Hullette, 2018). O material é depositado numa superfície, geralmente aquecida, chamada cama de impressão. É nesta superfície que a peça será sucessivamente construída. Se a peça tiver uma forma que seja impossível de imprimir sem utilização de suportes, o *licer* gera estes suportes automaticamente. Se a peça tiver dois extrusores, os suportes podem ser impressos num material diferente da peça (solúvel, por exemplo), para facilitar a sua remoção (Balletti et al, 2017). Segundo Balletti et al (2017) o nível de qualidade de uma impressão FDM não é comparável ao nível de qualidade obtido com outras técnicas industriais que envolvem tecnologia laser, por exemplo, mas a relação custo-valor desta tecnologia é o que a torna tão atraente.

As impressoras 3D FDM, apesar de terem o mesmo princípio base de impressão 3D, podem ser divididas em categorias, de acordo com a forma como o extrusor e a cama de impressão se movem. Essas categorias são as seguintes: (i) cartesianas, (ii) delta, (iii) polar e (iv) SCARA (*Selective Compliance Assembly Robotic Arm*) (Yusuf, 2017).

As impressoras cartesianas (i) são as mais utilizadas na impressão FDM. Esta categoria tem este nome devido ao sistema de coordenadas dimensional – os eixos X, Y e Z – que é usado para determinar onde e como é feito o movimento em três dimensões. Estas impressoras têm, geralmente, uma cama de impressão que desloca ao longo do eixo Z. O extrusor encontra-se num pórtico e desloca-se ao longo dos eixos X e Y, podendo-se mover em 2 direções, como é o caso da impressora Ultimaker 3. Apesar de este ser o modelo de funcionamento mais comum, existem impressoras deste tipo cujo extrusor se move ao longo dos eixos Y e Z, enquanto a cama se move ao longo do eixo X, sendo o seu *design* simples e de fácil manutenção. A comunidade, informação e investigação desta categoria de impressoras é a maior dentro das impressoras FDM, tornando a experiência de utilização muito mais fácil e confortável para todo o tipo de utilizadores (3dprinterpower, 2018).

As impressoras delta (ii) também funcionam dentro do plano Cartesiano, mas funcionam de maneira diferente. Possuem uma cama de impressão redonda e o extrusor está suspenso por três braços numa configuração triangular, daí o nome “Delta”. Estes braços deslocam segundo os eixos X,Y e Z e a cama de impressão permanece estática durante todo o processo de impressão. Segundo Flynt (2019), estas impressoras têm uma curva de aprendizagem mais acentuada, a comunidade de utilizadores é mais pequena do que a comunidade de impressoras cartesianas, é mais difícil de diagnosticar problemas que ocorram e a oferta de mercado de boas impressoras delta é menor.

As impressoras polares (iii) e SCARA (iv) são as menos utilizadas, estando ainda a emergir e a ser melhoradas. As impressoras polares (iii) funcionam através da rotação de uma cama de impressão redonda e um extrusor que só se move no eixo Z. As SCARA (iv) funcionam através de um extrusor montado num braço robótico que se movimenta sobre uma cama de impressão (Yusuf, 2017).

2.2 Impacto na linha de produção

Uma das grandes utilizações da fabricação aditiva é a sua integração em linhas de produção e consequente alteração das cadeias de abastecimento. Estas alterações podem complementar, substituir ou criar novas configurações da cadeia de abastecimento. É possível obter

excelentes resultados em termos de personalização e complexidade de produtos e de volume de produção mas, segundo Rogers et al (2016), a FA ainda não atingiu o seu potencial máximo. Apesar de fornecedores de serviço estabelecidos se terem desenvolvido significativamente na última década e consigam, atualmente, oferecer um vasto leque de serviços a nível global, fornecedores mais pequenos necessitam, ainda, de alcançar resultados comparáveis. As estruturas do mercado desta tecnologia não estão ainda estabilizadas e podem mudar com o tempo.

Os produtos ideais para produzir usando a FA são produtos com volumes de produção baixos, que tenham geometrias complexas e não tenham uma procura estável nem previsível. Para além disso, o material que se desperdiça é inferior ao de um método de fabricação tradicional. Tudo isto resulta na redução nos custos de armazenamento, transporte e empacotamento (Li et al, 2017).

(Holmström e Gutowski, 2017) identificaram os três seguintes benefícios de introduzir a fabricação aditiva na cadeia de abastecimento:

- Reduzir o transporte através da localização da produção, ou seja, aproximar a produção das peças da linha de produção, reduzindo o tempo e custo de transporte destas;
- Reduzir o consumo de material através da redução de produção em excesso e simplificação de algumas operações;
- Aumentar a vida de produtos em uso através de reparações aditivas e uso de peças auxiliares.

3 Problemas e o seu contexto atual na empresa

Neste capítulo irá ser feita a descrição detalhada da situação atual da utilização da fabricação aditiva FDM no Centro de Produção de Mangualde, do Groupe PSA, assim como os problemas a ela associados.

3.1 Situação inicial

A equipa responsável pela impressão 3D é a PERFO 4.0 e encontra-se estabelecida no Edifício Administrativo. Esta equipa é constituída por membros de diferentes departamentos, sendo que apenas um dos membros é responsável pela impressão 3D, o RI, desempenhando todas as funções associadas a este processo. No entanto, a sua função na empresa não é exclusiva à impressão 3D.

A empresa iniciou o seu percurso de impressão 3D com a aquisição da impressora BQ Prusa i3 Hephestos. Desde a sua aquisição, nunca existiu um departamento dedicado exclusivamente à impressão 3D, assim como nunca se contratou ninguém com experiência nesta área. A impressão 3D ainda não é vista como um processo essencial para empresa, apesar dos investimentos já realizados.

3.1.1 Impressoras 3D

O CPMG possui duas impressoras, esquematizadas na Figura 4.

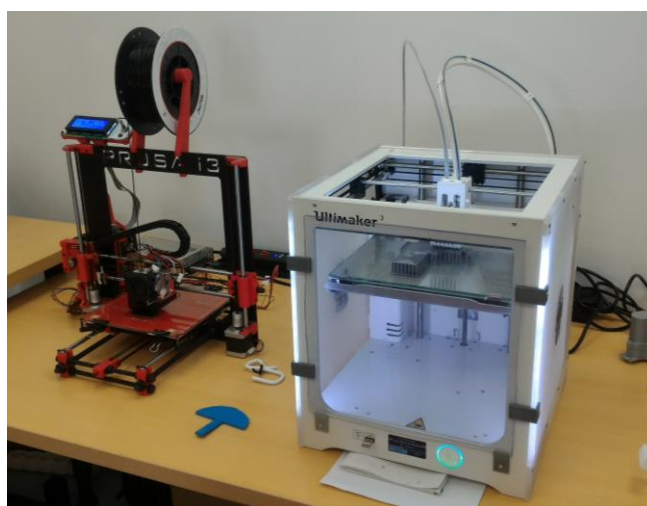


Figura 4 - BQ Prusa i3 Hephestos (esquerda) e Ultimaker 3 (direita)

BQ Prusa i3 Hephestos

Esta impressora foi projetada e desenvolvida pelo departamento de Inovação e Robótica da BQ. A Hephestos é *open-source* e adota a base da Prusa i3 original (criada por Josef Prusa),

ou seja, é do tipo cartesiana, acrescentando melhorias provenientes de outras impressoras, de membros da comunidade RepRap, modificações das peças e desenhos próprios do departamento. (bq, 2014).

A impressora foi adquirida no início de 2016 e todos os seus componentes são os de origem.

É do tipo cartesiana e as dimensões de impressão da impressora são 215 x 210 x 180 mm (xyz). O extrusor é do tipo direto e o diâmetro do filamento compatível com esta impressora é 1,75 mm.

Ao longo dos últimos 3 anos, a impressora foi usada por diferentes responsáveis e o feedback foi sempre positivo, é uma impressora que imprime bem e não dá muitos problemas, mesmo não tendo uma manutenção regular.

Ultimaker 3

A impressora Ultimaker 3 foi lançada em Outubro de 2016, introduzindo a extrusão dupla no mundo da impressão 3D *desktop* (Stevenson, 2016).

Em Outubro de 2018 o CPMG adquiriu esta impressora de modo a poder aumentar a cadência de impressão de peças. Após a sua aquisição, um dos fornecedores deu formação básica sobre impressão 3D aos colaboradores da PERFO.

As dimensões de impressão são 215 x 215 x 200 mm (xyz). O extrusor é do tipo *Bowden* e o diâmetro do filamento compatível com a Ultimaker é 2,85 mm. Apresenta um mecanismo de extrusão dupla, tendo, o *hotend*, dois bocais, o que permite a impressão de peças com 2 materiais distintos. A utilização desta funcionalidade é usada na impressão de códigos QR, utilizados na Pintura, e de proteções de ponteira de aparafusadora impressas em TPU, que necessitam de suportes em PLA normal.

Sempre que é necessário efetuar manutenção mais especializada e/ou resolver algum problema com a impressora, o fornecedor (que é local) desloca-se até ao CPMG e efetua a manutenção e/ou soluciona o problema.

3.1.2 Material

Os materiais utilizados, no CPMG, para realizar a impressão de peças são o PLA normal, o *Wood PLA* e o TPU.

PLA Normal

Este era o material mais utilizado para impressão de peças no CPMG. É o material mais barato e mais fácil de imprimir do mercado, assim como o que apresenta a maior variedade de cores disponíveis. É utilizado para imprimir todos os protótipos de novas peças e para imprimir a maior parte das peças finais, sendo as únicas exceções as proteções de ponteira de aparafusadora, por entrarem em contacto com o produto. A Figura 5 apresenta alguns exemplos de peças impressas em PLA.



Figura 5 - Exemplos de peças impressas utilizando PLA normal

Wood PLA

Este material apresenta características funcionais muito semelhantes ao PLA normal, com a diferença de conter uma percentagem de partículas de madeira natural que dão à peça final uma textura e aspeto a simular madeira. É mais caro do que o PLA normal e o tipo de filamento disponível no fornecedor atual (diâmetro de 1,75 mm) só é compatível com a impressora Prusa, não sendo, por isso, utilizado com regularidade. A Figura 6 apresenta alguns exemplos de peças impressas em *Wood PLA*.



Figura 6 - Exemplos de peças impressas em *Wood PLA*

TPU

As peças que requerem alguma flexibilidade e/ou um material menos rijo são impressas em TPU, que se assemelha a uma espécie de borracha rija. É o caso das proteções de ponteira de aparafusadora que servem para salvaguardar a integridade tanto do produto como do colaborador. A Figura 7 apresenta alguns exemplos de peças impressas em TPU.

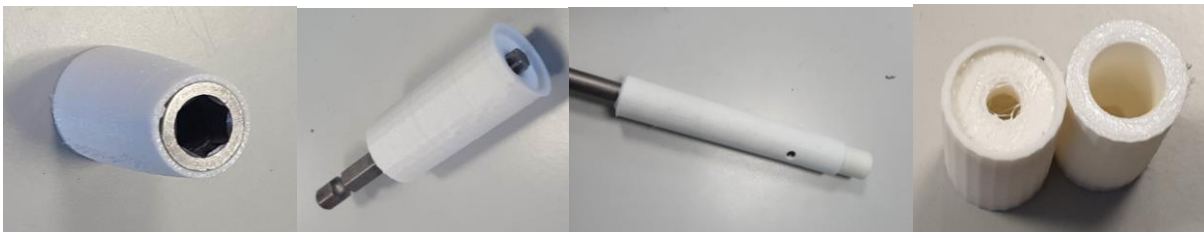


Figura 7 - Exemplos de peças impressas em TPU

Atualmente, quem efetua a compra do material são as Unidades Requerentes. Cada rolo de filamento que chega à fábrica é identificado, de acordo com a UR que fez o seu pedido de compra, e o RI escreve a sigla dessa UR no saco onde vem o rolo.

3.1.3 Unidades Requerentes

As Unidades Requerentes (UR) são os clientes internos, da impressão 3D, da fábrica. As UR estão divididas em cinco grandes grupos, quatro dos quais estão associados às quatro fases de produção do CPMG: (i) Ferragem, (ii) Pintura, (iii) Montagem, (iv) Qualidade e (v) Comunicação. Na Figura 8 encontra-se representada a planta do CPMG com as respetivas URs identificadas.



Figura 8 - Planta do CPMG com URs de produção identificadas

Alguns exemplos de peças possíveis de serem produzidas internamente já tinham sido fotografadas e encontram-se representadas na Figura 33 e na Figura 34 do anexo A.

Para perceber qual a distribuição de peças impressas em cada UR, efetuaram-se visitas aos diferentes postos e analisou-se o registo fotográfico de peças, capturadas pelo RI. O resultado encontra-se expresso na Figura 9.

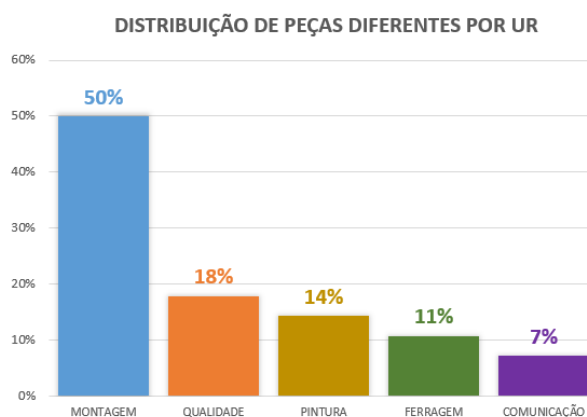


Figura 9 – Distribuição inicial de peças por UR

As percentagens apresentadas nos gráficos podem não corresponder ao número real de tipo e de quantidade de peças impressas, no CPMG, já que houve peças que foram utilizadas, desgastadas e descartadas, o registo das impressões era limitado, incompleto e não estava organizado por tipo. No entanto, do que foi possível apurar, os dados parecem coincidir com o que foi discutido com o RI, no início do projeto.

A Montagem (iii) é o maior cliente interno da impressão 3D, sendo a UR que requisita mais diversidade e quantidade de peças. Estas peças incluem proteções de ponteira de aparafusadora, gabaritos de montagem e calibragem, chaves, suportes, entre outros.

A Qualidade (iv) é o segundo maior cliente. Neste posto efetuam-se calibrações, inspeções e retoques ao produto final, sendo ampla a panóplia de instrumentos utilizados para efetuar estas operações. As peças impressas incluem gabaritos de calibragem, chaves e verificadores.

A Pintura (ii) não requisita peças usadas diretamente na pintura do produto mas sim peças para visualização e orientação do produto, como por exemplo códigos QR, que identificam o tipo de retoque que o carro necessita, e painéis com LED, para iluminar o produto.

A Ferragem (i) não requisita peças que entrem em contacto com o produto pois a maior parte das operações neste posto envolvem soldagem e o material usado na impressão 3D não suporta temperaturas muito elevadas, sendo as peças requisitadas proteções para partes de robôs e pinos de guia.

A Comunicação (v) diz respeito ao departamento de comunicação interno da fábrica, que, apesar dos seus colaboradores trabalharem no edifício administrativo, as peças requeridas por esta UR são para uso em vários pontos da fábrica. As requisições feitas incluem lembranças para colaboradores e caixas de *Raspberry Pis* personalizadas, que são colocadas em vários pontos distintos da fábrica, de modo a permitir a gestão remota de informações *media*.

Para além dos clientes internos, já foi usada a impressão 3D para criar produtos para outras fábricas do grupo. No entanto, o número de vezes que isso aconteceu não é significativo quando comparado com as impressões para clientes internos, pelo que não será abordada.

3.1.4 Processo de Impressão 3D

O processo de impressão 3D estudado, ilustrado na Figura 10, inicia-se sempre na unidade requerente (UR), quando esta faz um pedido de impressão ao RI.

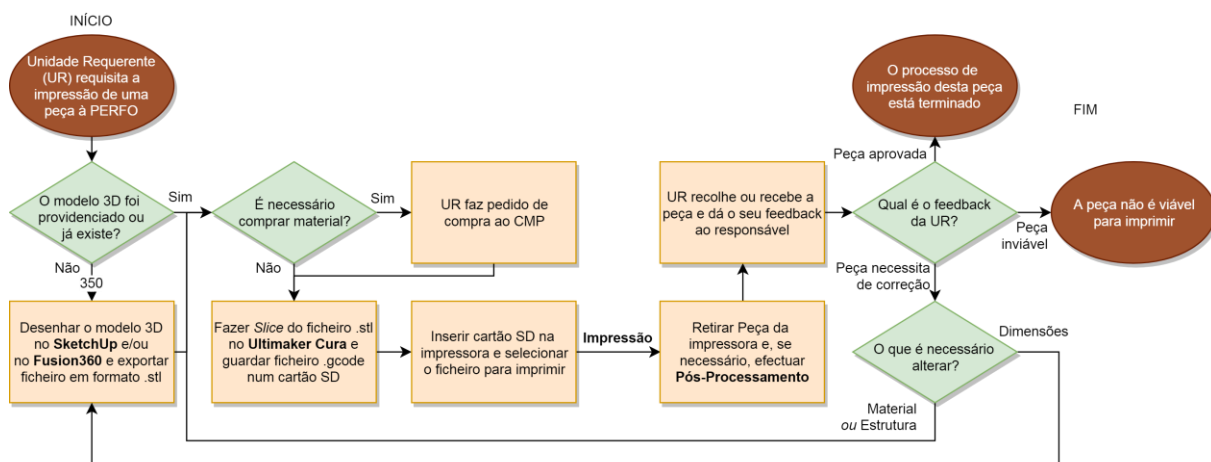


Figura 10 - Processo de Impressão AS IS

Pedido de Impressão

O pedido pode ser efetuado pessoalmente, via Skype ou correio eletrónico, não existindo nenhuma plataforma exclusiva e dedicada a este processo. Este pedido pode ser dividido em quatro tipos:

1. **PI com peça original inexistente:** este tipo de pedido é feito quando a UR necessita de uma solução para um problema ou entende que a solução atual para esse problema não é prática ou é dispendiosa. O modelo 3D (ficheiro .STL) da solução a ser impressa nem sempre é enviado pela UR e, quando isto acontece, é pedido ao RI que, para além de imprimir, modele a solução;
2. **PI com peça original existente:** acontece quando a UR reconhece um ganho de valor em substituir uma determinada peça, quer seja por rápido desgaste, custo ou *lead time*

da peça elevados, ou uma combinação destas três variáveis. O modelo 3D da peça, normalmente, já existe e é enviado pela UR. Quando isto não acontece, o procedimento passa por enviar a peça para o RI e este tenta reproduzi-la no *software* de modelação;

3. **PI de uma peça repetida:** este é o tipo de pedido que acontece quando a peça que é requerida já é uma peça que foi impressa anteriormente, testada com sucesso e poderá já se encontrar em utilização na fábrica. O ficheiro .STL desta peça já existe, assim como o ficheiro .gcode, necessitando apenas, o RI, de imprimir a peça;
4. **PI de alteração de uma peça:** deriva dos três pedidos anteriores. Depois de uma peça impressa ser enviada ou recolhida pela UR, esta vai ser testada para se saber se está conforme as especificações e se é uma opção viável para se utilizar. As alterações podem ser a nível de dimensões ou de tipo de material que foi utilizado para imprimir a peça.

