

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
FATEC PROFESSOR JESSEN VIDAL**

**ALEXIS YAGO BRAGA MAIA
JOÃO PAULO BATISTA DA CRUZ**

**ESTUDO DO EMPREGO DA MANUFATURA ADITIVA
PARA FABRICAÇÃO DE COMPONENTES DE
INTERIORES DE AERONAVES**

São José dos Campos
2024

**ALEXIS YAGO BRAGA MAIA
JOÃO PAULO BATISTA DA CRUZ**

**ESTUDO DO EMPREGO DA MANUFATURA ADITIVA
PARA FABRICAÇÃO DE COMPONENTES DE
INTERIORES DE AERONAVES**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Tecnólogo em Projetos de Estruturas Aeronáuticas.

**Orientadora: Dra. Heide Heloise Bernardi
Coorientadora: Me. Fabiana Eloisa Passador**

São José dos Campos
2024

FICHA CATALOGRÁFICA – Biblioteca Fatec São José dos Campos Prof. Jessen Vidal
Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação

MAIA, Alexis Yago Braga

Estudo do emprego da manufatura aditiva para fabricação de componentes de interiores de aeronaves. / Alexis Yago Braga Maia, João Paulo Batista da Cruz - São José dos Campos, 2024.

48f. (número total de folhas do TG)

Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Tecnologia em Projetos de Estruturas Aeronáuticas.
Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos Professor Jessen Vidal, 2024.

Orientadora: Dra. Heide Heloise Bernardi.

Coorientadora: Me. Fabiana Eloisa Passador.

1. Manufatura aditiva 1. 2. Certificação 2. 3. Modelagem 3. I. Faculdade de Tecnologia. FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal. II. Estudo do emprego da manufatura aditiva para fabricação de componentes de interiores de aeronaves.

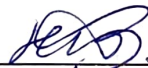
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MAIA, A. Y. B.; CRUZ, J. P. B. da. **Estudo do emprego da manufatura aditiva para fabricação de componentes de interiores de aeronaves.** 2024. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Projetos de Estruturas Aeronáuticas) – Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos Professor Jessen Vidal, São José dos Campos, 2024.

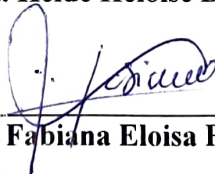
**ALEXIS YAGO BRAGA MAIA
JOÃO PAULO BATISTA DA CRUZ**

**ESTUDO DO EMPREGO DA MANUFATURA ADITIVA
PARA FABRICAÇÃO DE COMPONENTES DE
INTERIORES DE AERONAVES**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Tecnólogo em Projetos de Estruturas Aeronáuticas.



Dra. Heide Heloíse Bernardi – FATEC SJC



Me. Fabiana Eloísa Passador – FATEC SJC



Me. Celso de Oliveira – FATEC SJC



Dr. Alfred Makoto Kabayama – FATEC SJC

05 / 12 / 24

DATA DA APROVAÇÃO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaríamos de agradecer a Deus, porque até aqui nos ajudou o Senhor, concedendo força e sabedoria.

À nossa família, às nossas companheiras e aos nossos amigos, por todo o amor, apoio e incentivo ao longo dessa jornada. Vocês foram fonte de força nos momentos difíceis e sempre estiveram ao nosso lado, nos inspirando a seguir em frente. Cada conquista que alcançamos é também resultado do carinho e dedicação de vocês.

Obrigado FATEC, por ter sido um divisor de águas em nossas vidas, tanto no que diz respeito ao conhecimento como do lado profissional.

Agradecimento às Professoras Dra. Heide Heloise Bernardi e Me. Fabiana Eloisa Passador, por terem aceitado esse desafio e terem se tornado pilares para o desenvolvimento deste trabalho, que Deus as abençoe!

RESUMO

A manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão tridimensional, é uma tecnologia de fabricação que tem conquistado crescente relevância na indústria moderna, especialmente devido à sua capacidade de fornecer soluções rápidas, eficientes e altamente personalizadas. O presente trabalho se apresenta como uma alternativa promissora para os desafios enfrentados na cadeia de suprimentos da indústria aeronáutica, em que a agilidade na reposição e na produção de componentes é um fator crítico. Além disso, a complexidade na previsão da demanda de mercado representa um obstáculo adicional para o suprimento de peças e componentes. Tendo um olhar para a certificação e a utilização de materiais previamente homologados e catalogados, este trabalho explora a aplicação deste processo de manufatura para componentes de interiores de aeronaves. O estudo engloba as etapas de modelagem, simulação e sua parametrização, além da técnica de pós-processamento feita de forma teórica, com o objetivo de demonstrar a viabilidade e os benefícios potenciais que este processo pode trazer ao setor aeronáutico para fabricação das peças de interiores. Dessa forma, a manufatura aditiva surge como uma solução viável para empresas de interiores e manutenção de aeronaves, permitindo a economia de recursos, a redução de estoques e a otimização do tempo da cadeia de suprimento.

Palavras-Chave: Manufatura aditiva; Certificação; Modelagem.

ABSTRACT

Additive manufacturing, commonly known as three-dimensional printing, is a manufacturing technology that has gained increasing relevance in modern industry, particularly due to its ability to provide rapid, efficient, and highly customized solutions. This work presents itself as a promising alternative to the challenges faced in the aerospace supply chain, where agility in the replacement and production of components is a critical factor. Moreover, the complexity in forecasting market demand poses an additional obstacle to the supply of parts and components. With a focus on certification and the use of pre-approved and cataloged materials, this study explores the application of this manufacturing process for aircraft interior components. The research covers the stages of modeling, simulation, and parameterization, as well as the post-processing techniques, conducted in a theoretical manner with the aim of demonstrating the feasibility and potential benefits that this process can bring to the aerospace sector for the manufacturing of aircraft interior parts. Thus, additive manufacturing emerges as a viable solution for interior and aircraft maintenance companies, enabling resource savings, inventory reduction, and supply chain time optimization.

Keywords: Additive manufacturing; Certification; Modeling.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Objetivo geral	10
1.2. Objetivos específicos	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
2.1. Princípio fundamental da manufatura aditiva (MA).....	11
2.1.1. Aplicação da prototipagem rápida na indústria	12
2.2. Tipos de manufatura aditiva (MA)	13
2.2.1. Extrusão de material	14
2.2.2. Fotopolimerização em cuba.....	14
2.2.3. Jateamento de material	14
2.2.4. Jateamento do aglutinante	15
2.2.5. Fusão em leito de pó.....	15
2.2.6. Deposição direta de energia.....	15
2.2.7. Laminação de folhas	15
2.3. Certificação aeronáutica para produzir componentes	15
2.4. Requisitos necessários aos componentes de manufatura aditiva.....	16
2.5. Aplicação de técnicas de manufatura concorrentes na indústria aeronáutica.....	18
2.6. Problemas enfrentados pelas manufaturas empregadas no setor aeronáutico	19
2.7. Vantagens e limitações da impressão tridimensional	20
3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	23
3.1. Seleção do tipo de estrutura aeronáutica empregada no trabalho	23
3.2. Seleção dos materiais para as peças do interior de aeronave.....	24
3.3. Estudo do processo de MA empregado	24
3.4. Definição dos componentes para o estudo.....	25
3.4.1. Trava da mesa dos passageiros	25
3.4.2. Puxador da porta da aeronave executiva Seneca III	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1. Seleção do material proposto.....	28
4.2. Seleção do método de impressão 3D	29
4.3. Modelo e detalhamento 2D das peças estudadas	30
4.3.1. Trava da mesa-bandeja dos passageiros	30
4.3.2. Puxador da aeronave Seneca III	31
4.4. Definição dos parâmetros de impressão	33
4.4.1. Simulação de impressão da trava da bandeja	33
4.4.2. Simulação de impressão do puxador	36
4.5. Conformidade com os requisitos	38
4.6. Pós-processamento	38
4.7. Viabilidade da manufatura aditiva.....	39
5. CONCLUSÃO.....	40
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

As aeronaves, devido a sua complexidade de fabricação e montagem, possuem estruturas de configuração de peças nos mais variados níveis de produção, tendo seus componentes produzidos pela própria montadora, por outras empresas e serviços terceirizados. Porém, com as demandas comerciais de peças, imprevisibilidade das solicitações e da complexidade da cadeia de abastecimento no momento da manutenção, diversas empresas e prestadoras de serviços optam por estocar peças e componentes em seus inventários, para que a aeronave fique o menor tempo sem operar (SINGAMNENI et al., 2019). Contudo, o ato de estocar os componentes se torna capital sem giro financeiro para a empresa, além de gerar custos e ocupação de espaço (SOUZA e BUENO, 2019).

A gestão de estoque se torna desafiadora por conta da previsão da demanda e dos recursos financeiros agregados (IRIGON e ABRAHÃO, 2019; MORONI, 2003). Atualmente, a gestão das empresas se depara com problemas de atrasos das entregas das peças por conta da previsão que devem ter sobre o mercado. A busca por aperfeiçoamento dos processos de fabricação já existentes, ou até mesmo para trazer outros processos para dentro da área, tornou-se necessária (OLIVEIRA e SILVA, 2014), assim como, um olhar para evitar desperdícios excessivos, a complexidade de fabricação de algumas peças e a limitação dos processos de fabricação convencionais (ALCALDE e WILTGEN, 2019).

Nesse sentido, a manufatura aditiva (MA), também chamada de prototipagem rápida ou impressão 3D, tem emergido como uma solução promissora, atendendo às demandas inesperadas de determinados componentes, os quais podem ser feitos por este método de fabricação. Ademais, se destaca por contornar as demandas por melhorias que tanto a gestão quanto os processos de fabricação enfrentam atualmente (ALMEIDA et al., 2021). Como sugere a denominação ‘prototipagem rápida’, a MA surgiu na década de 1980, com o propósito de fabricar protótipos maximizando o tempo de produção e com vistas à funcionalidade do produto em questão (ALMEIDA, 2017).

Segundo Wiltgen (2021), a tecnologia de MA é municiada por uma ferramenta de Desenho Assistido por Computador (CAD), a qual possibilita modelamento geométrico com o fito de alterar estruturalmente a peça. O modelo digital é manufaturado por meio de uma impressora 3D, máquina que opera utilizando-se dos eixos X (comprimento), Y (largura) e Z (altura), sendo que o movimento do último eixo é o que caracteriza o processo de empilhamento de camadas e estrutura a representação do modelo digital projetado (WILTGEN, 2019).

Portanto, o presente trabalho tem como propósito apresentar a utilização de MA para suprir a demanda de determinados componentes aeronáuticos, visto que alguns dos processos atuais são onerosos em tempo de fabricação, otimização estrutural e regime logístico. Ao passo que a MA promove a menor dependência das empresas de fornecimento de peças, ganha espaço no setor aeronáutico para a produção de itens, que apesar de comporem uma lista limitada atualmente, tendem a crescer exponencialmente devido aos benefícios agregados a esse método de produção.

1.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar a aplicação da manufatura aditiva (MA) para componentes do interior de aeronaves.

1.2. Objetivos específicos

Para a consecução deste objetivo geral foram estabelecidos os objetivos específicos:

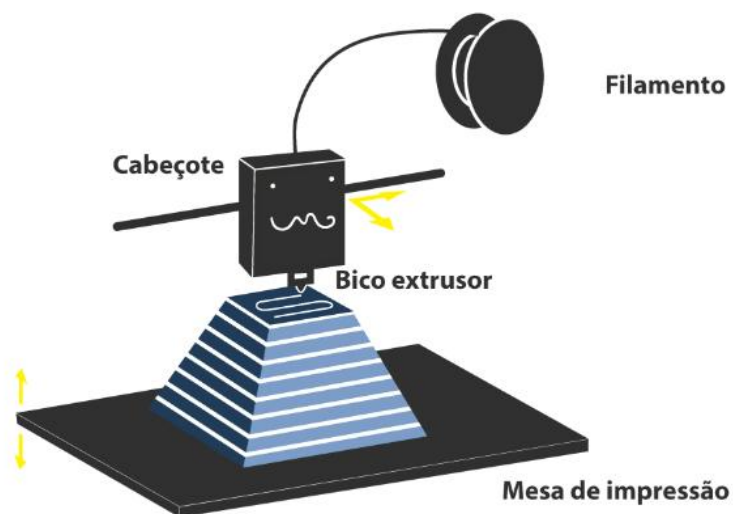
- Investigar as atuais aplicações da manufatura aditiva na indústria aeronáutica;
- Estudo de certificação para componentes internos não estruturais de aeronaves;
- Analisar os materiais certificados para esse tipo de aplicação;
- Propor dois componentes para os quais a manufatura aditiva pode ser empregada;
 - Projetar as peças no *Software CATIA V5 (Computer Aided Tridimensional Interactive Application)*;
 - Simular a impressão das peças no *software Ultimaker Cura*; e
 - Analisar a viabilidade conceitual da proposta produtiva em aplicações futuras.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Princípio fundamental da manufatura aditiva (MA)

A manufatura aditiva (MA), também conhecida como prototipagem rápida ou popularmente como impressão 3D, é um processo de fabricação realizado através da adição sucessiva de materiais por camadas orientadas (VOLPATO, 2021). Vale ressaltar que a deposição de material feita na prototipagem rápida é realizada por extrusão, no qual o filamento é submetido a altas temperaturas para sua fusão (VIA, 2019). Na Figura 1, pode ser observado o princípio básico de funcionamento desse processo, em que os movimentos dos eixos X (comprimento), Y (largura) e Z (altura) para coordenadas são feitos pelo cabeçote e a mesa, e a deposição pelo bico extrusor.

Figura 1. Princípio de funcionamento da manufatura aditiva.



Fonte: Mousta (2024).

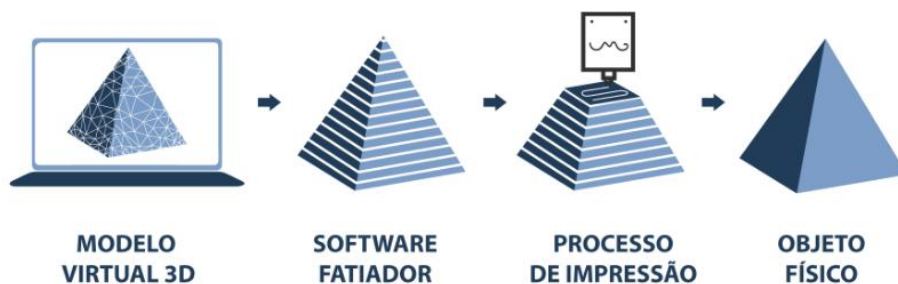
Segundo Karapatis, Griethuysen e Glardon (1998), alguns passos devem ser seguidos para que o processo desse tipo de manufatura possa ser realizado, dentre eles estão:

1. Projetar a peça em um *software Computer Aided-Design (CAD)*;
2. Converter o formato do arquivo para *Standard Tessellation Language (STL)*;
3. Fatiar o modelo em um *software* virtual e gerar código compatível com a impressora.
4. Configurar os parâmetros da impressora;

5. Enviar os dados para impressora para o início da manufatura;
6. Manufaturar o modelo;
7. Modelo físico manufaturado; e
8. Pós-processamento do modelo.

Na Figura 2, os passos 1, 3, 6 e 7 descritos anteriormente para o processo de manufatura ser realizado, podem ser observados para melhor compreensão do processo.

Figura 2. Processamento de componentes por meio da manufatura aditiva.



Fonte: Mousta (2024).