Modelação 3D

Esta etapa só se realiza se o ficheiro .STL do modelo 3D não for fornecido. Nesse caso, o RI efetua a sua modelação num *software* de modelação 3D (SketchUp, Fusion360 ou ambos) e exporta o ficheiro em formato .STL, para ser utilizado no *software* de impressão. Ponderou-se a aquisição de um scanner 3D para auxiliar na modelação de peças mas devido à não complexidade das peças e ao tempo do processo de *scanning* e pós-processamento de modelação que eram requeridos, nunca foi adquirido nenhum aparelho de scan 3D.

Slicing

Esta etapa só se realiza se o RI ainda não tiver o ficheiro .gcode da peça.

Para obter este ficheiro, o RI faz *upload* do ficheiro .STL no *software* de impressão Ultimaker Cura. Tem de escolher a orientação da peça (ou peças, se for mais do que uma) na cama de impressão e, consoante o material, escolher um perfil de impressão. Este pode ser um perfil predefinido do *software*, um perfil personalizado pelo RI, previamente, para o tipo de material que se vai usar, ou pode ser criado um novo perfil ajustado ao tipo de material, se for um material novo ou se quiser experimentar novas definições de impressão para um material conhecido. As definições de impressão podem ser altamente customizadas e as mais básicas incluem as temperaturas da cama de impressão e do extrusor (ou extrusores, no caso de se tratar de uma impressão com extrusão dupla, na Ultimaker 3), as velocidades a que o extrusor se irá deslocar, a percentagem de preenchimento da peça (oca, parcialmente preenchida ou completamente preenchida), o número de camadas da base, o número de perímetros, a existência de suportes estruturais, potência da ventoinha do extrusor, pausar a impressão numa determinada camada, entre outras.

Escolhido o perfil de impressão, o RI clica no botão de *slice*, que gera o caminho que o extrusor irá percorrer durante a impressão, exporta todas estas informações num ficheiro do tipo .gcode e copia o ficheiro para um cartão SD.

Impressão

O RI verifica se a cama e se os bicos de extrusão estão limpos e prontos a serem utilizados e, se necessário, procede à sua limpeza com os produtos adequados. De seguida, verifica os rolos de filamento da impressora e, se não forem o material correto, efetua a troca de rolos. De acordo com o tipo de material, pode ser necessário aplicar cola na cama de impressão. Quando a cama de impressão não está corretamente nivelada, efetua-se o nivelamento manual, no caso da Prusa, ou pode-se escolher entre manual e automático, na Ultimaker. Por último, insere o cartão SD na impressora, escolhe o ficheiro e clica no botão *PRINT*. As peças que necessitam de porcas ou ímanes embutidos têm de parar o processo de impressão a meio, numa determinada camada. Nestes casos, o RI já definiu previamente, no Cura, qual é essa

camada e, depois de colocar as porcas ou ímanes, só necessita de clicar no botão *RESUME* para a impressão continuar. Quando a impressão termina, o RI retira a peça da cama de impressão e desliga a impressora.

Pós-Processamento

Esta etapa só se realiza se for necessário algum tipo de pós-processamento. Envolve a remoção de suportes, remoção de *rafts* ou *brims* (estruturas para aumentar a aderência do material à cama de impressão), correção de imperfeições com ferramentas próprias, adição de porcas ou parafusos, ou montagem da peça final (no caso de ser constituída por vários componentes).

Terminado o pós-processamento, a peça pode ser recolhida pelo responsável da UR ou o RI dirigir-se até ao posto da UR e entregar a peça.

Feedback da UR

A UR, após receber a peça, se esta for uma peça nova que nunca foi impressa ou que nunca foi usada no posto da UR, afere se esta está em condições para ser usada na linha. Os problemas que podem existir com a peça, fazendo com que ela seja enviada de volta para o RI para correção, podem estar relacionados com os seguintes aspetos:

- As **dimensões ou forma** da peça. Pode não ter o tamanho adequado ou não ser ergonómica. Neste caso, a UR deve remodelar a peça ou pedir ao RI para o fazer;
- O **material** utilizado para imprimir a peça. O material pode não ser adequado a nível de temperatura, dureza, rigidez ou resistência à fadiga. Dependendo da característica do material que não é adequada, o RI fica encarregue de sugerir à UR um novo material para se reimprimir a peça;
- A **estrutura** da peça. Durante o *slicing* da peça, o RI escolhe características da peça como o número de perímetros e a percentagem de preenchimento da peça. Estas características influenciam o desempenho da peça e se se notar que o problema é da estrutura da peça, o RI terá de mudar as definições de impressão da peça no Cura.

Depois de as peças serem reenviadas para o RI e as correções terem sido efetuadas, a peça vai voltar a ser impressa e enviada para a UR até o feedback ser positivo ou até se concluir que a peça impressa não é uma solução ou uma alternativa viável à peça original. Após a tomada da decisão final, o processo de impressão da peça dá-se por concluído.

3.1.5 Gestão de Stock

O *stock* do processo de impressão 3D está dividido em três categorias: (i) a matéria-prima, ou material, que são os rolos de filamento termoplástico, (ii) os produtos acabados, que, neste caso, são as peças impressas prontas a ser usadas na linha e (iii) os consumíveis, que é qualquer material que seja utilizado no auxílio do processo de impressão, como a cola de tubo que é usada na cama de impressão para melhorar a adesão da peça à cama.

A gestão de *stock* de todas as categorias era feita visualmente.

Para além da gestão de *stock* visual, como foi referido no capítulo 3.1.2, cada UR compra rolos de filamento para serem utilizados na impressão das suas peças, o que implica uma gestão de *stock* de matérias-primas (i) individual para cada UR. A Montagem é diferente de todas as outras UR no que toca a este ponto. Quando é efetuado um pedido de compra de matéria-prima, a Montagem pede mais rolos de filamento do que é necessário e guarda o excedente no seu posto. Quando é necessário imprimir uma peça, a Montagem entrega um ou mais rolos, dependendo da sua necessidade de impressão de peças, que são utilizados e armazenados pelo RI de impressão na sala Steve Jobs. Quando o RI repara que o *stock* de

matéria-prima da Montagem, existente na sala Steve Jobs, está perto de acabar, este informa a Montagem, para esta efetuar o reabastecimento de rolos. As restantes UR têm todo o seu *stock* armazenado na sala Steve Jobs, estando o RI encarregue de fazer a sua gestão. Tal como acontece com a Montagem, quando o RI repara que o *stock* de uma UR está prestes a acabar, este contacta-a para a informar que é necessário reabastecê-lo. No entanto, se essa UR fizer um pedido de impressão de uma peça e não houver *stock* de matéria-prima dessa UR, o RI imprime a peça usando material de outra UR. Quando as UR fazem os pedidos de compra de material, é o RI que lhes sugere o número de rolos de filamento que estas devem comprar, acrescentando pelo menos um rolo adicional ao necessário para poder realizar testes e protótipos de peças.

Os produtos acabados (ii) nunca ficam muito tempo em ‘*stock*’, tendo um tempo de espera de levantamento curto e imprevisível. Este tempo depende do RI e da UR. Por vezes é o RI que leva a peça até à UR e, por vezes, o RI informa o responsável da UR através de Skype ou e-mail e é este que recolhe a peça, não estando definido exatamente o modo de entrega dos produtos acabados. No entanto, há, por vezes, acumulação de produtos acabados, e a informação do *stock* destes produtos é apenas visual e não há ainda nenhum sistema de informação que contenha estes dados e permita saber remotamente quantos e quais os produtos que estão acabados e à espera de recolha/entrega.

Os consumíveis (iii) incluem, essencialmente, cola de tubo que é colocada na cama de impressão para melhorar a aderência do material à cama. A cola nem sempre é precisa, depende do material que se está a imprimir, tornando a gestão desta desprezável e não importante.

3.2 Problemas da situação atual

Neste subcapítulo são descritos os problemas, do processo de impressão 3D, que o CPMG enfrentava no início da realização deste projeto. Todos os problemas encontrados podem ser atribuídos a uma causa raiz, comum a todos eles: não existe um departamento dedicado exclusivamente à impressão 3D. O facto de o CPMG ainda não ter assumido a fabricação aditiva FDM como um processo crucial para apoio à produção, com colaboradores dedicados a tempo inteiro a este processo, faz com que os avanços na produção de peças para a fábrica sejam morosos e desorganizados. Os problemas, embora relacionados, irão ser divididos em subcapítulos e abordados individualmente.

3.2.1 Materiais Utilizados

O material mais utilizado para a criação das ferramentas e peças é o PLA, como foi mencionado no subcapítulo 3.1.2. O PLA é, de facto, um excelente material para imprimir peças de uma forma rápida, económica e eficaz, devido à sua facilidade de impressão. No entanto, é um material que não é muito resistente ao desgaste, parte com facilidade quando sujeito a cargas constantes e a utilizações regulares, e a sua temperatura máxima de serviço ronda os 50-60°C (temperatura máxima suportada pelo material antes de este se deformar permanentemente). Para perceber quais as peças que poderiam passar a ser impressas em vez de serem compradas a um fornecedor externo, analisou-se alguns protótipos que já andavam em fase de teste. Verificou-se que algumas das peças que foram impressas para URs como a Ferragem e a Qualidade, não podiam ser impressas em PLA pois o tipo de utilização que era dado à peça excedia os limites que o material suporta. Os casos analisados foram (i) um pino de guia utilizado para a fixação de porcas em chapa, na Ferragem e (ii) uma chave de calibração dos faróis dianteiros, na Qualidade. Estes foram os casos escolhidos para análise devido à fase avançada em que se encontravam os protótipos, nomeadamente devido à existência dos modelos 3D e de vários exemplos já impressos e testados.

Pino de Guia (FERRAGEM)

O pino de guia original sofre imenso desgaste, tendo por isso uma duração de apenas 3 turnos de trabalho, sendo substituído diariamente. Isto levou a pensar-se numa solução mais barata para substituir o pino de guia original. A solução foi um pino de guia impresso em PLA (i), representado na Figura 11. No entanto, este quebrava sempre que era testado, devido à carga que era aplicada quando pressionado contra a chapa.

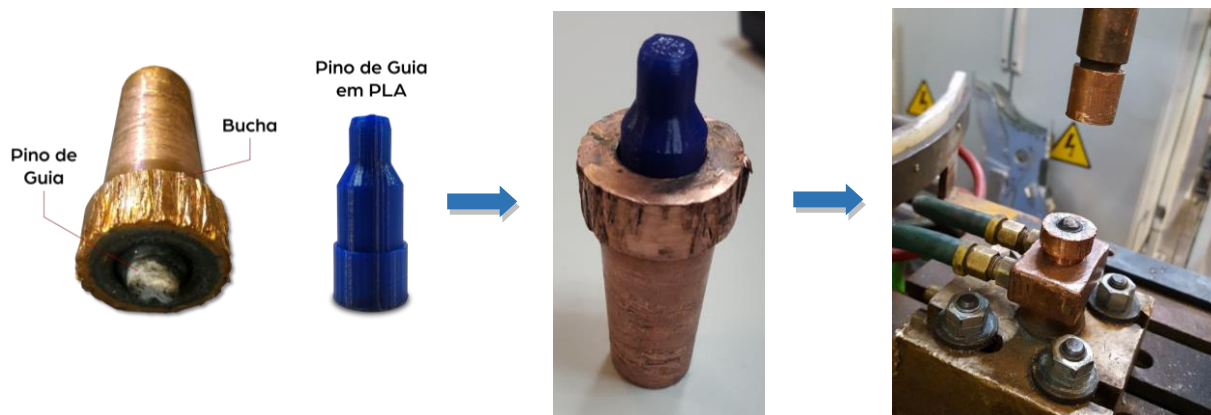


Figura 11 - Pino de guia em PLA (i) e sua aplicação

Chave de Calibração de Faróis (BOUT D'USINE)

Esta chave é utilizada para regular os faróis de todos os carros, como se pode observar na Figura 12, e sofre um desgaste substancial, necessitando de ser substituída todos os meses. Esta ferramenta necessita de ter uma resistência a temperaturas mais elevadas, devido à proximidade com os faróis, que atingem temperaturas moderadamente altas. A peça plástica, comprada a um fornecedor externo, contém um veio metálico no centro, para reforçar a parte que é introduzida no encaixe para calibrar os faróis, como é possível observar na Figura 13.



Figura 12 – Chave de Calibração de Faróis Atual, em uso



Figura 13 - Chave Calibração Faróis Atual

Na Figura 14 encontra-se o modelo inicial da chave impressa em PLA. O protótipo foi testado e notou-se que, para além do PLA não ser o material indicado para esta ferramenta, a parte da peça que encaixa na parte metálica não deverá ser impressa em nenhum material plástico pois apresenta uma espessura demasiado baixa e quebra muito facilmente.



Figura 14 – Modelo Inicial da Chave de Calibração de Faróis, em PLA

Na Figura 15 encontra-se o 2º modelo. Como se pode observar, este protótipo possui uma abertura na parte inferior onde uma peça de metal encaixa. Esta mudança no *design* da peça, apesar de a tornar dependente da peça metálica complementar, faz com que o problema de a peça quebrar, na parte menos espessa, desapareça por completo. Todavia, notou-se,

novamente, que o PLA não é suficientemente forte para resistir ao desgaste que a peça sofre, tanto da carga aplicada como da temperatura.



Figura 15 – 2º Modelo da Chave de Calibração de Faróis, em PLA

3.2.2 Controlo e Gestão de Custos

A gestão de custos da impressão 3D no CPMG era inexistente.

A nível de matéria-prima, como são as UR que efetuam a compra dos materiais, apesar de o pedido de compra ficar registado no sistema de informação da empresa, o RI não necessitava de manter um registo dos custos associados à matéria-prima pois não era do interesse do seu departamento.

Os custos associados à impressão em si não eram conhecidos pois não era utilizada nenhuma calculadora de impressão para quantificar o custo total de cada peça, apenas o custo de filamento utilizado, por peça, que é fornecido no *software* de impressão Ultimaker Cura. No entanto, esse custo dizia apenas respeito ao custo do filamento utilizado, com base no valor do custo do rolo de filamento utilizado, introduzido pelo RI no *software*, e este não ficava guardado em nenhum ficheiro, apenas era visualizado antes de a peça ser impressa. Em novembro de 2018 foi criada uma folha de Excel, que pode ser consultada na Figura 35 do anexo B, com o intuito de servir de calculadora de todos os custos relacionados com a impressão, lucros, tempos do processo e, também, registo de todas as impressões realizadas no CPMG. No entanto, o facto de para cada impressão ser necessário introduzir todos os dados manualmente, este projeto foi largado rapidamente pois era necessário bastante tempo para introduzir todos os dados e o tempo que era gasto nessa atividade não compensava face ao valor que trazia.

A ausência de dados da utilização da tecnologia de impressão 3D na empresa, tornava impossível para o CPMG fazer quaisquer estudos de viabilidade e rentabilidade. Não eram guardadas quaisquer informações relativas a custos de impressão, tempos de impressão, quantidade de material por impressão, informações necessárias para criar e analisar indicadores de performance desta atividade, que são cruciais para o estabelecimento e cumprimento de objetivos e tomada de decisões relativamente à impressão 3D.

3.2.3 Rastreamento e Histórico de Pedidos e Impressões

Como foi referido no subcapítulo 3.1.4, os pedidos de impressão podem ser efetuados de três maneiras diferentes, o que torna o registo de pedidos e histórico de impressões pouco acessível e com bastantes lacunas. Não existia nenhum sistema de informação no CPMG que contivesse estes registos, sendo apenas possível deduzir quando um pedido de impressão de uma peça tinha sido feito através do registo de mensagens do Skype, ou do e-mail, do RI, assumindo que foi de uma destas maneiras que se efetuou o pedido, ou das datas de criação e edição dos ficheiros .STL e .gcode que estão no computador do RI. Nenhuma destas maneiras de consultar o registo de pedidos é prática ou fiável e ia-se perdendo informação ao longo deste processo.

Antes de iniciar este projeto no CPMG, este problema já tinha sido identificado e foi esboçado um *layout* de uma plataforma online, tipo catálogo, para ser possível consultar as

peças que já foram impressas e algumas informações sobre cada peça, como a categoria a que pertence a peça, o seu custo, material e duração de impressão. O colaborador que estava a tratar desta plataforma abandonou a empresa e esta apenas ficou em fase de esboço do *layout*, como podemos observar na Figura 16.

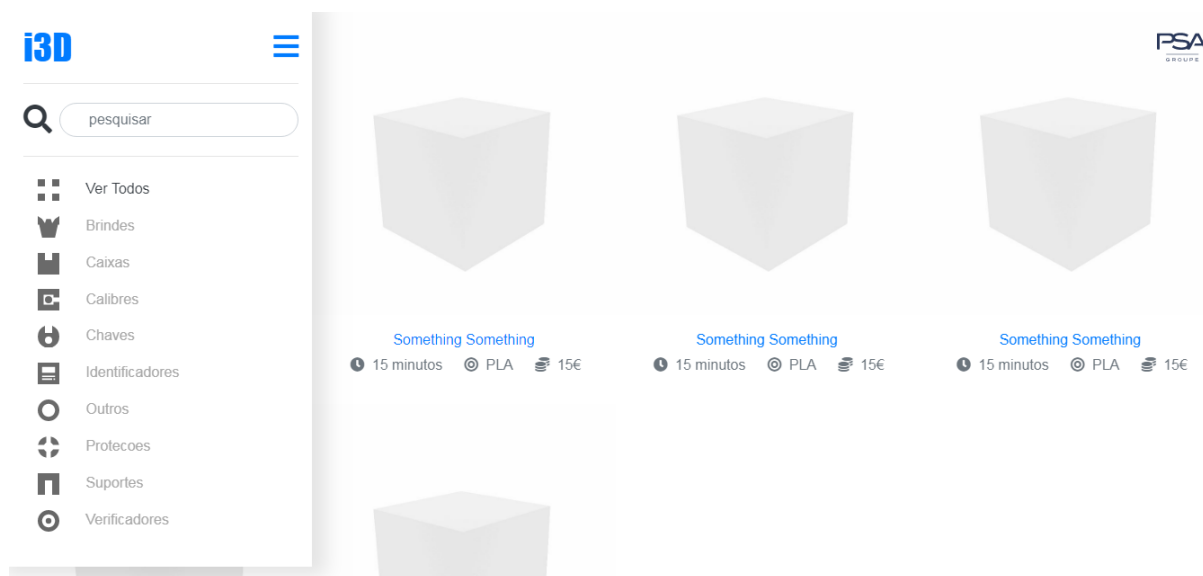


Figura 16 - Esboço do *layout* inicial da plataforma online de impressão 3D (fonte: CPMG)

3.2.4 Localização e Disposição dos Equipamentos

Como foi referido no capítulo 3.1.1, as impressoras encontravam-se na sala de reuniões Steve Jobs, no Edifício Administrativo. Esta localização foi a solução temporária encontrada para se colocar a Prusa i3, aquando da sua aquisição. No entanto, foi onde acabou por ficar, assim como a Ultimaker 3. A razão para tal, prende-se com o facto de já terem existido outros responsáveis pela impressão 3D. Em 2016, quando se adquiriu a Prusa i3, não foi criado nenhum departamento próprio para a impressão 3D e, com o passar dos anos e mudança de responsáveis, a impressão 3D foi sendo posta de lado, sendo vista como um processo não essencial, e nunca se assumiu uma verdadeira responsabilidade por esta.