2.1.1. Aplicação da prototipagem rápida na indústria

A impressão tridimensional tem sido promissora, em comparação com os processos de manufatura tradicionais, por conta de sua versatilidade de utilização (VOLPATO, 2021). A gama de aplicação desse processo de fabricação se tornou abrangente, sendo essencial para diversos setores, como: o automotivo, o aeroespacial, a construção civil, a indústria da moda, a arte, o entretenimento, para as peças de produtos eletrônicos e utensílios domésticos, mas também é aplicado em meios científicos e médicos, como: biomedicina, farmacêutica e oftalmológico, em que diversos modelos anatômicos, implantes, lentes, proteção ocular e outros são fabricados para permitir melhor visualização, estudo e aplicação para as condições dos pacientes (BARCZEWSKI et al., 2022). No setor industrial, a impressão 3D é utilizada na fabricação de protótipos, peças, ferramentais, acessórios, gabaritos, entre outros.

Para a indústria automobilística, a manufatura aditiva tem ganhado espaço nas pequenas peças de motores, de reposição da Fórmula 1, de acabamento, como também em um veículo que foi inteiramente produzido através desse método de fabricação (MALAS e MOROZ, 2018).

No setor aeronáutico, a manufatura aditiva tem se apresentado como uma tecnologia emergente e de crescente relevância. Todavia, atualmente existe uma limitação a respeito de sua utilização pelo fato de as peças aeronáuticas serem submetidas a diversos requisitos de certificação (SINGAMNENI et al., 2019). No que diz respeito ao emprego, algumas empresas do setor de manutenção a utilizam para produzir peças do interior da cabine, fabricadas de materiais poliméricos; existem boroscópios fabricados pela tecnologia aditiva, eixo de travamento para portas fabricados pela montadora Airbus, alguns componentes de asas e fuselagens, peças de motores e câmaras de combustão, peças de dissipadores, fixadores, juntas e outros componentes de veículos aeroespaciais (AMS BRASIL, 2021, 2022).

Pode-se observar o potencial de crescimento que essa tecnologia tem demonstrado, visando trazer ganhos em diversos âmbitos para as empresas que optam por sua aplicação.

2.2. Tipos de manufatura aditiva (MA)

Os tipos de manufatura aditiva são divididos em duas categorias: métodos baseados em fusão e métodos não baseados em fusão. A partir desses tipos, foram estabelecidos os subtipos, chamados de técnicas de MA, sendo que cada técnica possui especificidades quanto aos materiais empregados e às características alcançáveis ao final do processo (MOSTAFAEI et al., 2021). Segundo a norma ASTM F2792-12a *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies* (ASTM, 2013), estabelece sete técnicas principais de manufatura aditiva, sendo elas: *Binder Jetting*, *Direct Energy Deposition*, *Material Extrusion*, *Material Jetting*, *Powder Bed Fusion*, *Sheet Lamination* e *Vat Photopolymerization*. As técnicas são exemplificadas na Figura 3.

Figura 3. Classificação das técnicas de manufatura aditiva.



Fonte: Adaptado de Alfattni (2021).

2.2.1. Extrusão de material

Conhecida como modelagem de deposição fundida, ou FDM, a técnica se baseia na fabricação por camadas, em que o material é fundido seguindo um padrão, adicionado acima ou próximo da camada anterior. A impressora utiliza um conjunto para puxar o material e um bico extrusor para fundir em temperatura de transição vítrea, o que permite depositar o material na geometria desejada e seguir para a próxima camada, formando a peça ao final do processo (ALFATTNI, 2021).

Os materiais mais utilizados nesse processo de fabricação são os polímeros termoplásticos, esses materiais podem ser encontrados sem adição de partículas (acrilonitrila butadieno estireno (ABS), ácido polilático (PLA), *Nylon*, entre outros) ou com adição, como as variações: filamentos metálicos, em que há adição de uma pequena quantidade de pó metálico; filamentos compostáveis, constituídos de recursos naturais como o amido extraído de milho; filamentos biocompostos, que têm sua base no PLA, mas possuem também partículas advindas de reciclagem; e filamentos com partículas de pedra, os quais possuem adição de partículas de pedra em sua composição (SILVA et al., 2018). O que define o tipo de polímero a ser utilizado (com ou sem adição de partículas) são as propriedades requeridas no componente fabricado.

2.2.2. Fotopolimerização em cuba

Técnica em que se utiliza fotopolímero líquido disposto em uma cuba, que ao ser exposto à luz UV realiza o processo de cura e se torna rígido. Estereolitografia (SLA - *Stereolithography Apparatus*), processamento digital de luz (DLP - *Digital Light Processing*) e polimerização multifóton são técnicas reunidas nesse grupo. O processamento depende de parâmetros como: comprimento de onda, tempo de exposição e a intensidade da fonte de iluminação (SILVA et al., 2018).

2.2.3. Jateamento de material

Processo no qual materiais fotossensíveis são jateados na plataforma de impressão e curados mediante a aplicação de luz UV. Segundo Shahrubudin, Lee e Ramlan (2019), nessa técnica podem ser usados fotopolímeros, materiais termoplásticos, compósitos, materiais biológicos ou híbridos e cerâmicas.

2.2.4. Jateamento do aglutinante

Esse processo envolve a deposição de um aglutinante, seguido de um compactador para unir o pó e, posteriormente, jateamento com luz UV para curar a camada. Shahrubudin, Lee e Ramlan (2019) afirmam que essa técnica pode formar peças com grandes dimensões e entre os possíveis materiais usados estão: metais, polímeros, areias e cerâmicas, sendo que a areia, por exemplo, não necessita de pós-processamento.

2.2.5. Fusão em leito de pó

Para a realização da fusão em leito de pó, é utilizada energia térmica proveniente de *laser* ou de feixe de elétrons. As técnicas que utilizam desse princípio são: usinagem/fusão por feixe de elétrons (EBM – *Electron Beam Machining*) e sinterização seletiva a laser (SLS – *Selective Laser Sintering*). Comumente utilizada para fundir metais, sendo que a associação da técnica com esse tipo de material se caracteriza pela elevada precisão dimensional (SHAHRUBUDIN, LEE e RAMLAN, 2019).

2.2.6. Deposição direta de energia

Também baseado na utilização de energia térmica, o processo utiliza *laser* ou plasma, a fim de fundir materiais (metais ou híbridos à base de metais), sendo a deposição de energia utilizada para regular a estrutura dos grãos dos metais. Se assemelha ao processo de extrusão de material, mas a diferença se dá no fato de que a cabeça de extrusão se movimenta em qualquer direção (SHAHRUBUDIN, LEE e RAMLAN, 2019).

2.2.7. Laminação de folhas

Processo que utiliza uma folha de material de construção para produzir o objeto, tendo como exemplo as técnicas de fabricação aditiva por ultrassom (UAM – *Ultrasonic Additive Manufacturing*) e a fabricação de objetos em camadas (LOM – *Laminated Object Manufacturing*) (SHAHRUBUDIN, LEE e RAMLAN, 2019).

2.3. Certificação aeronáutica para produzir componentes

No ramo aeronáutico, há uma preocupação direta com as diretrizes de segurança em voo, em que diversos requisitos das condições de aeronavegabilidade são seguidos à risca

para que a aeronave esteja em conformidade (AERO JR., 2020). Segundo Camargo (2017), o processo de certificação aeronáutica consiste em avaliar exaustivamente o produto, verificando sua resistência e redundância às possibilidades de falhas, que proporcionará a segurança necessária ao material aeronáutico. Para aplicar a MA como método de produção, é necessário que a peça projetada seja submetida a diversos ensaios e testes que comprovem sua eficácia para o uso e evidenciem que o componente não afete nenhum dos requisitos de aeronavegabilidade.

Ao redor do mundo, existem diversas autoridades aeronáuticas que certificam e monitoram os cumprimentos dos requisitos de segurança, dentre elas pode-se citar: *Federation Aviation Administration* (FAA), *European Union Aviation Safety Agency* (EASA) e no Brasil a autoridade responsável é a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

A produção dos componentes de reparo, substituição e manutenção, durante anos ficou assegurada através da *Original Equipment Manufacturer* (do português, Fabricante Original do Equipamento). Todavia, as autoridades regulamentadoras podem conceder dois tipos de certificados de produção para a empresa que deseja produzir essas peças. Dentre eles, está a certificação *Technical Standard Order* (do português, Ordem Técnica Padrão), em que o objetivo é permitir a fabricação do item estando em conformidade com o projeto aprovado e atendendo a todos os requisitos de segurança, para utilizar como uso próprio (DUARTE, 2020). Além disso, existe o certificado de *Parts Manufacturer Approval* (do português, Aprovação do Fabricante de Peças), que tem o objetivo de autorizar a produção para artigos de modificação e substituição, como também comercialização do item, desde que siga o projeto e atenda aos requisitos de aeronavegabilidade (SOFEMA AVIATION SERVICES, 2018).

2.4. Requisitos necessários aos componentes de manufatura aditiva

A partir da obtenção do certificado para produzir peças de reparo e reposição, as empresas de manutenção certificadas devem seguir os requisitos dispostos nos Regulamentos Brasileiros de Aviação Civil (RBAC), que atestem a conformidade dos padrões exigidos ao componente produzido por MA, assim como são exigidos padrões para produtos manufaturados a partir de outros métodos.

A RBAC 25 EMD 146, em seu parágrafo 853 (RBAC § 25.853), determina que os materiais usados no interior de compartimentos da aeronave (inclusive acabamentos ou

superfícies usadas como decoração) devem atender aos critérios de teste especificados no Apêndice F da RBAC 25. Em casos de peças pequenas, que não contribuam significativamente com a propagação de eventual incêndio, não são aplicados os mesmos testes usados em itens de dimensão maior, sendo necessário para esses componentes a comprovação de que o material utilizado é igual ou superior ao material usado na peça substituída, conforme especificado na RBAC 43.13.

A RBAC 43.13, em seu item (b), determina que independentemente do tipo de manutenção ou alteração realizada, os materiais utilizados para essa atividade devem possuir qualidade equivalente, superior ou que estejam apropriados à alteração pretendida, o que se baseia em: função aerodinâmica, resistência estrutural, resistência a vibração e deterioração, além de qualidades que afetam a aeronavegabilidade.

É fundamental atender também à RBAC 21.9, em que o item (a) especifica que: o artigo produzido deve ser pautado em um certificado de tipo, que se trata de um documento emitido pela autoridade reguladora da aviação do país em questão, reconhecendo que o projeto, a produção e/ou a aeronavegabilidade estão de acordo com os requisitos pré-estabelecidos pela certificação; a produção desse artigo deve passar por aprovação; deve ser padronizado e produzido de acordo com especificações industriais e/ou governamentais reconhecidas pela ANAC; deve ser um item comercial (em acordo com a RBAC 21.1); deve ser produzido e utilizado somente para a manutenção ou modificação do produto do proprietário ou do operador, significando que só é permitido utilizar o artigo no próprio produto, sem a possibilidade de vendê-lo a outros operadores e proprietários de outros produtos; e qualificado de acordo com um sistema da qualidade (RBAC 43).

A AC 43-18 CHG 1-2, emitida pela autoridade americana, pode ser utilizada como referência para o atendimento dos requisitos das RBAC 21.9 e RBAC 43.13, ou seja, garante que as peças fabricadas têm um nível de segurança equivalente às peças produzidas sob o certificado de produção do titular do projeto original.

Em adesão às boas práticas aeronáuticas, documentadas pela *Federal Aviation Administration* (FAA) em *Manufacturing Best Practices* – autoridade de aviação civil dos Estados Unidos, e seus colaboradores, os usuários podem se basear nesse guia de forma voluntária, com o intuito de promover melhoria contínua e atender aos requisitos regulamentares, as RBAC's (MANUFACTURING BEST PRACTICES, 2024).

2.5. Aplicação de técnicas de manufatura concorrentes na indústria aeronáutica

A indústria aeronáutica, assim como as outras indústrias, está em constante mudança e adaptação, seja para atender aos novos tipos de tecnologia criados ou para fomentar a pesquisa e ser agente atuante no desenvolvimento de novas tecnologias. Dado o exposto, utiliza diversos tipos de manufatura para suprir demandas de peças, conjuntos e até mesmo de grandes partes das aeronaves.

A MA, sobrepõe camadas para formar o modelo. Esse tipo de manufatura é caracterizado pela adição sucessiva de material para formar o objeto (BARBOSA et al., 2019).

A manufatura subtrativa, em que a remoção de material é o princípio para formar o objeto. Esse tipo de manufatura também se caracteriza por oferecer precisão dimensional à peça, além do alto acabamento superficial, porém, processos como usinagem, fresagem e torneamento, característicos do processo de manufatura subtrativa, desperdiçam grande volume de material (WILTGEN e LOPES, 2022).

O uso da manufatura subtrativa no ramo aeronáutico é vasto e engloba uma série de componentes estruturais, de chapas metálicas a longarinas, desde o uso de aço, alumínio, titânio e até polímeros plásticos de alto desempenho.

A manufatura híbrida, caracterizada pelo uso de metais, une as manufaturas aditiva e subtrativa, permitindo que o processo não se restrinja apenas a adicionar ou retirar material. Segundo Manogharan et al. (2015), apesar da manufatura híbrida possibilitar o uso de ferramentas distintas para tipos de manufaturas diferentes, a troca dessas ferramentas e a organização do *setup* de troca são desafios vigentes para a execução dessa tecnologia.

Além dos tipos de manufatura citados, a injeção de termoplásticos também é um método amplamente adotado na transformação de polímeros, sendo considerado essencial devido à sua capacidade de produzir peças com rapidez, elevada qualidade superficial e excelente precisão dimensional. Essa técnica é versátil, permitindo a fabricação de itens variados, desde os mais simples aos mais elaborados, e em diferentes tamanhos (BARBOSA e CALVÃO, 2020).

Na indústria manufatureira, o plástico ocupa um papel central, sendo constantemente aprimorado para atender às crescentes demandas por eficiência e inovação. Dentre os métodos utilizados para sua transformação, a injeção plástica se destaca por possibilitar a produção em larga escala, com significativa economia de tempo e recursos,

tornando-se uma ferramenta indispensável no contexto industrial contemporâneo (PLASTIBRAS, 2022).

A moldagem por injeção consiste em aquecer o polímero até que ele alcance o estado líquido, para, em seguida, ser conformado dentro de um molde que determina o formato desejado. O processo envolve várias etapas: fechamento do molde, injeção do material fundido, compactação, resfriamento, abertura do molde e, por fim, a extração da peça. A precisão de cada etapa depende do uso de equipamentos especializados e da *expertise* dos operadores. Para obter peças de alta qualidade, é fundamental conhecer as propriedades do material utilizado, além de ajustar corretamente as variáveis do processo, como as temperaturas do cilindro e do molde. O controle rigoroso desses parâmetros é decisivo para garantir o desempenho e a integridade do produto. Os moldes utilizados nesse processo, geralmente fabricados em aço, podem ser configurados com componentes fixos ou móveis, permitindo a fabricação de peças com diferentes níveis de complexidade (PRIMO INDUSTRIAL, 2024).

A injeção plástica possibilita a fabricação de peças com precisão e rapidez. Sua relevância para a indústria está na combinação de eficiência e capacidade de atender a altos padrões de qualidade, consolidando-se como um dos pilares da produção moderna (MANRIQUE, AHMADI e SAMANI, 2017).

2.6. Problemas enfrentados pelas manufaturas empregadas no setor aeronáutico

O setor aeronáutico está em constante evolução, seja em busca de novos tipos de transporte, como o *Electric Vertical Takeoff and Landing* (eVTOL), beneficiamento ou aquisição de novos materiais e até de novos maquinários e tecnologias para processar os materiais, como a manufatura aditiva.

Nesse sentido, se faz necessário citar os obstáculos enfrentados pelos processos de manufatura utilizados atualmente na aeronáutica.

Atualmente, o processo de injeção de plásticos enfrenta uma série de desafios relacionados às variáveis de processamento, que afetam diretamente a qualidade e a funcionalidade das peças produzidas. Esses desafios podem ser categorizados em diferentes tipos de defeitos, sendo eles de preenchimento, de aparência, dimensionais, estruturais e outros.