A sala onde as impressoras estão situadas, para além de ser uma sala de reuniões, é uma sala com vários propósitos, servindo também de oficina de impressão 3D, oficina de automação e armazém de computadores e monitores usados. É uma sala bastante utilizada, criando por vezes flutuações na temperatura ambiente da sala e ligeiras correntes de ar que podem afetar as impressões.

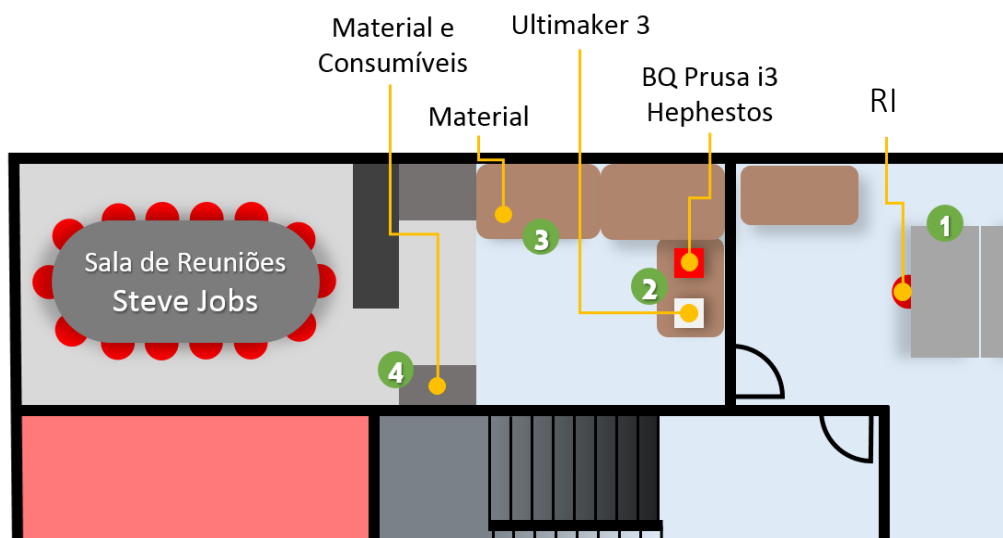


Figura 17 – Layout da sala de reuniões Steve Jobs, na situação inicial

Como se pode observar na Figura 17, as impressoras encontram-se na mesa 2, junto à porta da sala, os consumíveis (cola) encontram-se dentro do armário 4 e os materiais (rolos de filamento) encontram-se repartidos entre o armário 4 e uma caixa, situada debaixo da mesa 3. O RI trabalha na secretária 1.

Esta solução não só é temporária, como não é ideal, por várias razões:

- A sala é bastante utilizada, criando, por vezes, flutuações na temperatura da sala e ligeiras correntes de ar que podem afetar a impressão.
- O material, para além de não estar todo organizado num só lugar, o que está dentro da caixa, debaixo da mesa 3, apesar de os filamentos se encontrarem quase todos dentro de sacos hermeticamente selados, não se encontram num ambiente com a humidade controlada, como acontece no armário 4. No entanto, apesar do armário estar mais controlado a nível de humidade, os filamentos encontram-se misturado com ferramentas e outros materiais variados que são utilizados na banca de automação, não havendo uma separação clara, dentro do armário, do que é a parte da automação e a parte da impressão 3D;
- Como já foi referido, o facto de o RI não trabalhar na mesma sala em que estão as impressoras e de não haver um acompanhamento em tempo real da impressão, cria a necessidade de o RI ter de se deslocar periodicamente à sala para ver se a impressão está a correr bem e, se entre deslocações alguma coisa correr mal (o filamento ficar preso no motor passo a passo ou o filamento começar a imprimir para dentro do extrusor, por exemplo), o problema só vai ser notado quando o RI voltar a entrar na sala ou se alguém estiver dentro da sala e reparar que algo está mal;
- Observando a planta da fábrica na Figura 8, no capítulo 3.1.3, é possível observar que o local de impressão se encontra separado do local onde as peças impressas são utilizadas. Esta distância entre produção e local de utilização cria, na maior parte das vezes, um tempo de entrega/recolha das peças superior ao que deveria ser. Exceto em caso de urgência, como a maior parte das peças ainda não têm urgência, o facto de o RI ou o cliente da UR terem que sair do seu posto de trabalho e atravessar a fábrica, para a peça chegar ao seu destino, faz com que a peça só seja recolhida/entregue quando tanto um como o outro necessitam de se deslocar até ao respetivo posto por causa de outro motivo que não a peça.

- As impressoras não são silenciosas e quando estão a imprimir emitem ruído que pode ser perturbador se estiver a decorrer uma reunião;
- Quando está a decorrer uma reunião não convém que se esteja a trabalhar na impressão 3D, quer seja no pós-processamento das peças, quer na preparação da impressão.

4 Soluções propostas

Este capítulo, tal como foi referido no enquadramento do projeto, encontra-se dividido em várias partes, cada uma abordando as soluções encontradas para os problemas mencionados no capítulo 3.

4.1 Aquisição de Novos Materiais

Para solucionar os problemas do capítulo 3.2.1, relacionados com a necessidade de encontrar um ou mais materiais que se adequassem às condições de trabalho a que as ferramentas eram submetidas, foi necessário efetuar uma pesquisa de materiais disponíveis no mercado que apresentassem resistências mecânicas e térmicas que conseguissem suportar as cargas e temperaturas a que as ferramentas em PLA não resistiram.

Para efetuar esta pesquisa foram consultados vários artigos e *websites* dedicados à impressão 3D, como é o caso da plataforma do *software* de impressão 3D Simplify3D, que é um dos *slicers* mais avançados e desenvolvidos, e utilizado, atualmente. Para além disso, foram visualizados inúmeros vídeos na plataforma YouTube, que alberga uma comunidade de FA FDM muito robusta, que inclui utilizadores como Thomas Sanladerer, Maker's Muse, MatterHackers, CNC Kitchen, entre outros, que se dedicam exclusivamente a esta tecnologia e criam vídeos onde ensinam sobre a impressão 3D, no geral. Para além disso, realizam e analisam testes com diferentes materiais para avaliar as suas características mecânicas e térmicas, estabelecendo comparações entre eles, partilhando os seus resultados e conclusões.

As características mais importantes para a seleção destes materiais foram as seguintes:

- **Resistência máxima à rotura:** é a carga máxima que um material pode suportar antes de quebrar. Quanto maior a resistência, mais carga aguenta o material;
- **Rigidez:** é a resistência que um material oferece à deformação de uma carga aplicada. Quanto maior a rigidez de um material, menor a sua flexibilidade e mais difícil é de o deformar;
- **Durabilidade:** a durabilidade tem em conta uma combinação de resistências ao calor, água, radiação ultravioleta e resistência química. Quanto maior a durabilidade, melhor o material;
- **Temperatura de Serviço Máxima:** é a temperatura máxima a que um material resiste até se começar a deformar com a aplicação de uma carga. Quanto maior, mais resistente à temperatura é o material.

Com base nestas características, os materiais candidatos a substituírem o PLA foram o ABS, o Nylon e o PC, tendo sido possível utilizar uma tabela disponível no *website* do *software* Simplify3D, que permitiu comparar estes materiais, representada na Figura 36 do anexo C.

O material escolhido foi o PC que, apesar de ser o mais caro e o mais difícil de imprimir, é o que apresenta as melhores características a todos os níveis.

4.1.1 Aplicação do Policarbonato

A correta impressão deste material, ao contrário do PLA, necessita de temperaturas mais altas do que o normal e, de preferência, num ambiente com as temperaturas controladas para evitar problemas como a má aderência à cama de impressão ou a má aderência entre camadas, que arruinam a impressão. Para se conseguir atingir estas temperaturas constantes, é recomendado a utilização de algum tipo de *enclosure*. É obrigatório utilizar uma cama de impressão aquecida, com temperaturas entre os 80 e os 120°C, e a temperatura do extrusor entre os 260 e os 310°C. Para além disso, a aderência à cama de impressão é um dos grandes problemas do Policarbonato, sendo recomendada a utilização de folhas de PEI, fita adesiva comercial ou cola de tubo.

O tipo de filamento que se comprou foi PC com 2,85 mm de diâmetro. A razão para o diâmetro do filamento ser 2,85 mm, e não 1,75 mm, prende-se com o facto de apenas a Ultimaker 3 conseguir atingir as temperaturas necessárias para imprimir o PC.

Para se começar a imprimir com este material, foi necessário escolher um perfil de impressão para PC no *slicer* Cura. O perfil escolhido foi um perfil predefinido para PC, que foi partilhado pelo fornecedor com o RI aquando da entrega da impressora Ultimaker 3. Enquanto esperava que o material chegasse, como a Ultimaker 3 é uma impressora aberta, tanto em cima como à frente, o RI imprimiu 6 peças em PLA para colocar na estrutura fronteira da impressora, a fim de suportar uma capa de acrílico para cobrir a abertura fronteira da impressora. Estas peças e a capa de acrílico podem ser visualizadas na Figura 37 do anexo D.

As primeiras impressões para testar este material não chegaram até ao fim. As razões que causaram os falhanços foram duas:

1. **Má aderência à cama de impressão:** a cama de impressão de vidro aquecida e a cola de tubo utilizada não se mostraram suficientes para que o PC aderisse eficazmente à cama. Isto causa a deformação da base da peça (ligeiro encolhimento da peça) que está a ser impressa;
2. **Má aderência entre camadas:** as peças não apresentavam uma boa aderência entre camadas, fazendo com que a peça se fraturasse por entre camadas, quando aplicada uma ligeira carga de tração na peça. Esta má aderência deve-se ao facto de a temperatura no compartimento de impressão não ser mantida a uma temperatura constante mais alta do que a temperatura ambiente da sala, provavelmente devido à não existência de uma cobertura na parte superior da impressora, que provoca oscilações na temperatura durante a impressão.

Para solucionar o problema 1, encomendou-se uma superfície de impressão LokBuild, representada na Figura 38 do anexo D. Esta superfície cola-se na cama de impressão e é própria para imprimir materiais que não tenham uma boa aderência à cama de impressão e que deformam nas primeiras camadas, como é o caso do PC.

A solução do problema 2 passou por arranjar um tipo de *enclosure* que cobrisse a parte superior da impressora. Foram pesquisadas várias soluções já existentes no mercado, assim como soluções “faça você mesmo”, ou DIY (*do it yourself*), com a possibilidade de serem ajustadas à medida das impressoras. Para sintetizar e comparar os resultados da pesquisa, criou-se um ficheiro Excel, representado na Figura 39 e na Figura 40 do anexo E, com 8 tipos de *enclosures* diferentes. Cada uma das opções tem a sua própria folha Excel com o preço de aquisição e *links* URL para *websites* de compra, assim como para *websites* com tutoriais de como fazer o *enclosure*, para os casos DIY. Durante a execução do projeto não se chegou a um consenso sobre qual dos *enclosures* adquirir e a solução encontrada, para efeito de se poderem realizarem impressões para testar a eficácia de um *enclosure* nas peças impressas,

foi colocar um tecido de um fato utilizado exclusivamente por colaboradores da Pintura, a cobrir a abertura superior da Ultimaker 3, durante a impressão com Policarbonato.

4.1.2 Implementação

A implementação das soluções apresentadas trouxe melhorias notáveis à impressão de peças em PC. A taxa de sucesso das impressões aumentou e a qualidade das peças aumentou consideravelmente, com as peças a aderir bem à cama de impressão, não sofrendo deformações, e as camadas intermédias a ficarem bem impressas, apresentando impressão e estrutura consistentes.

Pino de Guia impresso em PC

O pino de guia impresso em PC, representado na, antes de ser enviado para a Ferragem, foi testado pelo RI, na sala de reuniões Steve Jobs, para verificar a qualidade da impressão. Foram submetidas cargas de compressão e tração ao pino de guia, que resistiu e não mostrou quaisquer sinais de deformação.

Após a realização dos testes o pino de guia, representado na Figura 18, foi entregue na Ferragem para substituir o pino de guia original a fim de se poder perceber o impacto que a mudança de material de PLA para PC teve no desempenho da peça.



Figura 18 - Pino de Guia em PC

O responsável da UR reportou ao RI que a peça fraturou e não resistiu às primeiras utilizações. No entanto, o responsável da UR sugeriu que se imprimissem mais pinos de guia para se poder perceber se o erro foi humano, por colocação incorreta do pino de guia na bucha, se foi um defeito de impressão ou se é mesmo o PC que não é suficientemente resistente às cargas a que está sujeito o pino de guia. No entanto, até ao final do projeto na empresa, não se voltou a reimprimir o pino de guia. Esta amostra não é suficiente para se poderem retirar conclusões da viabilidade da aplicação de PC nesta peça.

Chave de Calibração dos Faróis impressa em PC

A chave de calibração dos faróis impressa em PC, representada na Figura 19, foi entregue na Qualidade para substituir a chave de calibração original. Antes de se efetuar a substituição da peça notou-se que a parte que encaixa no encaixe dos faróis estava justa e não apresentava praticamente folga.

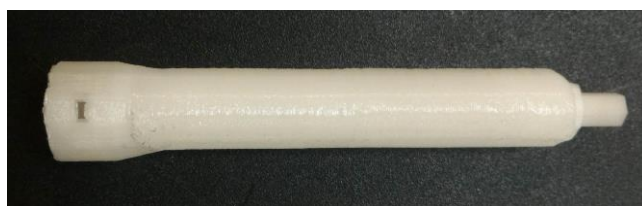


Figura 19 - Chave de Calibração dos Faróis em PC

Após a substituição da chave original pela chave em PC, os colaboradores de linha da Qualidade iniciaram o seu uso.

No segundo automóvel que se utilizou a chave em PC, o colaborador quando tentou encaixar a chave no encaixe, não a colocou exatamente paralela ao encaixe e forçou a sua entrada no encaixe, fazendo com que esta se fraturasse, como se pode observar na Figura 20.

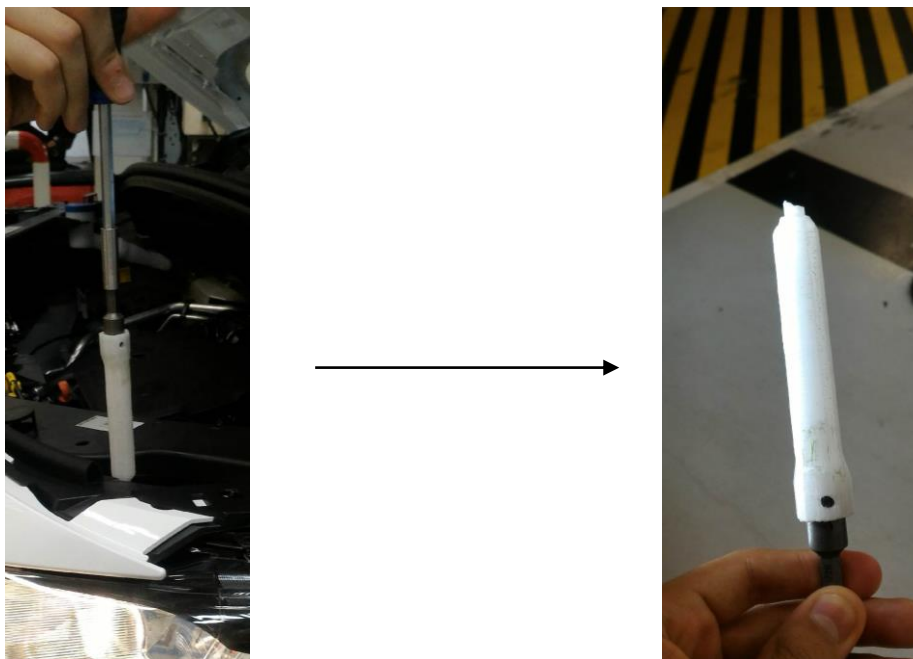


Figura 20 - Chave de Calibração de Faróis em PC em uso (esquerda) e após fratura (direita)

Tal como aconteceu com o pino de guia, até ao final do projeto na empresa, não se voltou a reimprimir a chave de calibração dos faróis. A amostra observada não é suficiente para se poderem retirar conclusões da viabilidade da aplicação de PC nesta peça.

4.2 Criação de uma ferramenta de apoio à gestão de custos e histórico de impressões

A criação de uma ferramenta de apoio à gestão de custos e histórico de impressões foi a solução encontrada para os problemas descritos nos capítulos 3.2.2 e 3.2.3. Esta ferramenta foi apenas utilizada para gerir as impressões da impressora Ultimaker 3. Isto deveu-se ao facto de a impressora BQ Prusa i3 Hephestos não ter funcionalidades Wi-Fi que permitissem a criação e partilha de um ficheiro com dados de impressão das peças, ao contrário do que acontece com a Ultimaker 3.

4.2.1 Objetivos da ferramenta

O objetivo principal deste projeto era identificar peças para passarem a produção internalizada, que passava pelo estudo analítico e económico das peças impressas. Este estudo incluía a recolha de dados com informações relevantes de cada impressão, como a duração de cada impressão, a quantidade de material utilizado para imprimir cada peça, o dia e hora em que se imprimiu a peça, entre outros, que permitissem o cálculo dos custos associados às impressões e a criação de indicadores de performance. Para além disso, o estudo de rentabilidade implicava a comparação de custos e *lead times* entre comprar ou imprimir as peças, sendo necessária a criação de uma ferramenta que permitisse fazer uma comparação entre imprimir internamente ou encomendar peças a fornecedores externos. Os objetivos da ferramenta foram três:

- Cálculo dos custos associados às impressões;
- Criação de indicadores de performance da impressão 3D;
- Comparação de custos e *lead times* entre as peças compradas e impressas.