Os defeitos de preenchimento incluem problemas como injeção incompleta, a formação de bolhas de ar e a retração do material. Esses problemas podem comprometer a

integridade e o desempenho da peça, resultando em produtos fora das especificações desejadas.

Por sua vez, os defeitos de aparência abrangem a presença de rebarbas, manchas superficiais e a ausência de brilho. Esses fatores, embora não comprometam diretamente a funcionalidade, afetam a estética do produto e, em muitos casos, sua aceitação pelo mercado.

Os defeitos dimensionais, por outro lado, estão associados a deformações que interferem nas especificações geométricas das peças, prejudicando seu encaixe ou funcionamento em sistemas mais complexos.

Já os defeitos estruturais envolvem questões mais críticas, como a formação de trincas e a fragilidade do material, que podem comprometer a resistência mecânica da peça e sua durabilidade.

Adicionalmente, podem ocorrer outros tipos de falhas, como a falta de homogeneidade na coloração e a presença de marcas de fluxo, que também impactam negativamente a qualidade final do produto (MUNDO DO PLÁSTICO, 2024).

O desenvolvimento de componentes se limita às técnicas empregadas e à restrição geométrica dessas técnicas, como exemplo: o sistema de usinagem CNC (Controle Numérico Computadorizado) e as ferramentas possíveis nesse sistema são impeditivos para criar protótipos com formato geométrico complexo, além de despender alto investimento financeiro e temporal, o que também aumenta significativamente os prazos do projeto (RIBEIRO et al., 2022).

Entre outros problemas enfrentados pelas manufaturas comumente empregadas no setor aeronáutico, cita-se (RIBEIRO et al., 2022; TEAM RAPID, 2024):

- *Lead time* extenso, com prazos longos para adquirir o componente;
- Preços altos, devido à baixa quantidade de fornecedores e aos métodos utilizados para a fabricação, além do tempo agregado ao transporte e armazenagem; e
- Baixa variedade de materiais empregados, o que se limita também ao maquinário geralmente utilizado e sua restrição fabril.

2.7. Vantagens e limitações da impressão tridimensional

A respeito das vantagens, a manufatura aditiva se destaca por conciliar razões que a colocam como um processo de fabricação promissor para múltiplas áreas. A grande liberdade geométrica de processamento se torna um ponto forte ao compará-la com outros

tipos de manufatura subtrativa, que muitas das vezes se tornam limitados ao que se refere a complexidade das peças, devido ao raio da ferramenta utilizada, ao tamanho dos acessórios, ao deslocamento espacial para trajetória das ferramentas e demais fatores (SOUZA e BONETTI, 2024). Ademais, quando comparada ao método de moldagem por injeção, a manufatura aditiva se destaca por não necessitar de um molde para conformar o elemento a ser produzido, contribuindo também para a liberdade geométrica do processo e a consecutiva versatilidade de produção (MADEARIA, 2024). Além disso, ao confrontar a prototipagem rápida com os processos convencionais como fresamento, torneamento, furação, entre outros, pode-se observar que é um processo que tem por objetivo adicionar material de forma orientada, diferente dos processos de manufatura subtrativos, cuja fabricação consiste em subtrair os materiais do tarugo até chegar na peça final, podendo chegar até 98% da matéria prima sendo desperdiçada em forma de cavaco, de modo que a impressão tridimensional contribua com a sustentabilidade e o meio ambiente (SINGAMNENI et al., 2019). Outro benefício que a impressão 3D proporciona em relação a usinagem, é a capacidade de reduzir o peso dos componentes manufaturados, a depender da maneira que orienta e distribui os filamentos ao longo do corpo da peça, dispensando a necessidade da troca de ferramenta ou do uso de outro maquinário para produção do componente (RODRIGUES et al., 2017). A troca de ferramenta e o maquinário robusto são fatores que também colocam a manufatura aditiva à frente quando equiparada à injeção de plástico, visto que na injeção de plástico as ferramentas envolvem maior complexidade no momento da troca, devido à composição da ferramenta ser normalmente de aço (TEAM RAPID, 2024).

Vale ressaltar que, a fabricação por manufatura aditiva não se limita apenas a um tipo de filamento, pode-se conciliar mais de um material de forma simultânea na impressão (LWT SISTEMAS, 2024a). Como também, a fabricação não se restringe apenas a peças, mas também é possível aderir qualquer outro tipo de acessório ou ferramental, que vise contribuir para o avanço do projeto ou da produção local. Além disso, a peça final é processada em um único equipamento, eliminando a necessidade de dispositivos de fixação, trocas de ferramentas e de tempo para calcular os parâmetros de máquina e usinagem. Como resultado, obtém-se uma peça projetada de forma mais rápida (VOLPATO, 2021; ALMEIDA, 2017).

Em comparação com os métodos de prototipagem rápida, como a impressão 3D, a moldagem por injeção demanda um maior tempo de preparação e início do processo. Isso ocorre devido à necessidade de desenvolver e fabricar moldes, realizar testes de

ferramentas e ajustar os parâmetros de operação antes de viabilizar a produção em grande escala. Assim, o intervalo entre a etapa conceitual e a obtenção das peças finalizadas costuma ser mais extenso em relação às alternativas mais ágeis de prototipagem (MADEARIA, 2024).

Todavia, como qualquer outra técnica de fabricação, é possível citar limitações relevantes associadas ao emprego dessa tecnologia. O investimento inicial para todo equipamento pode chegar a até 50 mil dólares, dependendo da aplicação da impressora e do material que é utilizado por ela. Como o setor aeronáutico utiliza materiais certificados e de alto valor comercial, as impressoras que operam com essas condições são as de maior valor de aquisição (QIDI TECH, 2024). Para o empregado operar o equipamento de impressão, é necessário possuir conhecimentos técnicos em *softwares* 3D, noção básica em informática e em como operar a máquina, exigindo do operador tais conhecimentos para fabricação da peça. Outro fator a ser considerado na manufatura aditiva é o custo de manutenção dos equipamentos, que pode se tornar custoso e complexo dependendo do porte de tecnologia do equipamento, exigindo que o responsável possua um alto nível de competência técnica. Manter impressoras 3D avançadas demanda conhecimento especializado ao se deparar com problemas no momento da manutenção que podem ser difíceis de diagnosticar e resolver sem a devida experiência (WILTGEN, 2019, 2021).

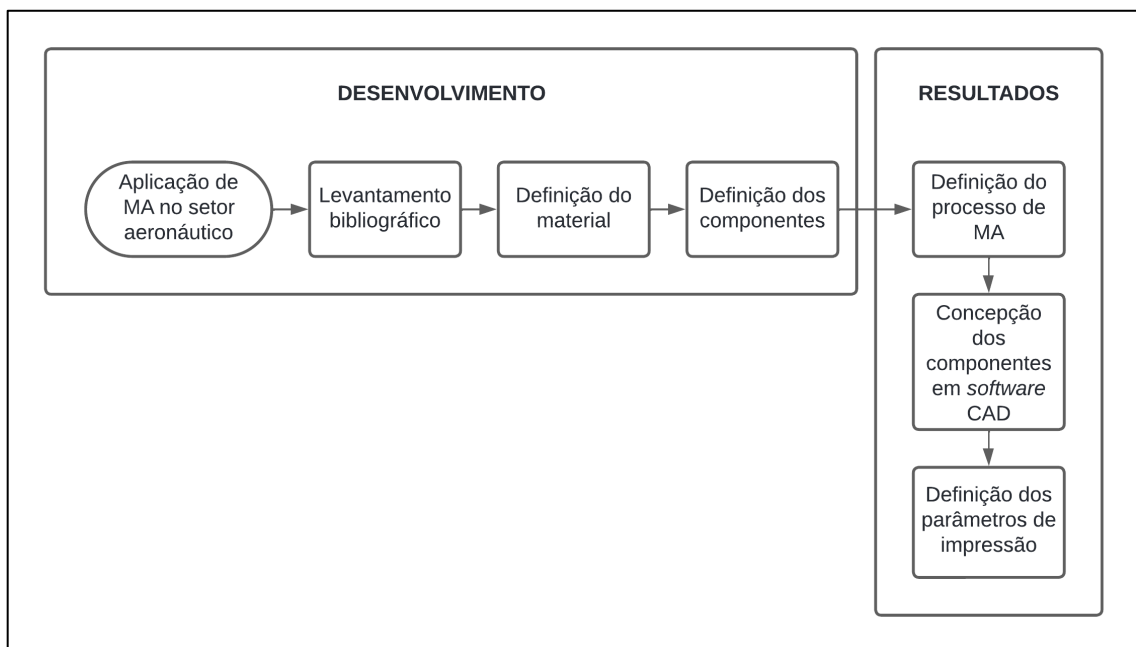
Devido ao tamanho do maquinário de impressão, existem restrições dimensionais para fabricação das peças, fazendo com que esse processo não seja adequado para grandes escalas, sendo necessário subdividir a peça em partes menores (ELETROBRAS FURNAS, 2024). Além disso, os acabamentos superficiais das peças resultantes da prototipagem podem ser rugosos e de aparência não desejável, necessitando que a peça passe por pós-processamento, como lixamento, em alguns casos usinagens ou até mesmo por preenchimento dos pequenos interstícios através de outros produtos.