A criação dos indicadores de performance está diretamente relacionada com os custos associados às impressões, na medida que a melhoria destes indicadores afeta positivamente os custos.

4.2.2 Esquematização da Solução

Para ser possível interpretar e analisar os indicadores de performance e calcular os custos associado às impressões, é necessário efetuar a recolha e armazenamento de dados, organizá-los e transformá-los em tabelas e gráficos relevantes de modo a ser possível efetuar a sua análise. Tendo em conta estes requisitos, a solução encontrada combina a utilização da interface *web* Cura Connect, que, estando conectado à Ultimaker 3, disponibiliza dados das impressões automaticamente, do *software* RStudio, onde os dados das impressões são filtrados, tratados, e onde os custos são calculados, e finalmente do *software* Microsoft Excel, onde os dados exportados do RStudio são utilizados para criar os indicadores de performance, que serão analisados pelo utilizador da ferramenta, que, neste caso, será o RI.

Na Figura 21 encontra-se esquematizada a solução da ferramenta proposta.

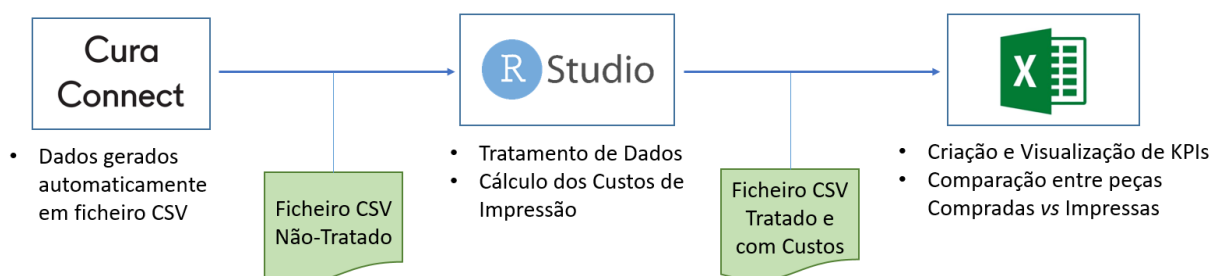


Figura 21 - Esquematização da solução da ferramenta proposta

4.2.3 Interface e Software Utilizados

A criação da ferramenta envolveu a utilização de uma interface online e dois *softwares*.

O Cura Connect foi a interface utilizada para a recolha dos dados de impressão. Esta interface foi desenvolvida pela Ultimaker e permite controlar, monitorizar e configurar impressoras Ultimaker 3 remotamente. Para se poder ter acesso a esta interface, foi necessário completar alguns passos, com o auxílio do manual de instalação do Cura Connect, disponível no *website* da Ultimaker. Esses passos incluíram ligar a impressora à rede interna do CPMG, através das suas funcionalidades Wi-Fi; atualizar o seu *firmware* (*software* que controla o *hardware*) e, finalmente, configurar a interface Cura Connect, através do *software* de impressão Ultimaker Cura. Para aceder a esta interface é necessário estar ligado à rede do CPMG, abrir um navegador de Internet como o Internet Explorer, Google Chrome ou o Mozilla Firefox, e escrever o endereço da localização da impressora na rede. Esta interface apresenta várias funcionalidades, incluindo uma página de analítica, em que disponibiliza um ficheiro CSV (*comma-separated values*) com vários dados de cada impressão.

O RStudio foi o *software* escolhido para o tratamento dos dados exportados do Cura Connect e para o cálculo dos custos de impressão de cada peça. Este *software* utiliza a linguagem de programação R, que permite efetuar a filtragem e limpeza dos dados, eliminando observações de variáveis que tenham dados insuficientes ou errados, selecionando apenas os dados que interessam para a criação dos indicadores de performance e acrescentando a cada observação os custos associados.

O Microsoft Excel foi o *software* utilizado para a criação e visualização dos indicadores de performance e para ser possível efetuar a comparação entre comprar as peças a fornecedores externos ou imprimi-las internamente. Foram criados dois ficheiros Excel, ambos com

utilização de linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*) para se efetuar a atualização dos dados e dos índices automaticamente. Um ficheiro contém os indicadores de performance da Ultimaker 3 e o outro é um *template* para comparar custos e *lead times* entre peças impressas e compradas. O ficheiro de indicadores é só de visualização e o *template* necessita que o utilizador introduza alguns dados para ser possível efetuar a comparação de custos e *lead times*.

4.2.4 Tratamento de Dados e Cálculo dos Custos de Impressão

A recolha dos dados consiste na exportação de um ficheiro CSV com 36 informações sobre cada impressão, como se pode observar na Figura 41 do anexo F, disponibilizado na página de analítica da interface Cura Connect, para uma pasta predefinida no computador do RI. Os registos disponíveis neste ficheiro só contém dados de impressões feitas a partir do dia 29 de março, devido à atualização de *firmware*, que foi necessário efetuar, que apagou todos os registos de impressões passadas.

O código desenvolvido no RStudio seleciona apenas os dados, do ficheiro CSV exportado do Cura Connect, que interessam para a criação e análise de indicadores. Estes são reorganizados de modo a ser mais fácil a sua interpretação e os registos de impressão que tenham dados errados, sem informação ou registos “fantasma” de impressões que não tenham acontecido (que acontecem quando o RI cancela uma impressão antes de a peça começar a ser impressa) são eliminados.

Os custos de impressão, calculados automaticamente no RStudio, incluem:

1. Custo dos filamentos utilizados;
2. Custo da eletricidade consumida pela impressora durante a impressão;
3. Custo da depreciação da impressora;
4. Custo de manutenção da impressora;
5. Custo dos consumíveis utilizados;
6. Custo das impressões falhadas;
7. Custo de impressão total.

Custo dos filamentos utilizados

Este custo é calculado com base no preço dos rolos de material e na quantidade de material utilizado na impressão. A equação (4.1) demonstra o cálculo do custo de filamento utilizado (CFu).

$$CFu = PF \times Q \quad (4.1)$$

Onde:

PF, é o preço de 1 grama de material utilizado e
Q, é o nº de gramas utilizado na impressão

O PF foi introduzido manualmente tendo em conta o preço de encomenda de um rolo de filamento, que é igual ao preço do rolo de filamento mais o custo de envio da encomenda. Sempre que se encomendar um material novo, basta adicionar o tipo de material e o preço ao código no RStudio. No caso da Ultimaker 3, como tem a funcionalidade de extrusão dupla, foram criadas duas variáveis de custo de filamento, uma para cada rolo.

Custo da eletricidade consumida

O custo da eletricidade consumida pela impressora durante as impressões não foi calculado com exatidão devido à ausência de um medidor de consumo de energia que permitisse saber este consumo. Para se poder ter uma estimativa da energia que a impressora consome durante

as impressões, consultou-se os fóruns oficiais da comunidade Ultimaker. Estimou-se um consumo de 0,120 kWh/h para uma impressão com PLA e TPU, e um consumo de 0,2 kWh/h para uma impressão com PC. O preço da eletricidade em Portugal foi assumido como sendo de 0,2246 €/kWh. O cálculo do custo de eletricidade (CE) é então demonstrado pela equação (4.2).

$$CE = W \times PE \times TI \quad (4.2)$$

Onde:

W, é o consumo de eletricidade médio da impressora durante a impressão,
PE, é o preço da eletricidade por hora, em Portugal, e
TI, é o tempo de impressão, em horas.

Custo da depreciação da impressora

Como a impressora se trata de um ativo tangível da empresa, é necessário ter em conta a depreciação que o equipamento vai sofrer ao longo da sua vida útil. As impressoras sofrem imenso desgaste durante a sua utilização e o seu valor decresce a cada impressão. Para efetuar o cálculo do custo de depreciação da impressora assumiu-se uma vida útil do equipamento de 4 anos, sendo o seu valor residual igual a 0 € (no final dos 4 anos), com uma utilização diária de 4 horas, que nos dá uma vida útil para impressora de 5840 horas. Este cálculo foi assumido e pode não representar o valor real de depreciação, devendo ser ajustado no futuro. Neste cálculo, foi necessário introduzir o preço real de aquisição da impressora. A equação (4.3) demonstra o cálculo do custo da depreciação (CD) para cada impressão.

$$CD = (CA \times TI) / VUE \quad (4.3)$$

Onde:

CA, é o custo de aquisição da impressora,
TI, é o tempo de impressão, em horas, e
VUE, é a vida útil da impressora, em horas.

Custo de manutenção da impressora

A impressora, ao longo da sua vida útil, vai necessitar de sofrer manutenção, devido ao desgaste provocado pela sua utilização. Cada impressão contribui para o desgaste do equipamento, podendo ser necessário trocar peças e reparar danos provocados na impressora. Para calcular o custo de manutenção ao longo da vida da impressora assumiu-se a manutenção, ao longo da sua vida útil, irá custar cerca de 10% do valor de aquisição do equipamento. Este valor poderá, no futuro, ser alterado para o valor real que foi gasto na manutenção da impressora. A equação (4.4) demonstra o cálculo do custo de manutenção (CM) para cada impressão.

$$CM = (CA \times 10\% \times TI) / VUE \quad (4.4)$$

Custo de consumíveis utilizados

O custo de consumíveis (CC) utilizados foi assumido como sendo um valor fixo muito baixo, praticamente desprezável, pois estes apenas incluem a cola que é usada na cama de impressão, que não é quantificada para cada impressão. Este valor poderá ser alterado se os custos dos consumíveis de impressão começarem a ser mais significativos.

Custo das impressões falhadas

As impressões nem sempre correm bem e o cálculo do custo de cada impressão tem de ter em conta a percentagem de insucesso da impressora. Esta percentagem é facilmente calculada dividindo o número de impressões falhadas pelo número total de impressões, dados que são conhecidos do ficheiro exportado do Cura Connect. O custo das impressões falhadas (CIF) calcula-se multiplicando a soma das parcelas de custo mencionados anteriormente pela percentagem de impressões falhadas da impressora. A equação (4.5) demonstra este cálculo.

$$CIF = (CFu + CE + CD + CM + CC) \times PIF \quad (4.5)$$

Onde:

PIF, é a percentagem de impressões falhadas.

Custo total de impressão

O custo total de impressão (CTI) obtém-se simplesmente somando todas as parcelas de custo referidas neste capítulo. A equação (4.6) demonstra o cálculo do custo total de impressão.

$$CTI = CFu + CE + CD + CM + CC + CIF \quad (4.6)$$

O cálculo do custo de mão-de-obra não foi incluído no código desenvolvido e poderá ser calculado nos ficheiros finais.

4.2.5 Visualização dos indicadores

O ficheiro Excel com a criação e visualização dos indicadores apresenta um menu principal, representada na Figura 22, que permite ao RI consultar as diferentes folhas de indicadores. Do lado esquerdo encontram-se imagens com hiperligações para diferentes páginas da interface CuraConnect. Para os dados das tabelas dinâmicas serem atualizados com os dados mais recentes de impressão, o RI apenas tem de clicar no botão que se encontra no fundo da página.

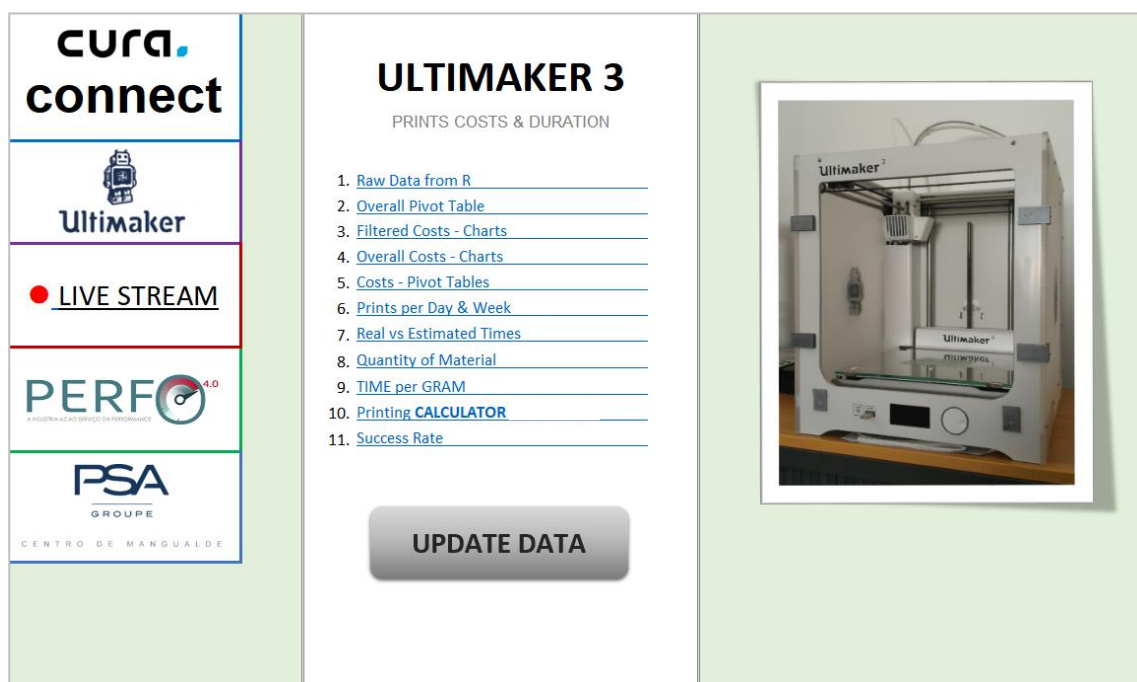


Figura 22 - Menu principal do ficheiro Excel de indicadores

Na folha 1. *Raw Data from R*, representada na Figura 42 do anexo G, encontram-se os dados exportados do RStudio, que são a base de funcionamento deste ficheiro, estando todas as tabelas e gráficos de indicadores dependentes destes dados.

A folha 2. *Overall Pivot Table* foi criada uma tabela dinâmica com todos os dados da folha 1, para o caso de o RI necessitar de fazer uma análise mais minuciosa e detalhada dos dados ou se quiser criar novos indicadores que não estão ainda disponíveis no ficheiro.

A visualização da distribuição total e média dos custos das peças está disponível na folha 3. *Filtered Costs - Charts*, representada na Figura 43 do anexo G. É possível filtrar a informação apresentada por nome da peça (que neste caso é o nome atribuído, pelo RI, ao ficheiro .gcode), por período temporal de impressão (dia, semana ou mês), por tipo de material e por estado da impressão (se foi impressa com sucesso ou não).

A distribuição total de peças por custo encontra-se na folha 4. *Overall Costs – Charts*, representada na Figura 44 do anexo G.

A folha 5. *Costs – Pivot Tables*, representada na Figura 45 do anexo G, apresenta tabelas e gráficos com a distribuição das peças impressas com sucesso por custo, sendo possível filtrar as informações a partir das tabelas dinâmicas.

Na folha 6. *Prints per Day & Week*, representada na Figura 46 do anexo G, está esquematizado o progresso temporal das impressões. Os gráficos são dinâmicos, sendo possível filtrar os dados por dia da semana, semana e mês.

Durante a análise dos tempos de impressão do ficheiro CSV notou-se que o tempo de impressão estimado pelo *software* Ultimaker Cura era diferente do tempo de impressão real. Para ser possível compreender a relação que existia entre estes dois tempos, criou-se a folha 7. *Real vs Estimated Times*, representada na Figura 47 do anexo G. Esta folha permite perceber a tendência que a diferença entre os tempos de impressão estimados e reais seguem.

A informação e esquematização da quantidade de material utilizado nas impressões encontra-se na folha 8. *Quantity of Material*, representada na Figura 48 do anexo G.

Na folha 9. *Time per Gram* é determinada a relação entre os tempos estimados das impressões com extrusão simples, e extrusão dupla, e o peso da peça impressa.

Para ser possível determinar o custo que uma peça que se pretenda imprimir terá, foi criada uma calculadora de impressão na folha 10. *Printing Calculator*. Esta calculadora integra dados reais obtidos da Ultimaker 3. Na Figura 23 encontra-se representada a calculadora de impressão. Esta é a única folha que necessita que o utilizador introduza dados para obter as informações de custos. O utilizador pode aqui acrescentar o valor do custo da mão-de-obra, por hora, para simular o custo real que envolverá a criação da peça.

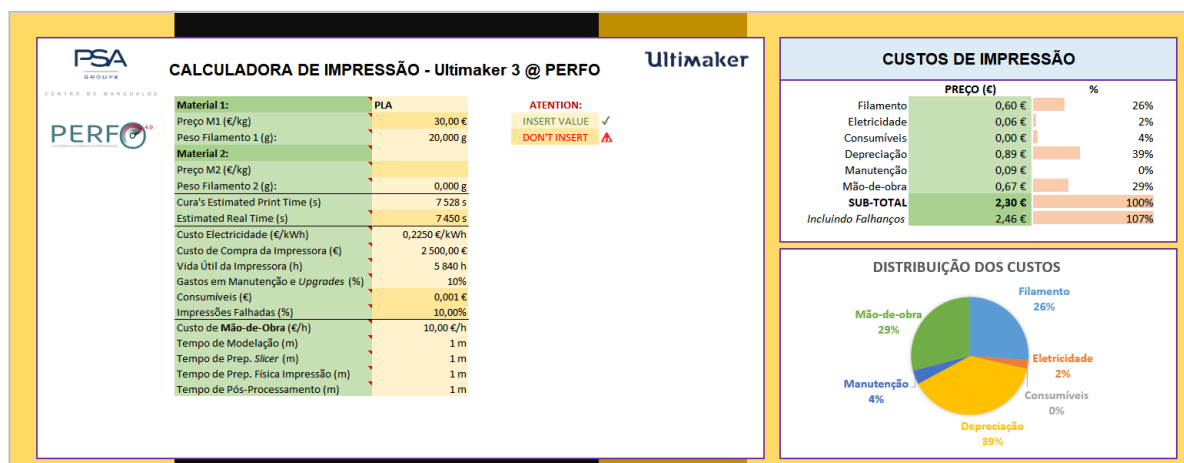


Figura 23 - Folha 10. *Printing Calculator*

Para além da criação desta calculadora, foi criado um ficheiro Excel com uma calculadora de impressão semelhante para ser possível calcular os custos de impressão da impressora BQ Prusa i3 Hephestos.

A folha 11. *Success Rate*, representada na Figura 49 do anexo G, apresenta a variação da taxa de sucesso das impressões da Ultimaker 3 desde o início do registo dos dados de impressão.

4.2.6 Ficheiro de comparação de custos e *lead times* entre peças

O ficheiro *template* criado para efetuar a comparação de custos e *lead times* de peças encontra-se representado na Figura 24. Para criar um ficheiro novo com a informação referente a uma peça, o utilizador tem de realizar os seguintes passos:

- Clicar no botão ‘Update Data’. Isto permite que o utilizador crie o ficheiro com os dados de impressão mais recentes;
- Selecionar o nome do ficheiro .gcode da peça correspondente. Uma vez selecionado, os dados referentes à peça impressa são automaticamente calculados, com base no ficheiro de dados de impressão;
- Preencher manualmente os dados que não são atualizados automaticamente. Estes dados são o nome, tipo, posto, descrição e foto da peça impressa, e os dados referentes à rentabilidade da peça, mais concretamente o custo de compra, *lead time* e frequência com que a peça original necessita de ser substituída, assim como o *lead time* e frequência da peça impressa.



Figura 24 - Template do ficheiro de comparação entre peças (com dados fictícios)

Este ficheiro foi criado para todas as peças que se imprimiram na Ultimaker 3. O ficheiro criado permitiu catalogar diversas peças que foram impressas com sucesso. Para arquivar e guardar os ficheiros de cada peça, foi criada uma pasta de impressão 3D na plataforma SharePoint, da Microsoft, como se pode observar na Figura 51 do anexo I.

As peças foram divididas por categoria (calibre, chave, verificador, etc) e, consoante a impressão de novas peças no futuro, novas categorias surgirão e terão de ser criadas, para a catalogação continuar atualizada. Cada peça tem a sua própria pasta com o ficheiro *template* com os dados referentes à peça assim como várias fotos das peças impressa e original.

Este catálogo é temporário na medida que o objetivo do CPMG é ter um catálogo online com o layout semelhante ao da Figura 16, que sirva não só de catálogo mas também de plataforma de pedidos de impressão. No entanto, o catálogo temporário no Sharepoint assegurará o registo mais completo das impressões, permitindo que no futuro a passagem para o catálogo pretendido seja muito mais fácil.

A catalogação e registo dos dados das peças permitiu perceber as distribuições de quantidade e tipo de peças impressas durante o projeto, representadas nos gráficos da Figura 25.

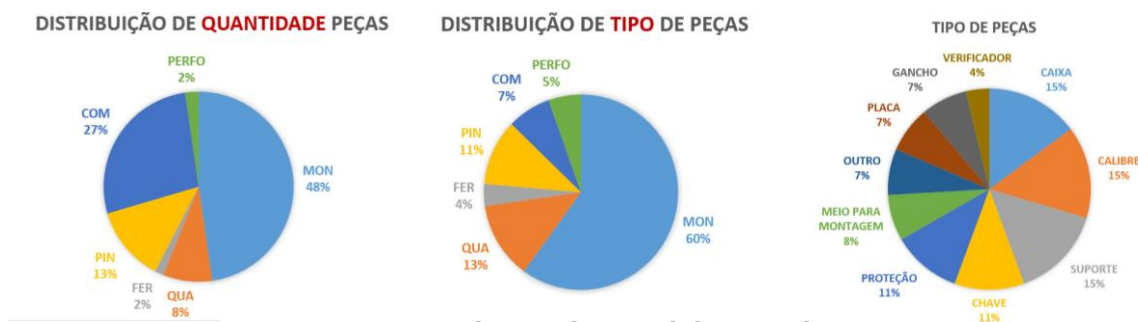


Figura 25 - Distribuições de quantidade e tipos de peças

Jogo de Cales

Uma das peças identificadas para passar de *buy-to-make* foi um jogo de 10 cales utilizadas na Qualidade para verificar várias distâncias entre peças de um carro, uma das quais se encontra representada na Figura 26. Estes jogos de cales não têm pedidos de compra com uma frequência definida mas sofrem bastante desgaste devido à



Figura 26 - Cale Original e Cale Impressa em PLA

sua utilização diária. São peças que necessitam de ter uma precisão dimensional exata, devido à natureza da sua utilização. Torna-se então necessário que as cales impressas tenham a mesma precisão dimensional que as originais, para as poderem substituir. Se se conseguir obter esta precisão, o custo de um jogo de cales impresso será **97,5%** mais baixo do que o custo de um jogo de cales original.

Chave de Calibração dos Faróis

A chave de calibração dos faróis utilizada atualmente, referida no capítulo 3.2.1, é substituída todos os meses devido ao desgaste que sofre. O custo de uma chave de calibração dos faróis impressa em PC, se se conseguir imprimir um modelo capaz de substituir a chave original, será **92,9%** mais baixo do que o custo da chave de calibração dos faróis atual.

Pino de Guia

O pino de guia utilizado atualmente, referido no capítulo 3.2.1, tem uma substituição diária devido ao intenso desgaste de utilização que sofre. O custo de um pino de guia impresso em PC, se se conseguir imprimir um modelo capaz de substituir a pino original, será **86,2%** mais baixo do que o custo do pino de guia atual.

Calibre para Regulação de Escovas Limpa Vidros

Durante a fase da Qualidade, uma das ações que é necessário efetuar é a calibração das escovas limpa vidros de todos os automóveis. Para isso, o CPMG modelou a solução representada na Figura 27, para testar a sua viabilidade de aplicação na ação mencionada. Os resultados foram positivos, com esta ferramenta a efetuar a tarefa de regular as escovas de uma forma rápida e precisa. Se esta ferramenta não tivesse sido impressa internamente mas sim encomendada a um fornecedor externo, teria tido um custo **70%** mais elevado. Para além disso, esta ferramenta foi impressa e montada em 3 dias, enquanto a peça terceirizada demoraria pelo menos 30 dias até chegar à fábrica. Apesar disto, recentemente as escovas mudaram de orientação e esta ferramenta ficou inutilizável. No entanto, basta alterar o modelo 3D no *software* de modelação e corrigir as medidas das peças, voltar a imprimir e montar a ferramenta para se voltar a usar a ferramenta na linha.



Figura 27 - Calibre para regulação de escovas limpa vidros impresso em 3D

Porta-Eléttodos



Figura 28 - Protótipo de um porta-eléttodo impresso em 3D

Um dos exemplos de fabricação de protótipos no CPMG é o modelo de um porta-eléttodo, representado na Figura 28. Este protótipo foi criado para saber se as dimensões deste modelo encaixariam nas peças adjacentes cujo produto final será para efetuar a soldadura por eléttodo revestido. Apesar do protótipo ser

apenas para verificar medidas, se algo não estiver bem é possível corrigir o modelo em tempo real através da remodelação do seu modelo 3D e voltar a imprimi-lo, tudo numa questão de horas. Se o protótipo tivesse de ser mandado fazer externamente o custo seria **99,03%** mais elevado do que imprimindo o protótipo, e o tempo que este demoraria a chegar à fábrica seria de pelo menos 30 dias, sestando o pedido de compra associado a este processo representado na Figura 50 do anexo H. Com a impressão desta peça, poupou-se bastante tempo e dinheiro.

Gancho fixador de pano protetor de para-choques



Figura 29 – Gancho original e impresso

Numa das secções da Montagem é preciso colocar um pano a proteger o para-choques do automóvel para evitar a danificação do mesmo. Esse pano é suportado por 2 ganchos que são compradas a um fornecedor externo. Após várias tentativas de imprimir ganchos em PC que pudessem substituir os originais, chegou-se à conclusão que a diferença de preço de **55,9%** entre um gancho impresso e um original não compensava, devido ao número de tentativas de substituição falhadas. Os dois tipos estão representados na Figura 29.

4.3 Plataforma de gestão de pedidos de impressão

Para a visualização e acompanhamento do processo e pedidos de impressão por parte dos colaboradores envolvidos no processo, recorreu-se à plataforma Planner, da Microsoft. Criou-se um plano com os pedidos efetuados pelas URs e o seu estado nas diferentes etapas do processo de impressão, representado na Figura 30.

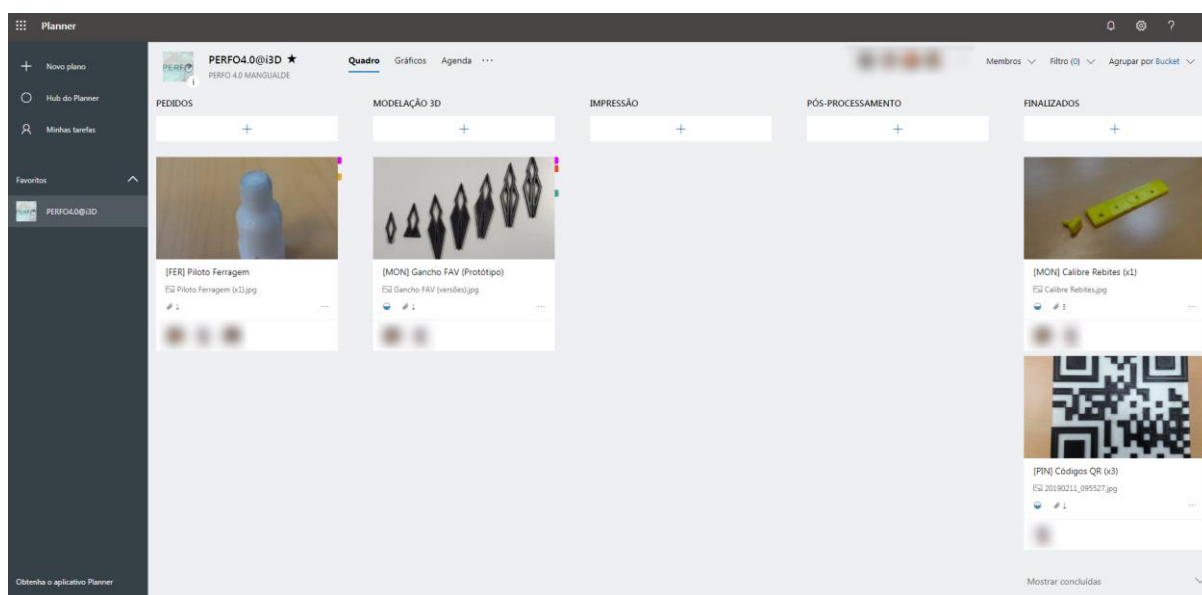


Figura 30 – Plataforma de acompanhamento dos pedidos de impressão

Os pedidos de impressão são criados pelo RI na etapa PEDIDOS e são adicionados os colaboradores que nele estão envolvidos.

Os pedidos incluem, na sua descrição, o nome e a UR do colaborador que fez o pedido, o tipo de peça e as datas e horas em que se completaram as diferentes etapas do processo de impressão. Para além disso, incluem ainda etiquetas que permitem indicar se a peça tem urgência ou se necessita de ser remodelada. Quando a peça estiver pronta para entrega, o RI coloca o pedido na etapa FINALIZADOS e, após a sua entrega, se a peça necessitar de ser remodelada devido a uma falha nas dimensões, o pedido quando o processo de impressão

estiver concluído, o pedido fica arquivado na subsecção “Mostrar Concluídos” da etapa FINALIZADOS.

4.4 Disposição e Manutenção dos Equipamentos e Materiais

4.4.1 Disposição e Reutilização



Figura 31 - Disposição encontrada para os Equipamentos e Materiais

A disposição encontrada para os equipamentos e materiais manteve-se na sala de reuniões Steve Jobs e encontra-se representada na Figura 31. As impressoras não mudaram de sítio, e continuam junto à entrada da sala, mas os materiais passaram todos para um único armário, estando, assim, todos os componentes da impressão 3D no mesmo sítio.

O armazenamento da matéria-prima necessita de ser feito num local seco, estando os rolos de filamento dentro de sacos hermeticamente fechados e sacos de sílica espalhados pelo armário, para absorver a humidade. Os filamentos encontram-se divididos, primeiro, por diâmetro do filamento (1,75 e 2,85 mm) e, segundo, por UR.

Na Ultimaker 3, por vezes, o filamento encrava no motor passo a passo e a secção de filamento que está dentro do tubo de *Bowden* fica inutilizável, tal como acontece quando um rolo de filamento está prestes a chegar ao fim e os últimos metros de filamento deixam de ser possíveis de imprimir. Estas secções de filamento são, no entanto, úteis para efetuar a limpeza do bocal do extrusor, quando se pretende efetuar a manutenção deste e existe uma caixa própria para as guardar, a fim de se evitar o desperdício de material. Algumas peças protótipo que são impressas mas cujos projetos são postos de lado devido à falta de urgência dessas peças ou por inviabilidade das mesmas, por exemplo, são guardadas numa caixa branca, para serem exploradas no futuro.



Figura 32 - Peça reaproveitada como suporte de monitor

Para além disso, há peças que são impressas que ou por erro de impressão ou por erro de medição da peça, acabam por não servir para o fim que lhes era suposto. No entanto, estas peças nem sempre ficam inutilizáveis, sendo possível encontrar uma nova utilização para elas, como é o caso da peça representada na Figura 32, cujo propósito inicial era ser uma caixa de PLA para preencher com dispositivos eletrónicos, e por não ter sido impressa com as medidas corretas, em vez de se descartar foi reaproveitada como suporte de um monitor. Este é apenas um dos exemplos das soluções de reutilização de peças no CPMG.

Os produtos acabados não têm, ainda, um local de armazenamento definido, visto a cadência de produção de peças ainda não ser alta o suficiente para permitir a acumulação de produtos acabados. Estes continuarão a ficar na secretária do RI para serem por ele entregues ou recolhidos pelos responsáveis das UR. Quando a cadência de produção começar a ser tal que os produtos acabados comecem a ficar acumulados no edifício administrativo, a solução passará pela marcação e armazenamento destes por UR numa secção do armário atual de impressão 3D.

Uma das soluções sugeridas para aumentar e otimizar a utilização das impressoras 3D do CPMG no futuro, passa por aproximar a impressão 3D das linhas de produção. Neste momento, como foi referido no capítulo 3.2.4, o local onde se realiza a impressão encontra-se fora dos edifícios fabris. No entanto, o processo de impressão 3D é um processo de fabricação como outro qualquer e necessita de ser tratado como tal. Como a UR que mais requisita os serviços da impressão 3D é a Montagem, a solução passará pela mudança das impressoras da sala de reuniões Steve Jobs, no edifício administrativo, para uma sala ou gabinete da Montagem. Isto permitirá:

- Eliminar a necessidade de realizar grandes deslocações dentro da fábrica para entregar as peças;
- Diminuir o *lead time* das peças impressas;
- Aumentar o número e a facilidade de realizar os pedidos de impressão, através da aproximação com o cliente;
- Aumentar a perceção dos colaboradores de linha da existência e das potencialidades das impressoras 3D, que poderão contribuir positivamente com ideias de peças para aumentar as suas ergonomia e eficiência.

Esta solução ainda não se implementou devido à inexistência de um departamento de impressão 3D. Como o RI desempenha outras funções para além da impressão 3D, essenciais ao edifício administrativo, o seu local de trabalho não pode ser deslocado para a fábrica, tendo a impressão 3D de se manter na mesma sala, por enquanto.

4.4.2 Manutenção e Monitorização

A manutenção das impressoras não era feita com regularidade nem com uma periodicidade definida, geralmente só era feita quando as impressoras apresentassem algum problema, sendo realizada, sobretudo, manutenção corretiva. Para além disso, como já foi referido no capítulo 3.2.4, a monitorização das impressões não era feita em tempo real devido à localização das impressoras numa sala diferente da onde o RI trabalha.

A utilização da interface Cura Connect, referida no capítulo 4.2.3, permitiu solucionar estes dois problemas, para a Ultimaker 3. Esta interface apresenta uma página de monitorização das impressões em tempo real e manutenção, representada na Figura 52 do anexo J. Disponibiliza um vídeo em tempo real da impressão, ou seja, um *livestream* (a impressora tem uma câmara pré-instalada na sua estrutura) indicando o tempo restante até ao término da impressão, quais os materiais que estão a ser impressos, os tipos de bocais e de cama de impressão, assim como a versão de *firmware* instalada e se esta está atualizada. Para além disto, é também possível imprimir remotamente através da interface Cura Connect, eliminando a necessidade de utilizar o cartão SD. A parte da manutenção apresenta uma lista de tarefas de manutenção que devem ser executadas mensalmente, de 3 em 3 meses e anualmente, tendo para cada uma a opção de registar a última vez que se efetuou determinada manutenção, para ser possível manter o utilizador informado de quando necessitará de realizar manutenção novamente.

Desta maneira, foi possível eliminar dois problemas relativos à Ultimaker 3:

- o RI já não precisa de se deslocar até à impressora para ver qual o estado da impressão, fazendo um acompanhamento quase contínuo de todo o processo de impressão através da visualização do *livestream* no seu computador;
- as impressões podem ser feitas remotamente através da interface;
- a manutenção é feita e registada na interface de acordo com as instruções e períodos indicados.

Estes fatores contribuem para a manutenção preventiva da impressora, ao invés da manutenção corretiva que até então era feita.

Apesar de estes problemas terem sido solucionados para a Ultimaker 3, a BQ Prusa i3 Hephestos continuava ainda sem manutenção e monitorização, assim como sem registo de impressões, como mencionado no capítulo 4.2. Para solucionar este problema, encontrou-se um *software open-source* de controlo e monitorização de impressões a partir de um browser, amplamente utilizado na comunidade de impressão 3D FDM. Este *software* é o OctoPrint que, em conjunto com um Raspberry Pi e um adaptador Wi-Fi USB ligados à impressora, forma o OctoPi que, segundo Ooi (2019), permite:

- Carregar ficheiros do tipo .gcode do computador para a impressora 3D de maneira wireless;
- Controlar a impressora manualmente (movendo os eixos x, y ou z, e a extrusão);
- Monitorizar a temperatura de impressão e alterar as propriedades da impressora;
- Guardar um registo e estatísticas de todas as impressões;
- Configurar uma câmara de filmar para visualizar no browser;
- Fazer *slice* dos modelos no OctoPrint através do *software* CuraEngine;
- Personalizar com vários *plugins* (podendo, o próprio utilizador, escrevê-los).

Este *software* não chegou a ser implementado na BQ Prusa i3 Hephestos durante a realização do projeto visto não ser algo que dispusesse de urgência já que o número de impressões realizadas nesta impressora não era tão elevado como o de impressões realizadas na Ultimaker 3. No entanto, foi demonstrado interesse, pela empresa, em implementar o OctoPi no futuro, pelo que se criou uma pasta dedicada à sua implementação, dentro da pasta de impressão 3D no SharePoint da empresa, com hiperligações para vários *websites* com tutoriais de instalação gerais e específicos para a impressora BQ Prusa i3 Hephestos. Quando se decidir instalar este *software*, basta consultar essa pasta e seguir as indicações dos tutoriais.