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O trabalho consiste em estudar a aplicação da MA à duas peças comuns encontradas nos interiores de aeronaves executivas e comerciais, com material apropriado para produzir um componente aeronáutico em conformidade com os requisitos de certificação.

A construção deste trabalho segue uma metodologia estruturada, conforme ilustrado na Figura 4, onde foi definido o tema do trabalho e sua parametrização, ou seja, as etapas que o trabalho precisa seguir para seu desenvolvimento.

Figura 4. Etapas de consecução do projeto.



Fonte: Autores (2024).

3.1. Seleção do tipo de estrutura aeronáutica empregada no trabalho

A partir da escolha do tema da pesquisa, foi realizada consulta em *sites*, catálogos e vídeos, que mostram o interior de aeronaves comerciais e executivas, com o objetivo de avaliar peças em concordância ao propósito do trabalho.

Segundo Hangar MMA (2024), a estrutura da aeronave é dividida em três classificações: elemento estrutural principal, estrutura primária e estrutura secundária. O elemento estrutural principal e a estrutura primária, se assemelham devido ao fato de transmitirem esforços de carga, de voo e de pressurização, sendo que o elemento estrutural

principal também é responsável pela integridade estrutural do avião. E a estrutura secundária, que conduz apenas cargas aerodinâmicas ou inerciais.

Visto que os elementos secundários abrangem maior gama de peças, possibilidades de materiais e que os requisitos agregados a esses elementos são mais acessíveis para o emprego de MA, decidiu seguir esse viés de componentes para encontrar as peças que seriam utilizadas durante o desenvolvimento do trabalho.

3.2. Seleção dos materiais para as peças do interior de aeronave

Para filtrar a gama de polímeros empregados no setor aeronáutico em processos de impressões tridimensionais, foram realizadas pesquisas bibliográficas para limitar a lista de materiais conforme suas propriedades e a aplicação na qual a peça será submetida.

Como oportunidade de aplicação da MA, foi determinado a aplicação desta técnica para as peças do interior de aeronaves. Nas pesquisas, os polímeros ULTEM e PEEK mostraram-se os mais promissores, sendo materiais de destaque por conta de suas propriedades (CHUANG et al., 2015; RINALDI et al., 2021).

O ULTEM, nome comercial dado a Polieterimida (PEI 9085), é um polímero de alto desempenho, produzido para suportar esforços mecânicos em elevadas temperaturas (FIGUEIREDO, 2021).

Por sua vez, o PEEK é produzido a partir da resina de polieteretercetona, sendo também um polímero de alto desempenho e aplicável a diversos setores industriais (PLASTPLEX SOLUÇÕES INDUSTRIAIS, 2024).

3.3. Estudo do processo de MA empregado

Existe um repertório extenso de técnicas de impressão 3D, as quais permitem manufaturar peças com diferentes propriedades mecânicas e estruturais, além de serem empregadas para propósitos distintos (SHI et al., 2020). Apesar de ampliar as possibilidades de componentes fabricados, cada técnica necessita de um tipo específico de material devido ao processo de operação das máquinas.

É fundamental que a escolha do processo permeie fatores como: material empregado, tolerâncias dimensionais, velocidade de produção, pós-processamento e restrições de projeto (LWT SISTEMAS, 2024b).

Tendo em vista o emprego de material certificado para uso aeronáutico, foram realizadas pesquisas em artigos e *datasheets*, que apontaram a necessidade de utilização de determinados parâmetros para a realização da impressão.

Um dos principais requisitos é que o bico de extrusão da impressora alcance até 400°C, ao passo que os materiais propostos para a consecução do trabalho possuem alta resistência ao calor, o que demanda de maiores temperaturas para a impressão (UP 3D, 2024).

Outro fator crucial é que a máquina possua mesa aquecida (com temperatura mínima de 120°C), sendo esse parâmetro fundamental para que o material possua melhor aderência no início da impressão, diminuindo o risco de descolamento da superfície durante o processo (UP 3D, 2024).

Há também a necessidade de imprimir esse tipo de material em câmara aquecida e fechada, visto que materiais como o ULTEM e o PEEK são propensos a deformação e encolhimento, necessitando que a câmara seja configurada para operar com no mínimo 75°C em seu interior (UP 3D, 2024).

Após a conclusão da impressão 3D de materiais como PEEK e ULTEM, o pós-processamento torna-se uma etapa fundamental para garantir que as peças atinjam suas especificações finais em termos de qualidade superficial, precisão dimensional, desempenho mecânico e visual estético. Dependendo da aplicação, o pós-processamento pode incluir operações como o alisamento de superfícies, remoção de suportes, tratamento térmico e usinagem adicional.

A escolha do método de pós-processamento depende diretamente das exigências do projeto, sendo uma etapa crítica para assegurar a conformidade da peça com as normas de certificação, especialmente em setores altamente regulamentados como o aeronáutico (AMS BRASIL, 2020).

3.4. Definição dos componentes para o estudo

3.4.1. Trava da mesa dos passageiros

Como parte do planejamento do projeto, iniciou-se a busca por componentes com potencial para a aplicação da MA. O primeiro passo foi a análise de oportunidades para o uso dessa tecnologia, realizada por meio de *tours* virtuais oferecidos por companhias aéreas, como a KLM. A primeira peça selecionada, pode ser vista na Figura 5.

A escolha do mecanismo de trava da mesa foi influenciada pela fadiga à qual a peça está sujeita, devido aos esforços cíclicos gerados pelos passageiros ao travá-la e destravá-la durante o uso da mesa-bandeja, bem como pelo desgaste causado pelo uso inadequado de alguns passageiros. Outro fator relevante é que, no setor aeronáutico, é comum que a aquisição de peças individuais não seja comercializada, exigindo a compra do conjunto completo, o que aumenta significativamente os custos (SINGAMNENI et al., 2019).

Figura 5. Trava da mesa dos passageiros.



Fonte: Freepik (2024).

3.4.2. Puxador da porta da aeronave executiva Seneca III

Além das pesquisas digitais, foram feitas pesquisas de campo, com o intuito de visitar aeronaves e analisar de forma mais aprofundada os possíveis componentes para emprego no trabalho. Como prática, foi feita uma visita ao Aeroclub de São José dos Campos, onde foi possível entrar na aeronave Seneca III e registrar a peça presente na Figura 6.

Figura 6. Puxador da porta da aeronave Seneca III.



Fonte: Autores (2024).

Pelo fato do puxador ser uma peça exposta e de uso constante através do toque do passageiro, sua fabricação por impressão tridimensional surgiu como uma oportunidade de inovação. Problemas como a quebra do componente ou até mesmo o amarelamento podem gerar insatisfação no usuário quando percebidos, tornando essencial a busca por soluções mais duráveis e esteticamente agradáveis.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Seleção do material proposto

Na Tabela 1, é apresentada uma análise comparativa entre o PEI 9085 (ULTEM) e o PEEK, destacando as principais propriedades de cada material.

Tabela 1. Análise comparativa entre o PEI 9085 e o PEEK.

Propriedades / Informações	PEI 9085 (ULTEM)	PEEK (Poliéter-éter-cetona)
Temperatura de Uso Contínuo	Até 170-200°C	Até 250-260°C
Resistência à Tração	86 MPa	99,9 MPa
Rigidez	2230 MPa	3738 MPa
Resistência ao Impacto	115 J/m	7,1 kJ/m ²
Alongamento na Ruptura	4,5 %	9,1 %
Resistência à Flexão	116 MPa	147 MPa
Resistência Química	Boa, especialmente a ácidos	Excelente, incluindo ácidos, bases e solventes
Flamabilidade	Naturalmente retardante de chamas, V-0	Naturalmente retardante de chamas, V-0
Densidade	1,34 g/cm ³	1,30 g/cm ³
Condutividade Elétrica	Isolante	Isolante
Transparência	Transparente (pode ser colorido)	Opaco
Processabilidade	Fácil de moldar e usinar	Mais difícil de processar devido à alta temperatura de fusão
Custo	0,3X	X

Fonte: Intamsys (2024b; 2024c).

A Tabela 1 evidencia as principais diferenças e semelhanças entre os materiais no que diz respeito à resistência mecânica, comportamento térmico, resistência química, características de processabilidade e aparência, e custos, facilitando a seleção do material mais adequado para aplicações aeronáuticas. No contexto de manufatura, é importante ressaltar que o filamento plástico PEI 9085 apresenta maior facilidade de processamento, o que torna sua utilização na manufatura aditiva ainda mais promissora em comparação ao

PEEK. Outro ponto relevante é o custo, uma vez que o PEEK é significativamente mais caro que o PEI 9085, aproximadamente na ordem de três vezes o valor (3BE SHOP, 2024a; 2024b), tornando este último uma opção mais acessível para empresas que estão iniciando a adoção desse tipo de manufatura. Além disso, o PEI 9085 é um tipo de filamento aprovada pela FAA, atendendo aos requisitos das normas FAR 25.853 e OSU 65/65, que se referem à resistência a chama, emissão de fumaça e toxicidade (INTAMSYS, 2024a). Ao analisar a resistência mecânica do PEEK, verifica-se que suas propriedades são superiores às do PEI. No entanto, para a aplicação proposta neste trabalho o PEI 9085 atende de maneira satisfatória aos requisitos estabelecidos para estruturas de interiores, no qual os componentes não estão sujeitos a altos níveis de solicitação mecânica típicos de outras partes da aeronave (estruturas primárias).

4.2. Seleção do método de impressão 3D

De acordo com as propriedades estudadas sobre cada tipo de impressão 3D, além do material presente nas literaturas sobre manufatura aditiva, optou-se pela extrusão de material como método a ser empregado no trabalho.

O primeiro fator analisado para a escolha da modelagem por deposição fundida, ou FDM, foi a compatibilidade com o material empregado no trabalho, pois o PEI 9085 pode ser encontrado de três formas distintas, sendo elas: resina, folhas/placas e filamento.

O PEI 9085 em estado de resina demandaria a utilização de algum dos métodos por fotopolimerização em cuba, o que implicaria maior gasto com os equipamentos de suporte e material para essa tecnologia, visto que processos de manufatura aditiva menos difundidos necessitam de gastos substanciais em maquinários para se obter a mesma confiabilidade de processos que possuem maior conhecimento e suporte do mercado.

O material em forma de folhas/placas não atende ao uso da manufatura aditiva como principal meio de confecção para o componente, sendo assim não se caracteriza como uma variável atuante no processo de seleção da manufatura aditiva a ser aplicada.

Por fim, o PEI 9085 em formato de filamento, característica que possibilita o uso da extrusão de material como técnica de impressão 3D.

A extrusão de material possui elevado custo-benefício (VIA, 2019) quando comparada aos outros tipos de manufatura aditiva, haja vista que possui máquinas com valor acessível e de diversas fabricantes, o que aumenta também a comunidade de suporte para essa técnica (MAHA 3D, 2024). Ademais, é um método que não necessita de

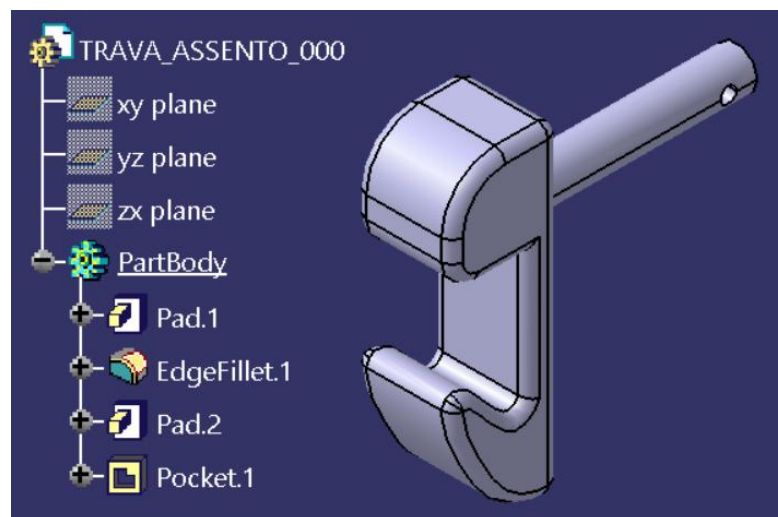
conhecimento tão especializado, ao passo que possuem *hardwares* simples de serem operados.

4.3. Modelo e detalhamento 2D das peças estudadas

4.3.1. Trava da mesa-bandeja dos passageiros

Como parte do planejamento do projeto, a etapa de modelar as peças selecionadas foi executada no *software* CATIA V5R21. Na Figura 7 pode ser observado a trava da mesa dos passageiros, juntamente com a árvore de comandos de projeto da peça.

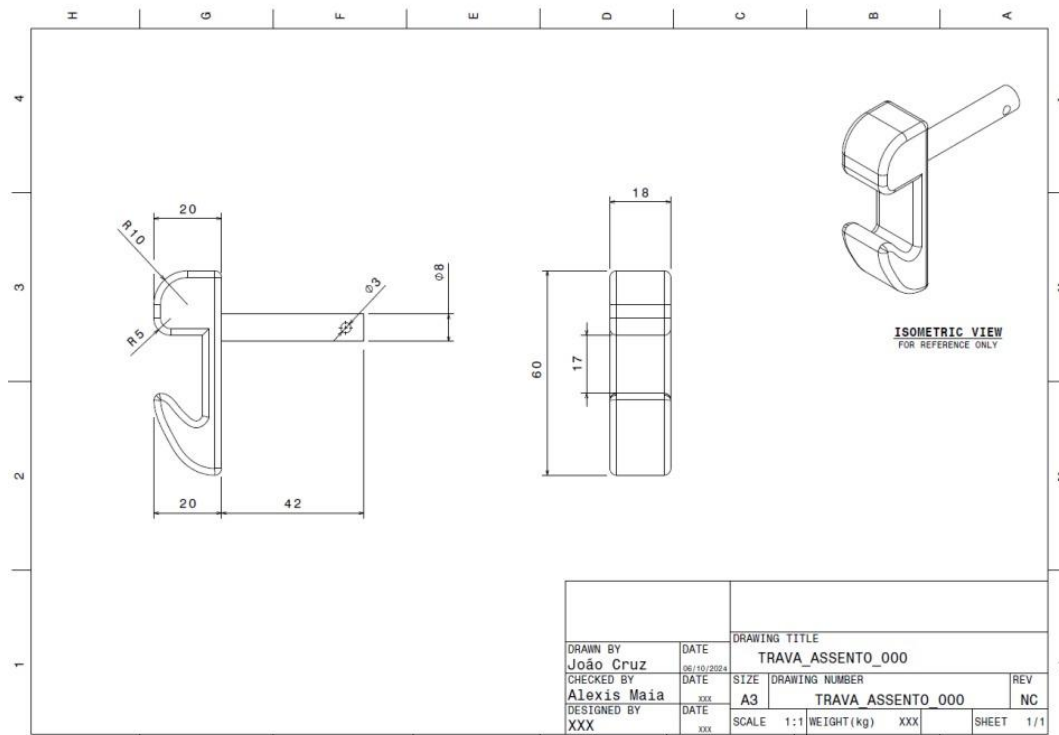
Figura 7. Trava da bandeja do passageiro.