5 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

O projeto desenvolvido na empresa incidiu sobre vários aspetos do processo de impressão 3D que permitiram desenhar soluções e identificar diferentes necessidades de melhoria do processo.

A aquisição do filamento de Policarbonato apresentou-se como um desafio de impressão, obrigando a mudar a maneira como as impressões eram feitas, acabando por ser um processo de aprendizagem para a empresa. Foi necessário adaptar a impressora e utilizar novos componentes na sua impressão. Após tentativas e erros, através de mudanças no ambiente de impressão e alguns ajustes no *slicer*, foi possível chegar a um perfil de impressão que imprimisse as peças de forma mais uniforme. Tanto o pino de guia como a chave de calibração dos faróis que foram impressas em PC não resistiram às condições de utilização a que foram submetidas. No entanto, devido ao número de amostras submetidas a teste ser reduzido, não foi possível concluir que o PC não é um material viável para as aplicações testadas. A empresa deve realizar mais testes para poder retirar conclusões acertadas sobre a viabilidade deste material para as peças testadas.

Antes do início do projeto, a gestão de custos das peças impressas na fábrica não era feita, não sendo conhecidos e, por isso não registados, os custos das peças impressas. A criação da ferramenta de apoio à gestão de custos e histórico de impressões mostrou-se essencial para poder gerir de maneira eficaz e estruturada os custos associados a esta atividade. A boa utilização da ferramenta está, no entanto, totalmente dependente do RI, visto que sempre que quiser consultar os dados de impressão mais recentes, necessita de atualizar os dados da ferramenta. Os indicadores desenvolvidos permitirão ao RI acompanhar a evolução do processo de impressão e perceber qual a tendência das diferentes variáveis de impressão. Com a criação desta ferramenta, foi possível concluir que as peças produzidas no CPMG são peças de dimensões reduzidas, que não acarretam grandes custos para a empresa. Conclui-se também que a energia consumida durante o processo de impressão não representa custos significativos, comparados com os restantes custos de impressão, pode-se considerar o custo da energia quase desprezável.

A criação do ficheiro *template* de comparação de custos e *lead times* das diferentes peças permitiu iniciar a compilação de um catálogo com as informações principais de algumas peças que já tinham sido impressas. Não foi possível a obtenção dos dados referentes aos custos e *lead times* de todas as peças originais, tendo alguns dos ficheiros ficado por completar. A continuação do preenchimento dos ficheiros com as informações das peças originais e criação de ficheiros de peças novas terá de ser efetuada pelo RI e será essencial para assegurar a continuação do registo e evitar a perda de informação das peças. Após a realização deste projeto, algumas peças passaram a ser impressas internamente. É o caso do jogo de cales impresso em PLA que trará reduções de custos significativos à Qualidade; no caso de se ter sucesso com a chave de calibração de faróis em PC, esta será outra ferramenta que passará a ser produzida internamente assim como o pino de guia em PC, ambos trarão reduções de custos significativas. O calibre para regulação de escovas limpa vidros é uma ferramenta que poderá ser impressa assim que o seu modelo 3D for alterado e o gancho fixador de pano

protetor deverá ser um projeto de impressão 3D a abandonar. A criação e impressão de protótipos deverá ser sempre considerada em primeiro lugar, antes de se optar por outra via. As possibilidades de alterar os modelos em tempo real e de imprimir as várias iterações no espaço de horas ou dias, com um custo tão reduzido, torna as decisões da empresa muito mais fáceis, rápidas e menos arriscadas, como foi o caso do porta-eléttodos impresso em PLA. Muitos outros modelos protótipos foram impressos e encontram-se em fase de teste para se concluir sobre a viabilidade de serem introduzidos na linha de produção. A maior parte das peças continuaram a ser impressas para a Montagem e este projeto foi feito durante uma fase de digitalização da empresa, tendo as peças para o departamento de comunicação sido impressas numa quantidade superior ao que é normal na empresa.

A nova disposição dos equipamentos trouxe uma nova organização ao espaço de impressão 3D e facilitou a fluidez do processo em si. A atualização de *firmware* e consequente instalação da interface Cura Connect permitiu, não só criar os ficheiros de gestão de custos anteriormente mencionados, como também efetuar a monitorização remota das impressões e praticar uma manutenção preventiva na Ultimaker 3. É esperado que com estas mudanças a taxa de sucesso das impressões da Ultimaker 3 suba e que a necessidade de realizar manutenção corretiva venha a ser eliminada.

No que diz respeito a projetos futuros relativos à impressão 3D no CPMG, a implementação do *software* OctoPrint na BQ Prusa i3 Hephestos apresenta-se como a solução imediata para a empresa poder ter o mesmo controlo e registo de dados de impressão que já pratica com a Ultimaker 3. Sente-se ainda a necessidade da criação de um departamento dedicado exclusivamente à impressão 3D. O RI, apesar de executar bem as suas funções, acaba por ficar sobrecarregado com várias tarefas que não deveriam ser da responsabilidade de um colaborador só. A criação de um departamento de impressão 3D com dois colaboradores, um para modelar e um para tratar do processo de impressão, já seria o suficiente para começar e aumentar o rendimento das impressoras que o CPMG possui. Este departamento faria a sua própria gestão de *stock*, excluindo a necessidade de esta ter de ser feita por cada UR. Independentemente da criação do departamento, a empresa deveria pensar em mudar o local de impressão para dentro da fábrica, idealmente para a Montagem, para ficar mais perto da linha de produção, aproximando o local de produção das peças e ferramentas do local onde são utilizadas.

Referências

- 3dprinterpower. 2018. “FFF and FDM 3d printer styles: cartesian vs delta vs polar vs scara.” 2018. <https://3dprinterpower.com/four-fff-3d-printer-styles/>. (consultado 6 março, 2019)
- Azimi, Parham, Dan Zhao, Claire Pouzet, Neil E. Crain, and Brent Stephens. 2016. “Emissions of Ultrafine Particles and Volatile Organic Compounds from Commercially Available Desktop Three-Dimensional Printers with Multiple Filaments.” *Environmental Science and Technology* 50 (3): 1260–68. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04983>.
- Balletti, Caterina, Martina Ballarin, and Francesco Guerra. 2017. “3D Printing: State of the Art and Future Perspectives.” *Journal of Cultural Heritage*. Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.010>.
- bq. 2014. “Prusa I3 Hephestos.” 2014. https://reprap.org/wiki/Prusa_i3_Hephestos. (consultado 13 março, 2019)
- Gaubatz, William A. 1996. “Rapid Prototyping.” In *1996 IEEE Aerospace Applications Conference. Proceedings*, 303–11. McDonnell Douglas Aerosp., Huntington Beach, CA, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/AERO.1996.496070>.
- Holmström, Jan, and Timothy Gutowski. 2017. “Additive Manufacturing in Operations and Supply Chain Management: No Sustainability Benefit or Virtuous Knock-On Opportunities?” *Journal of Industrial Ecology* 21 (S1): S21–24. <https://doi.org/10.1111/jiec.12580>.
- Hullette, Tobias. 2018. “Direct vs Bowden Extruder – 3D Printing Technology Shootout.” 2018. <https://all3dp.com/2/direct-vs-bowden-extruder-technology-shootout/>. (consultado 14 fevereiro, 2019)
- Jani, Matt. 2018. “Comparing FFF, SLA, and SLS Technologies.” 2018. <https://ultimaker.com/en/blog/52679-comparing-fff-sla-and-sls-technologies>. (consultado 2 maio, 2019)
- Li, Yao, Guozhu Jia, Yang Cheng, and Yuchen Hu. 2017. “Additive Manufacturing Technology in Spare Parts Supply Chain: A Comparative Study.” *International Journal of Production Research* 55 (5): 1498–1515. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1231433>.
- Ooi, Tian. 2019. “2019 OctoPrint Setup Guide – How to Set Up Octoprint Easily.” 2019. <https://all3dp.com/2/octoprint-setup-guide-how-to-set-up-octoprint/>. (consultado 8 abril, 2019)
- Patel, Ravi, Satyam Patel, and Jaimin Patel. 2014. “A Review on Optimization of Process Paramater of Fused Deposition Modeling For Better Dimensional Accuracy.” *International Journal of Engineering Development and Research* 2 (2): 1620–24.
- PSA, Groupe. 2019. “Sobre Nós.” 2019. <https://site.groupe-psa.com/mangualde/pt-pt/sobre-nos/>. (consultado 15 fevereiro, 2019)

- Rogers, Helen, Norbert Baricz, and Kulwant S. Pawar. 2016. "3D Printing Services: Classification, Supply Chain Implications and Research Agenda." *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 46 (10): 886–907. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-07-2016-0210>.
- Simplify3D. 2019a. "Flexible." 2019. <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/flexible/>. (consultado 28 fevereiro, 2019)
- . 2019b. "Nylon." 2019. <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/nylon/>. (consultado 28 fevereiro, 2019)
- . 2019c. "Polycarbonate." 2019. <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/polycarbonate/>. (consultado 28 fevereiro, 2019)
- Stevenson, Kerry. 2016. "Ultimaker's New Ultimaker 3 Dual-Extrusion 3D Printer." 2016. <https://www.fabbaloo.com/blog/2016/10/18/ultimakers-new-ultimaker-3-dual-extrusion-3d-printer>. (consultado 6 março, 2019)
- Tanguay, Robert. 2019. "THE HISTORY OF 3D PRINTER FILAMENT." 2019. <https://www.roberttanguay.com/tech/3d-printer-filament-history/>. (consultado 1 março, 2019)
- Tymrak, B. M., M. Kreiger, and J. M. Pearce. 2014. "Mechanical Properties of Components Fabricated with Open-Source 3-D Printers under Realistic Environmental Conditions." *Materials and Design* 58: 242–46. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.02.038>.
- Ultimaker. 2017. "Volkswagen Autoeuropa-Introduction Traditionally, Subtractive Processes Focus on Manufacturing Tools for Mass Production or Production of Stringent Requirement Components." <https://ultimaker.com/en/resellers>.
- Valerga, Ana Pilar, Moisés Batista, Jorge Salguero, and Frank Girot. 2018. "Influence of PLA Filament Conditions on Characteristics of FDM Parts." *Materials* 11 (8). <https://doi.org/10.3390/ma11081322>.
- Vayre, Benjamin, Frédéric Vignat, and François Villeneuve. 2012. "Metallic Additive Manufacturing: State-of-the-Art Review and Prospects." *Mechanics & Industry* 13 (2): 89–96. <https://doi.org/10.1051/meca/2012003>.
- Vermeire, Peter. 2019. Unleashing the potential of Additive Manufacturing (AM) in Belgian industry.
- Yusuf, Bulent. 2017. "3D Printers Explained: Delta, Cartesian, Polar, Scara." 2017. <https://all3dp.com/known-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/>. (consultado 19 março, 2019)

ANEXO A: Exemplos de peças passíveis de serem impressas



Figura 33 - Exemplos de peças e ferramentas passíveis de serem produzidas internamente (1 de 2, fotografias da autoria de Tiago Almeida)



Figura 34 - Exemplos de peças e ferramentas passíveis de serem produzidas internamente (2 de 2, fotografias da autoria de Tiago Almeida)

ANEXO B: Folha de Excel Antiga com Custos, Tempos e Lucros

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
	sector	peça/projeto	quantidade	peça	tempo	tamanho (mm)		gramas	total gramas	custo	total material		JH	custo	total modelação		JH	custo	total impressão
1	pintura	placas pintura	32	placas pintura	01:44:00	60 x 130 x 6		100	3200	0	- €		1	- €	- €				- €
2																			- €
3																			- €
4																			- €
5	montagem	Calibre para regulação escovas limpa vidros	2	casas	00:24:00			100	200	0	- €		0	- €	- €				- €
6	montagem	Calibre para regulação escovas limpa vidros	1	retentor	03:10:00			100	100	100	- €		0	- €	- €				- €
7	montagem	Calibre para regulação escovas limpa vidros	1	corpo	20:21:00			100	100	100	- €		0	- €	- €				- €
8	montagem	Calibre para regulação escovas limpa vidros	1	asa	01:52:00			100	100	100	- €		0	- €	- €				- €
9																			- €
10	comunicação	lembrança open family day 2018	1000	lembrança open family day 2018	00:17:00			100	100000	0	- €				- €				- €
11																			- €
12	montagem	chaves AGV	20	chaves AGV	11:00:00			100	2000	0	- €		0	- €	- €				- €
13	montagem	MEIO PARA MONTAR GAINES SONDAS	1	MEIO PARA MONTAR GAINES SONDAS	01:13:00			100	100	0	- €		0	- €	- €				- €
14																			- €
15	ferragem	piloto ferragem	1	piloto ferragem	00:17:00			100	100	0	- €		2	- €	- €				- €
16																			- €
17	montagem	calibre aperto travão	1	calibre aperto travão	08:24:00			100	100	0	- €		0	- €	- €				- €
18																			- €
19	montagem manu	1 suporte plc	1	suporte plc				0	0	0	- €		2	- €	- €				- €
20																			- €
21	montagem	proteção aparelhadora	1	gancho	00:16:00			100	100	0,10 €	10,00 €		1	- €	- €			0,25	- €
22	montagem	proteção aparelhadora	1	proteção aparelhadora	00:49:00			100	100	100	- €		1	- €	- €				- €
23	montagem	proteção aparelhadora	1	proteção aparelhadora porta	01:32:00			100	100	100	- €		1	- €	- €				- €
24																			- €
25	pintura	qr code	1	placa qr code	03:13:00			100	100	0,10 €	10,00 €		3	- €	- €			3,15	- €
26	pintura	qr code	30	placa qr code + texto + base	03:10:00			100	3000	0,10 €	300,00 €		3	- €	- €			3,25	- €
27																			- €
28	pintura	placas numéricas	1	placa com número	01:15:00	60 x 60 x 6		100	100	0,10 €	10,00 €		1	0,10 €	0,10 €			1,25	- €
29																			- €
30	montagem	aperto de porcas 38 stop	1	aperto de porcas 38 stop	01:52:00			100	100	0,10 €	10,00 €			- €	- €				- €
31																			- €
32	montagem	calibre vin	1	calibre vin							- €			- €	- €				- €
33											- €			- €	- €				- €
34											- €			- €	- €				- €

	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH
	custo	total modelação		JH	custo	total impressão		prf	lucro (prf * X)	custo informado	custo informado/g	custo informado	comparativo								
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					
31																					
32																					
33																					
34																					

Figura 35 - Ficheiro Excel antigo com os custos e tempos de impressão

ANEXO C: Comparação das características do ABS, PLA, Nylon e PC

				
	ABS	PLA	Nylon	Polycarbonate
	Learn More	Learn More	Learn More	Learn More
Compare Selected Show All	☐	☐	☐	☐
Ultimate Strength	 40 MPa	 65 MPa	 40 - 85 MPa	 72 MPa
Stiffness	 5 / 10	 7.5 / 10	 5 / 10	 6 / 10
Durability	 8 / 10	 4 / 10	 10 / 10	 10 / 10
Maximum Service Temperature	98 °C	52 °C	80 - 95 °C	121 °C
Coefficient of Thermal Expansion	90 $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$	68 $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$	95 $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$	69 $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$
Density	1.04 g/cm ³	1.24 g/cm ³	1.06 - 1.14 g/cm ³	1.2 g/cm ³
Price (per kg)	\$ 10 - \$ 40	\$ 10 - \$ 40	\$ 25 - \$ 65	\$ 40 - \$ 75
Printability	 8 / 10	 9 / 10	 8 / 10	 6 / 10
Extruder Temperature	220 - 250 °C	190 - 220 °C	220 - 270 °C	260 - 310 °C
Bed temperature	95 - 110 °C	45 - 60 °C	70 - 90 °C	80 - 120 °C
Heated Bed	Required	Optional	Required	Required
Recommended Build Surfaces	Kapton Tape, ABS Slurry	Painter's Tape, Glue Stick, Glass Plate, PEI	Glue Stick, PEI	PEI, Commercial Adhesive, Glue Stick
Other Hardware Requirements	Heated Bed, Enclosure Recommended	Part Cooling Fan	Heated Bed, Enclosure Recommended, May Require All Metal Hotend	Heated Bed, Enclosure Recommended, All Metal Hotend
Flexible	—	—	✓	—
Elastic	—	—	—	—
Impact Resistant	✓	—	✓	✓
Soft	—	—	—	—
Composite	—	—	—	—
UV Resistant	—	—	—	—
Water Resistant	—	—	—	—
Dissolvable	—	—	—	—
Heat Resistant	✓	—	✓	✓
Chemically Resistant	—	—	—	—
Fatigue Resistant	—	—	✓	✓
Heated Bed Not Required	—	✓	—	—
	ABS	PLA	Nylon	Polycarbonate

Figura 36 - Comparação de características entre o ABS, PLA, Nylon e PC in “<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/properties-table/?filas=abs,pla,Nylon,polycarbonate>”

ANEXO D: Fotografias relacionadas com a aquisição do PC

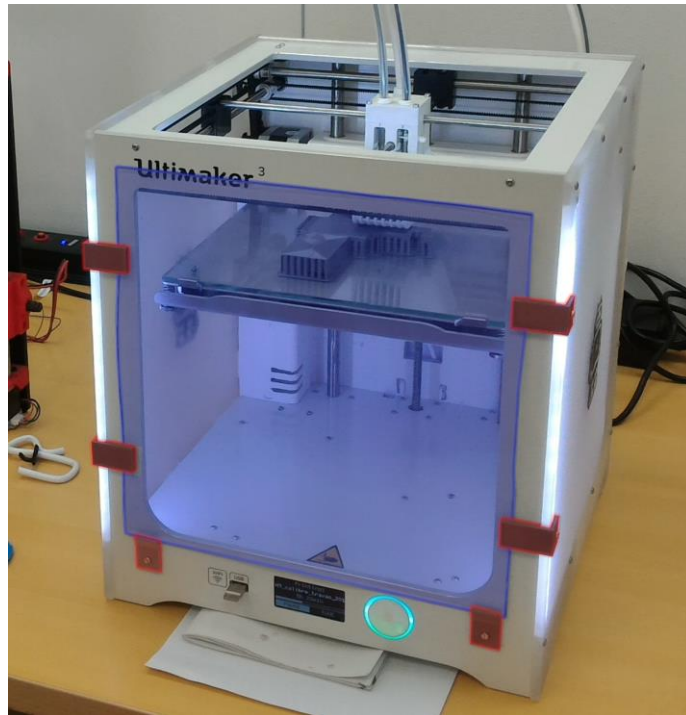


Figura 37 - Peças de suporte impressas em PLA (a vermelho) e capa de acrílico (a azul)



Figura 38 – Recorte da superfície de Impressão LokBuild e aplicação na cama de impressão

ANEXO E: Ficheiro Excel com várias soluções de *enclosure* para as impressoras

PSA GROUPE
CENTRO DE MANUFADE
PERFO 4.0

INDEX

ENCLOSURE	TYPE	MIN. PRICE **
1. Trash Bag	BUY / DIY	0,00 € *
2. PVC and Plastic Sheets	DIY	4,78 € *
3. Ultimaker Isolation Enclosure	DIY	12,03 € *
4. Plywood/Particleboard and Foam	DIY	16,78 € *
5. Photo Studio Soft Box	BUY	18,76 € *
6. IKEA LACK Tables	DIY	31,63 € *
7. Ultimaker 3 Enclosure Kit	BUY	146,85 € *
8. 660 and 870 Safety Enclosure Pro	BUY	2398,55 € *

* Assuming we already own some of the things and we don't need to buy them
** Prices **DON'T** include SHIPPING COSTS



INDEX | 1. Trash Bag | 2. PVC and Plastic Sheets | 3. Ultimaker Isolation Enclosure | 4. Plywood*ParticleBoard & Foam | 5. Photo Studio Soft Box | 6. IKEA LACK Tables | 7. Ultimaker 3 Enclosure Kit | 8. 660 and 8 ...

Figura 39 - Folha de Índice do ficheiro Excel com os diferentes tipos de *enclosure*

PSA

PERFORM

8. 660 and 870 Safety Enclosure Pro

WHERE TO BUY

https://www.3dprintclean.com/products?gclid=CjwKCAjwuzkBBAhEiwA9E3FUJlaodaY_wUHaGklF7PbNG_NGS

MODEL	PRICE (USD)	PRICE (EUR)	WEBSITES
660 Safety Enclosure Pro	\$ 2 695,00	2 398,55 €	https://www.3dprintclean.com/product-page/model660-safety-enclosure?gclid=CjwKCAjwuzkBBAhEiwA9E3FUJlaodaY_wUHaGklF7PbNG_NGS
870 Safety Enclosure Pro	\$ 2 995,00	2 665,55 €	https://www.3dprintclean.com/product-page/model-870-safety-enclosure?gclid=CjwKCAjwuzkBBAhEiwA9E3FUJlaodaY_wUHaGklF7PbNG_NGS
MINIMUM 2 398,55 €			

MODEL 660

DIMENSIONS

- External: W 800mm (31.5") x H 950mm (37.40") x D 810mm (31.88")
- Internal dimensions: Duct to duct W 495.3mm (19.5")
- Internal dimensions Duct to filter D 596.9mm (23.5")
- Internal dimensions Door to door W 641.35mm (25.25")
- Internal dimensions between ducts D 647.7mm (22.5")

MODEL 870

DIMENSIONS

- External: 1020mm (40.15") W x 950mm (37.40") H x 1020mm (40.15") D
- Internal dimensions: Duct to duct 685.8mm (27") W
- Internal dimensions Duct to filter 711.2mm (28") D
- Internal dimensions Door to door 838.2mm

FEATURES

Filtration

Shatterproof Windows

USB Passthrough

High Volume Filtration Motor

Spool Holder

Thermal Runaway Protection

Lockable Doors

Door Sensors

Printer Access

Humidity Monitoring

ETL Certified

Automatic Fire Suppression

Dehumidifier Cartridge

Touchscreen

Noise Suppression

Aluminium Frame

Door Seals

Heat Retention

Studio LED Lighting

Adjustable Feet

2. PVC and Plastic Sheets

3.Ultimaker Isolation Enclosure

4. Plywood ParticleBoard & Foam

5. Photo Studio Soft Box

6. IKEA LACK Tables

7. Ultimaker 3 Enclosure Kit

8. 660 and 870 Safety Encl. Pro

Figura 40 - Exemplo de um tipo de enclosure

ANEXO F: Informações do ficheiro CSV disponibilizado pelo Cura Connect

Data	
data	106 obs. of 36 variables
id	: int 102 66 76 56 12 103 22 20 94 59 ...
compatible_machine_families	: logi NA NA NA NA NA NA ...
created_at	: Factor w/ 103 levels "1970-01-01 12:01:03",...: 98 5 75 61 21 100 30 2...
deleted_at	: Factor w/ 96 levels "1970-01-01 12:01:05",...: 1 1 2 2 2 3 3 3 3 4 ...
estimated_time_total	: int 9766 466 1040 791 12193 5050 14921 1049 16704 10574 ...
force	: Factor w/ 2 levels "false","true": 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ...
job_buildplate	: Factor w/ 1 level "glass": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
job_material_1	: Factor w/ 3 levels "", "PC", "PLA": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
job_material_1_guid	: Factor w/ 5 levels "", "506c9f0d-e3aa-4bd4-b2d2-23e2425b1aa9"...
job_material_2	: Factor w/ 3 levels "", "PC", "PLA": 3 3 3 1 1 1 1 1 1 2 ...
job_material_2_guid	: Factor w/ 4 levels "", "506c9f0d-e3aa-4bd4-b2d2-23e2425b1aa9"...
job_material_amount_1_mm3	: int NA NA NA NA NA 17582 NA NA 45950 NA ...
job_material_amount_2_mm3	: int 18998 628 1603 1257 20681 NA 32215 1814 NA 20595 ...
job_material_grams_1	: num NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA ...
job_material_grams_2	: num 23.558 0.779 1.988 NA NA NA ...
job_printcore_1	: Factor w/ 2 levels "", "AA 0.4": 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 ...
job_printcore_2	: Factor w/ 2 levels "", "AA 0.4": 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 ...
machine_variant	: Factor w/ 1 level "Ultimaker 3": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
name	: Factor w/ 57 levels "calibre_rebites",...: 20 55 32 47 38 13 10 14 54 47 ...
owner	: Factor w/ 2 levels "e547203","USB": 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ...
print_end_time	: Factor w/ 97 levels "", "1970-01-01 12:01:13",...: 92 62 70 53 12 9...
print_start_time	: Factor w/ 97 levels "", "2019-03-29 01:53:45",...: 92 61 69 52 12...
printer_buildplate	: Factor w/ 1 level "glass": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
printer_material_1	: Factor w/ 2 levels "PC", "PLA": 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ...
printer_material_1_guid	: Factor w/ 2 levels "506c9f0d-e3aa-4bd4-b2d2-23e2425b1aa9..."
printer_material_2	: Factor w/ 2 levels "PC", "PLA": 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 ...
printer_material_2_guid	: Factor w/ 2 levels "506c9f0d-e3aa-4bd4-b2d2-23e2425b1aa9..."
printer_material_grams_1	: num NA NA NA NA NA NA ...
printer_material_grams_2	: num 23.558 0.779 1.988 1.559 25.644 ...
printer_printcore_1	: Factor w/ 1 level "AA 0.4": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
printer_printcore_2	: Factor w/ 1 level "AA 0.4": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
printer_uuid	: Factor w/ 1 level "47067a52-823b-477e-a847-e7de122427ae": 1 1 1 1 1...
require_printer_name	: Factor w/ 1 level "ultimakersystem-ccbddd3005497": 1 1 1 1 1...
status	: Factor w/ 2 levels "aborted","finished": 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ...
time_total_sec	: int 9735 490 1179 800 12092 4972 14701 1051 17260 3145 ...
uuid	: Factor w/ 106 levels "014f10b6-9fbf-46f9-be45-ada5fd41d06a",...: 21 11 65 14...

Figura 41 - Informações do ficheiro CSV exportado do Cura Connect

ANEXO G: Ficheiro Excel com os indicadores de impressão

ID	File Name	Status	Date	Print Core 1	Filament 1	Price F1 (EUR/kg)	Filament 1 Used (g)	Cost F1 Used (EUR)	Print Core 2	Filament 2	Price F2 (EUR/kg)	Filament 2 Used (g)	Cost F2 Used (EUR)	Created at
1	UM3_tx30yokota	finished	2019/03/29	AA 0,4	PC	63,65	3	0,19	AA 0,4	PLA	25,11	0,446	0,01	29/03/2019 01:47
2	UM3_TXLONGO	finished	2019/03/29	AA 0,4	PLA	25,11	3,539	0,09	AA 0,4	PLA	25,11	0,615	0,02	29/03/2019 02:45
3	UM3_protecaao_T30	finished	2019/04/01	AA 0,4	PLA	25,11	2,05	0,05	AA 0,4	PLA	25,11	0		01/04/2019 08:23
4	UM3_protecaao_T30	finished	2019/04/01	AA 0,4	PLA	25,11	2,05	0,05	AA 0,4	PLA	25,11	0		01/04/2019 08:43
5	UM3_CALIBRE v5	finished	2019/04/01	AA 0,4	PLA	25,11	0		AA 0,4	PLA	25,11	27,273	0,68	01/04/2019 09:17
6	UM3_CALIBRE v5	finished	2019/04/01	AA 0,4	PLA	25,11	0		AA 0,4	PLA	25,11	1,797	0,05	01/04/2019 12:07
7	UM3_PARAFUSO v8	finished	2019/04/03	AA 0,4	PLA	25,11	0		AA 0,4	PLA	25,11	21,513	0,54	03/04/2019 12:38
8	UM3_Central Inferior	finished	2019/04/03	AA 0,4	PLA	25,11	0		AA 0,4	PLA	25,11	32,722	0,82	03/04/2019 08:52
9	UM3_LED_panel	finished	2019/04/04	AA 0,4	PLA	25,11	0		AA 0,4	PLA	25,11	25,644	0,64	04/04/2019 10:53
10	UM3_BitHolder 15mm Iman incorporado	finished	2019/04/04	AA 0,4	PLA	25,11	0		AA 0,4	PLA	25,11	2,215	0,06	04/04/2019 07:26
11	UM3_REG_LEDs_caixa	finished	2019/04/05	AA 0,4	PLA	25,11	0		AA 0,4	PLA	25,11	9,126	0,23	05/04/2019 01:20
12	chave_quadros	aborted	2019/04/05	AA 0,4	PLA	25,11	0		AA 0,4	PLA	25,11	13,747	0,35	05/04/2019 02:45

Created at	Print Start Time	Print End Time	Deleted at	Estimated Total Time (s)	Real Total Time (s)	Time Difference (s)	Electricity Used (kWh/h)	Portugal's Electricity Price (EUR/kWh)	Electricity Cost (EUR)	Depreciation Cost (EUR)	Repairs and Upgrades Cost (EUR)	Consumables Cost (EUR)	Failure Cost (EUR)	Total Cost (EUR)
29/03/2019 01:47	29/03/2019 01:53	29/03/2019 02:42	29/03/2019 02:44	2439	2944	-505	0,2	0,2246	0,0367	0,43	0,04	0,001	0,216	0,92
29/03/2019 02:45	29/03/2019 02:48	29/03/2019 03:33	29/03/2019 03:36	2332	2706	-374	0,12	0,2246	0,0203	0,4	0,04	0,001	0,174	0,75
01/04/2019 08:23	01/04/2019 08:28	01/04/2019 08:41	01/04/2019 08:42	788	802	-14	0,12	0,2246	0,006	0,12	0,01	0,001	0,057	0,24
01/04/2019 08:43	01/04/2019 08:45	01/04/2019 08:59	01/04/2019 09:09	788	798	-10	0,12	0,2246	0,006	0,12	0,01	0,001	0,057	0,24
01/04/2019 09:17	01/04/2019 09:22	01/04/2019 11:58	01/04/2019 12:06	9513	9380	133	0,12	0,2246	0,0702	1,38	0,14	0,001	0,693	2,96
01/04/2019 12:07	01/04/2019 12:11	01/04/2019 12:25	01/04/2019 12:27	836	845	-9	0,12	0,2246	0,0063	0,12	0,01	0,001	0,057	0,24
03/04/2019 12:38	03/04/2019 12:44	03/04/2019 02:54	01/01/1970 12:01	7961	7851	110	0,12	0,2246	0,0588	1,15	0,12	0,001	0,571	2,44
03/04/2019 08:52	03/04/2019 08:59	03/04/2019 11:48	03/04/2019 11:50	10236	10172	64	0,12	0,2246	0,0762	1,5	0,15	0,001	0,778	3,33
04/04/2019 10:53	04/04/2019 10:59	04/04/2019 02:20	01/01/1970 12:01	12193	12092	101	0,12	0,2246	0,0905	1,78	0,18	0,001	0,822	3,51
04/04/2019 07:26	04/04/2019 07:33	04/04/2019 09:14	04/04/2019 10:47	1135	6034	-4899	0,12	0,2246	0,0452	0,89	0,09	0,001	0,332	1,42
05/04/2019 01:20	05/04/2019 01:26	05/04/2019 02:25	05/04/2019 02:42	3585	3560	25	0,12	0,2246	0,0267	0,52	0,05	0,001	0,253	1,08
05/04/2019 02:45	05/04/2019 02:50	05/04/2019 03:39	05/04/2019 03:41	4417	2998	1419	0,12	0,2246	0,0224	0,44	0,04	0,001	0,261	1,11

Figura 42 - Folha 1.Raw Data from R

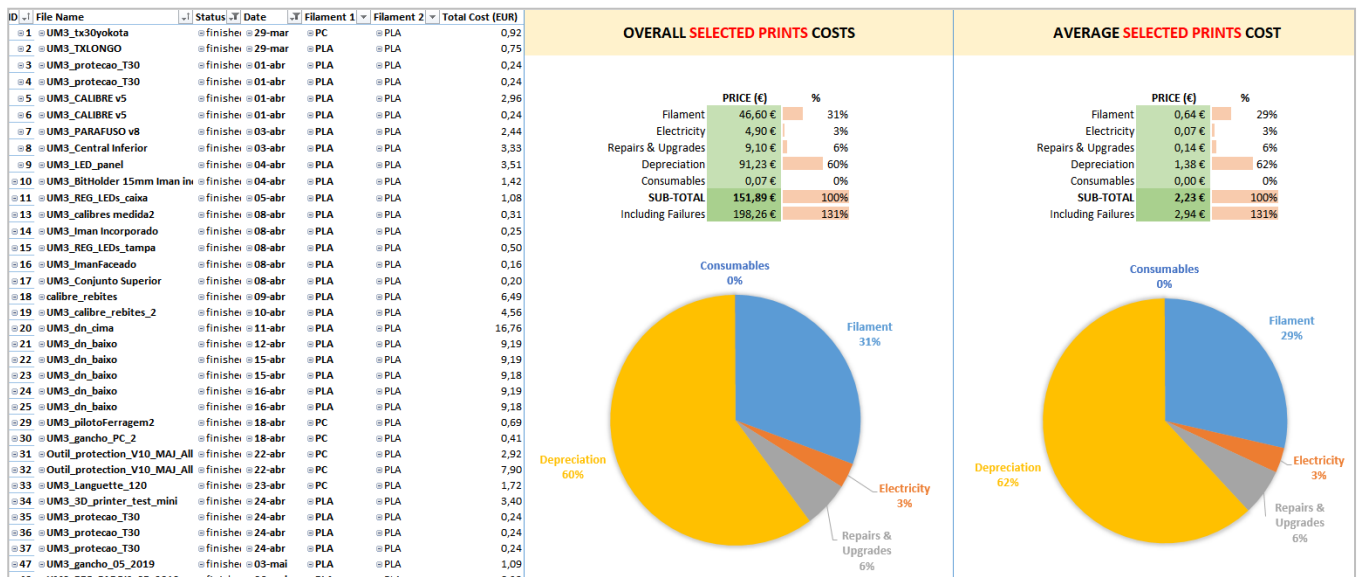


Figura 43 - Folha 3. Filtered Costs - Charts

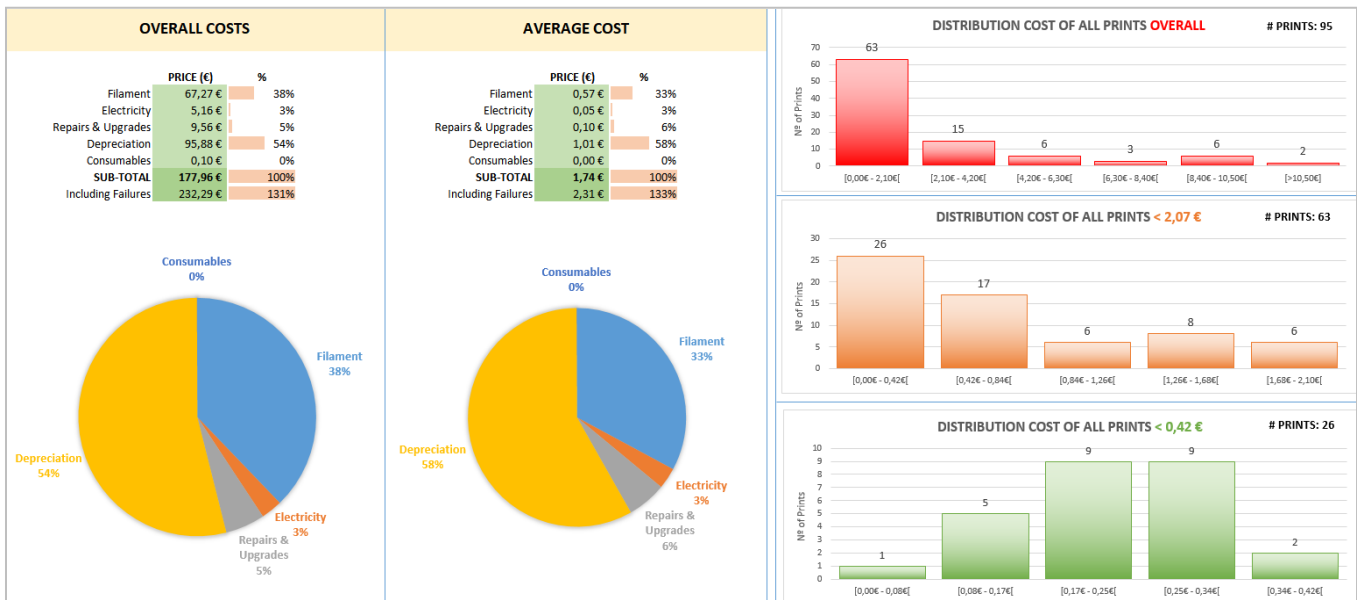


Figura 44 - Folha 4. Overall Costs - Charts

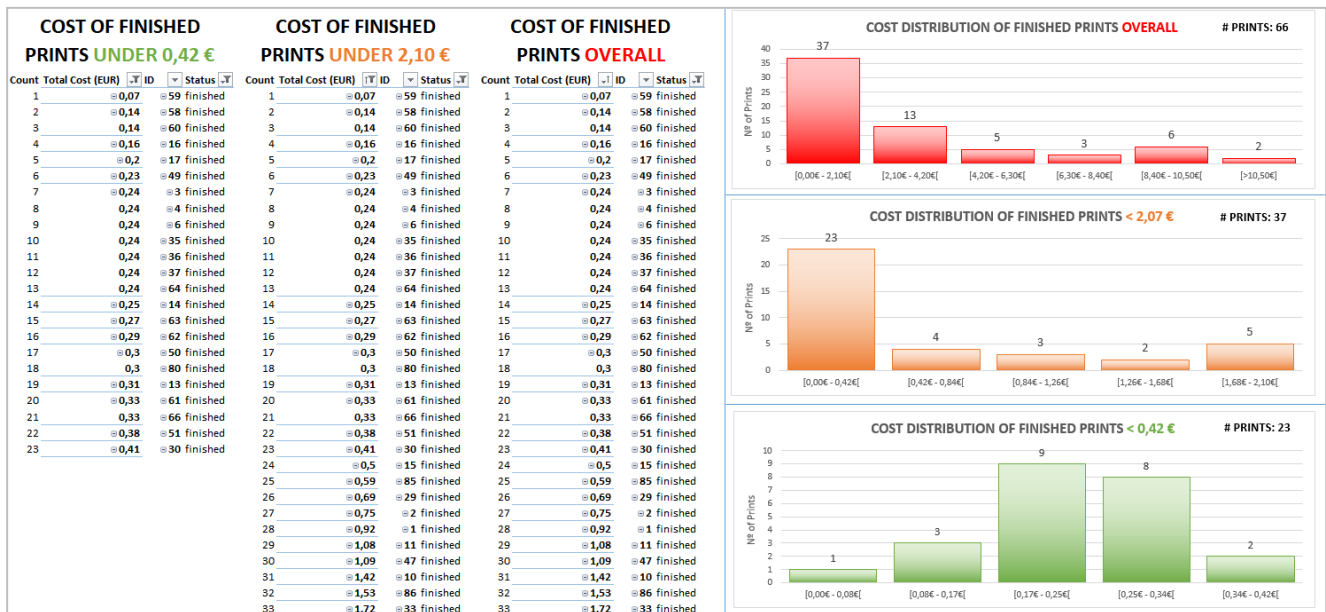


Figura 45 - Folha 5. Costs - Pivot Tables

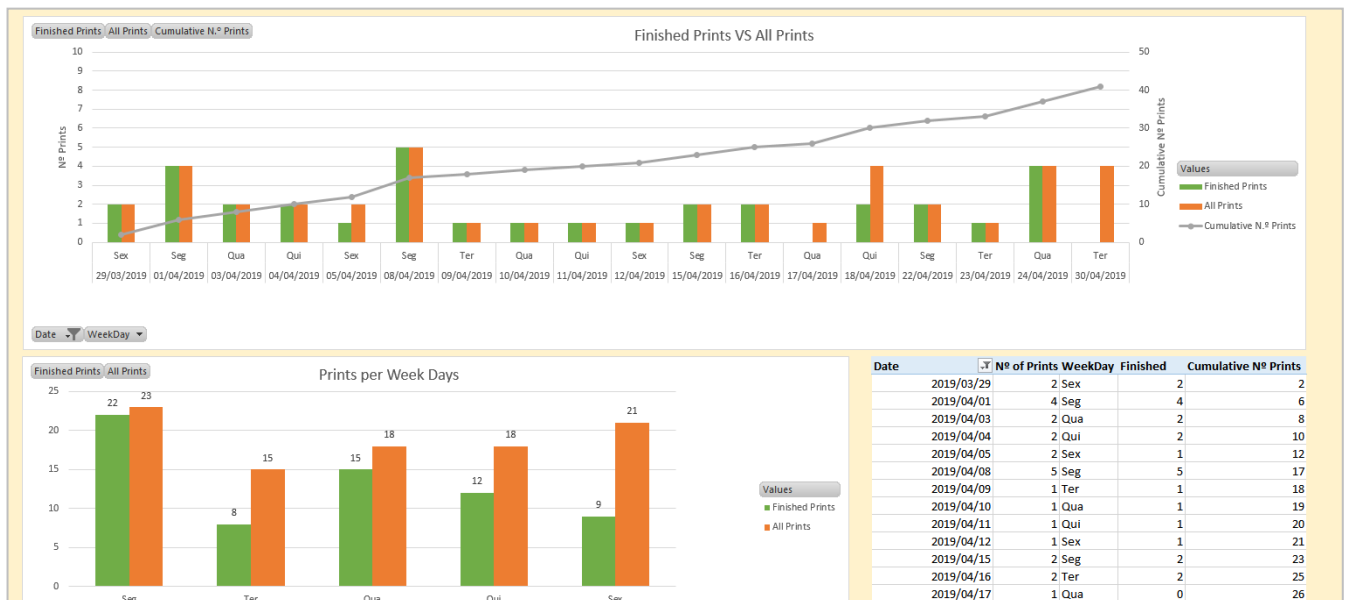


Figura 46 - Folha 6. Prints per Days & Weeks

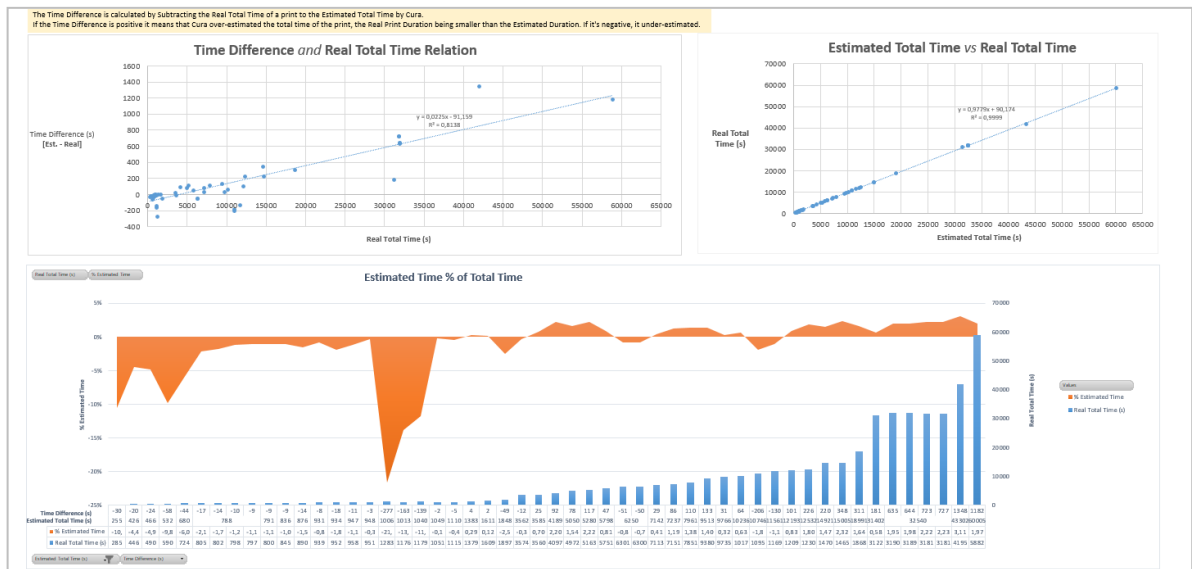


Figura 47 - Folha 7. *Real vs Estimated Times*

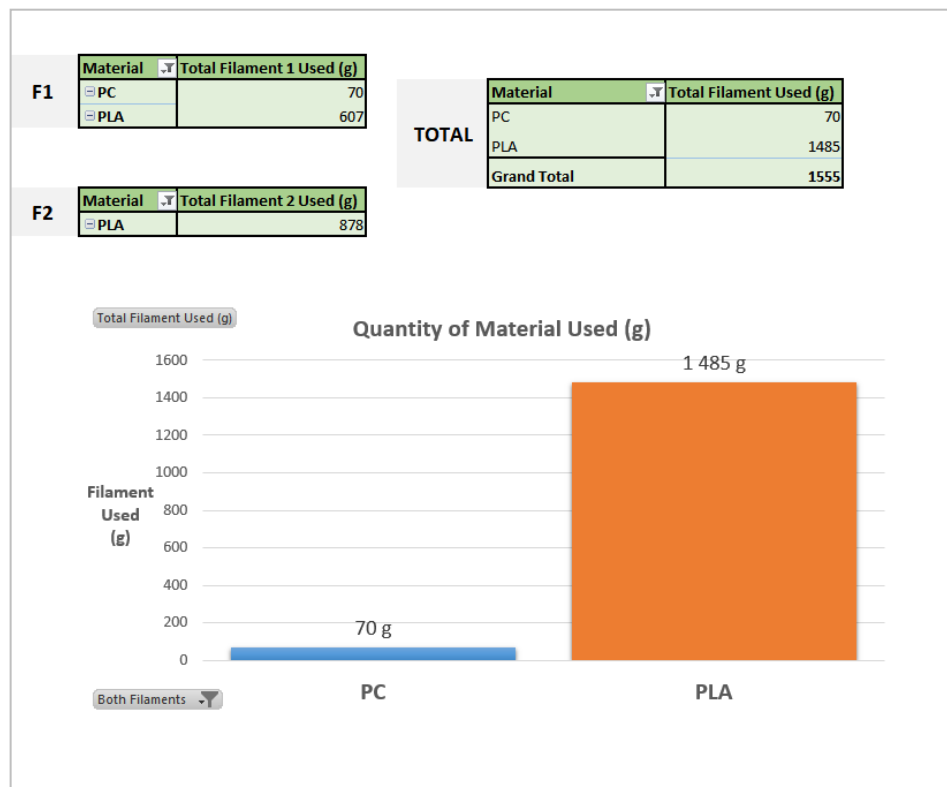


Figura 48 - Folha 8. *Quantity of Material*

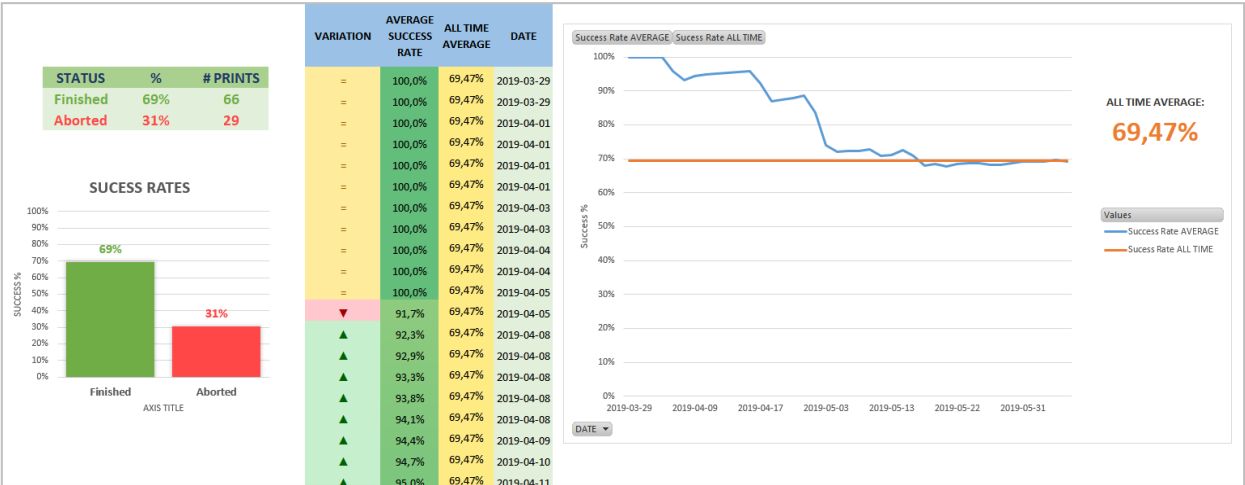


Figura 49 - Folha 11. Success Rate

ANEXO H: *Workflow* de um Pedido de compra geral

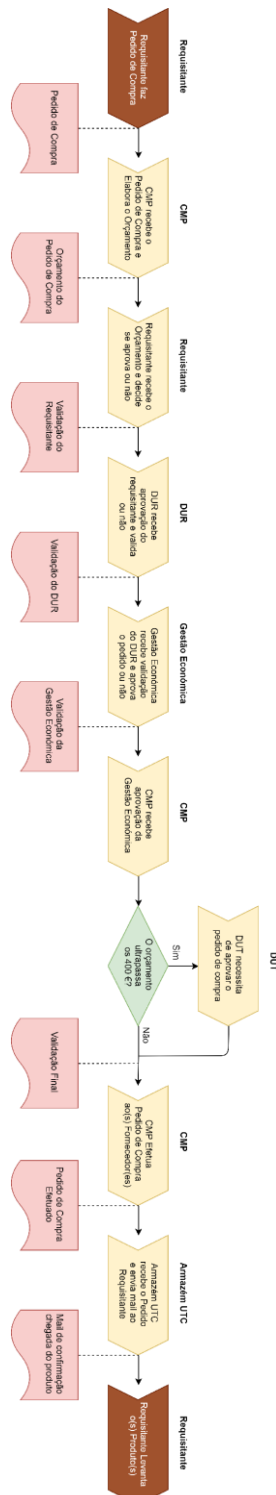


Figura 50 - *Workflow* de um pedido de compra geral

ANEXO I: Impressão 3D na Plataforma SharePoint

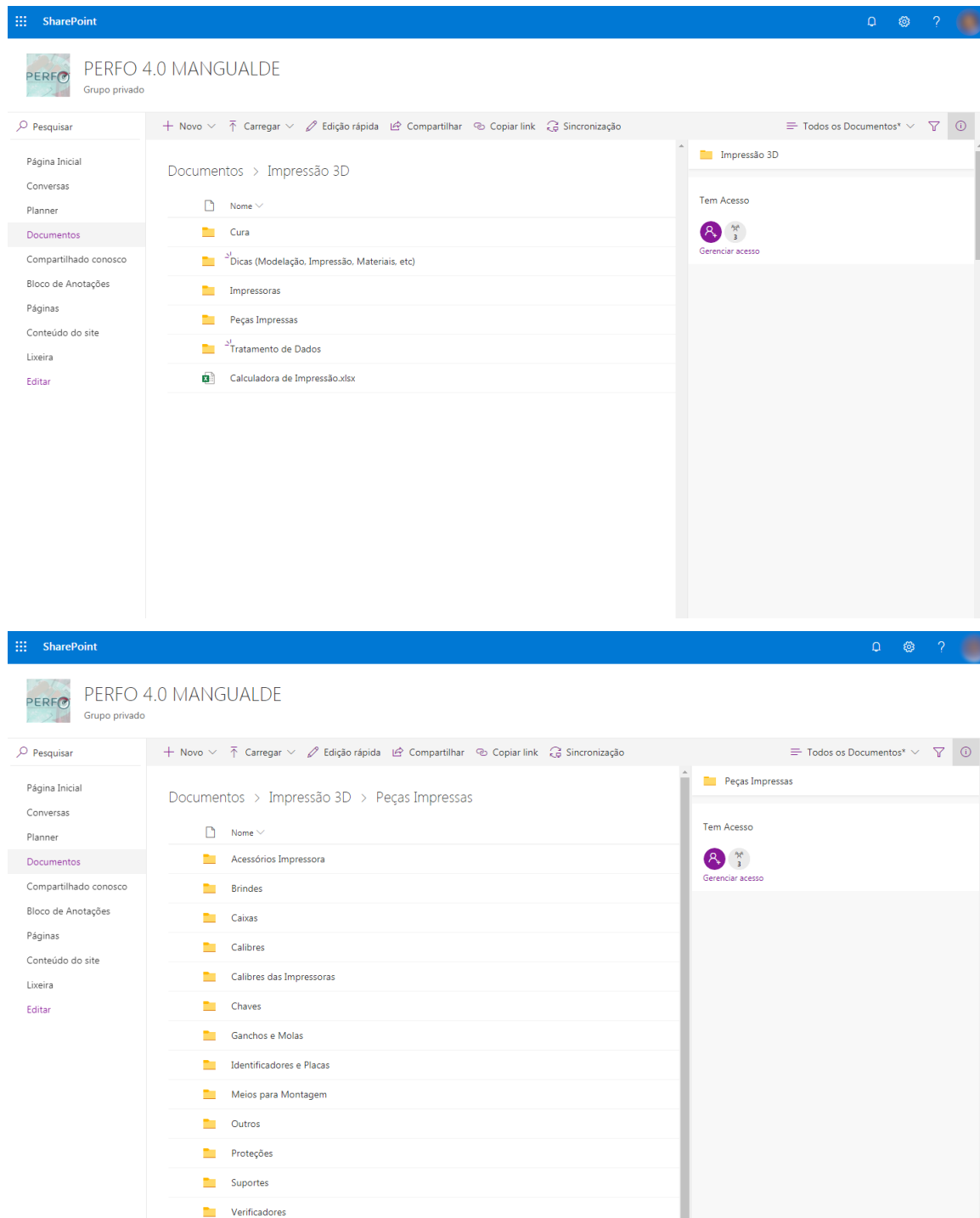


Figura 51 - Pasta de impressão 3D na Plataforma SharePoint

ANEXO J: Página de monitorização e manutenção da Ultimaker 3


Print jobs
Printers
Analytics
Settings
UM 

UM 

Ultimaker 3 - IP 

Extruder 1

Material PLA

Color Generic

Print Core AA 0.4

Extruder 2

Material PLA

Color Generic

Print Core AA 0.4

Build plate

Material Glass

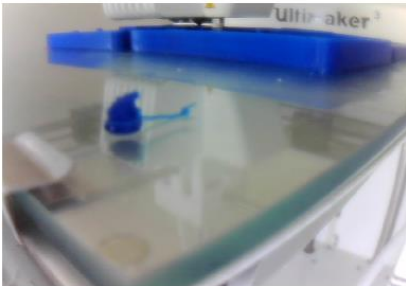
Firmware

Version 5.2.8.20190320

Latest 0.0.0.0

Up to date

[Release notes](#)




MAINTENANCE

TASK	LAST PERFORMED
Every month	
Clean printer	Never 
Lubricate axles	Never 
Every 3 months	
Check for play on axles	Never 
Check tension of short belts	Never 
Check for residue in front fan of print head	Never 
Check quality of silicone nozzle cover	Never 
Clean print cores	Never 
Lubricate lead screw Z motor	Never 
Every year	
Clean feeders and replace Bowden tubes	Never 

Figura 52 - Página de monitorização e manutenção da Ultimaker 3 da interface Cura Connect