Fonte: Autores (2024).

Como a trava da bandeja pode variar de acordo com o fabricante e a configuração interna de cada aeronave, há diversas possibilidades em termos de dimensões e *design*, porém essas informações são sigilosas. Portanto, a peça foi projetada com base nas dimensões obtidas a partir de fotografias e patentes disponíveis na *internet*, resultando no detalhamento 2D da Figura 8.

Figura 8. Detalhamento da trava da bandeja.



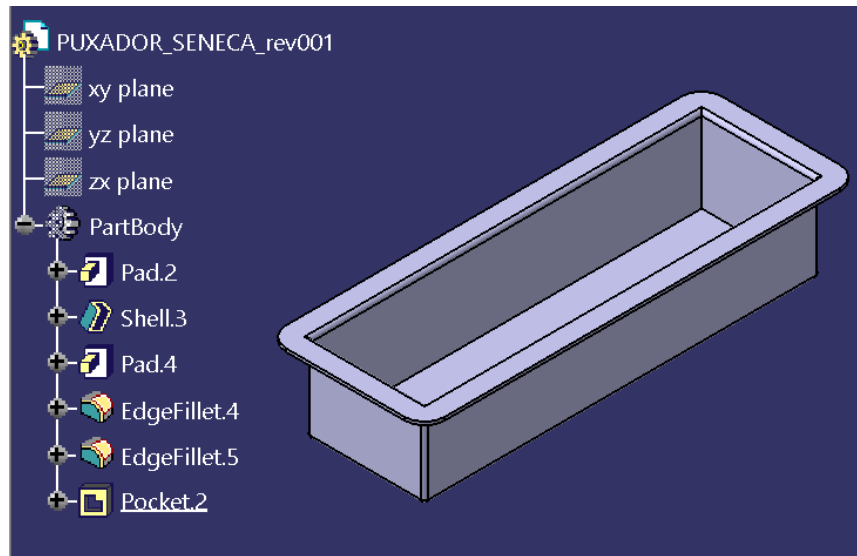
Fonte: Autores (2024).

4.3.2. Puxador da aeronave Seneca III

A Figura 9 apresenta o puxador interno de uma das portas da aeronave Seneca III, juntamente com a árvore de comandos do projeto da peça.

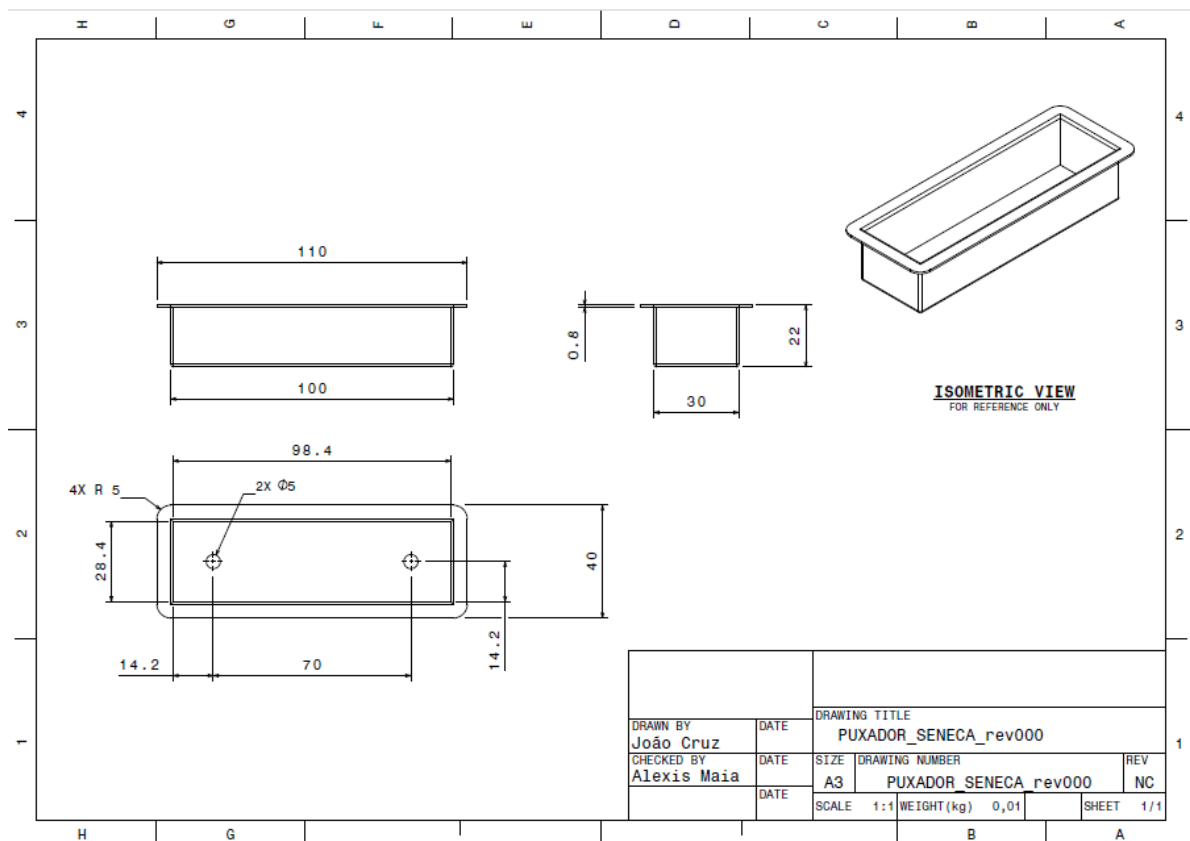
O modelo foi desenvolvido com base nas dimensões extraídas da peça original utilizada na aeronave Seneca III do Aeroclube de São José dos Campos. Utilizando essas medidas, foi elaborado desenho de detalhamento, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 9. Modelo 3D do puxador – aeronave Seneca III.



Fonte: Autores (2024).

Figura 10. Modelo 3D do Puxador – Aeronave Seneca III.



Fonte: Autores (2024).

4.4. Definição dos parâmetros de impressão

A fim de propor a impressão dos componentes, utilizou-se *software* de impressão 3D capaz de realizar o fatiamento digital. A partir do *software*, estimou-se a quantidade de material gasto, além do tempo que levaria o processo de manufatura.

Utilizou-se o *software* Ultimaker Cura 5.8.1 e fez-se necessário adicionar o PEI 9085, devido à ausência na lista de materiais, ademais foi utilizada impressora com parâmetros padronizados. Para adicionar o material, fez-se necessário consultar seu *datasheet*. Os parâmetros de impressão definidos para a manufatura dos dois componentes estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de impressão utilizados.

Ajustes de Impressão	Configuração Adotada
Altura de Camada	0,15 mm
Largura de Extrusão	0,4 mm
Espessura de Parede	0,8 mm
Preenchimento	20%
Velocidade de Impressão	60 mm/s
Diâmetro do bico	0,4 mm
Temperatura de Impressão	350°C
Temperatura da Câmara	75°C
Temperatura da Mesa de Impressão	120°C
Suporte	Habilitado
Distância em Z do Suporte	0,15 mm
Aderência a Mesa	Brim

Fonte: Autores (2024).

4.4.1. Simulação de impressão da trava da bandeja

A partir dos parâmetros definidos e de configurações pré-estabelecidas pelo Ultimaker Cura, realizou-se a simulação da impressão do componente Trava da Bandeja, obtendo os resultados presentes na Tabela 3.

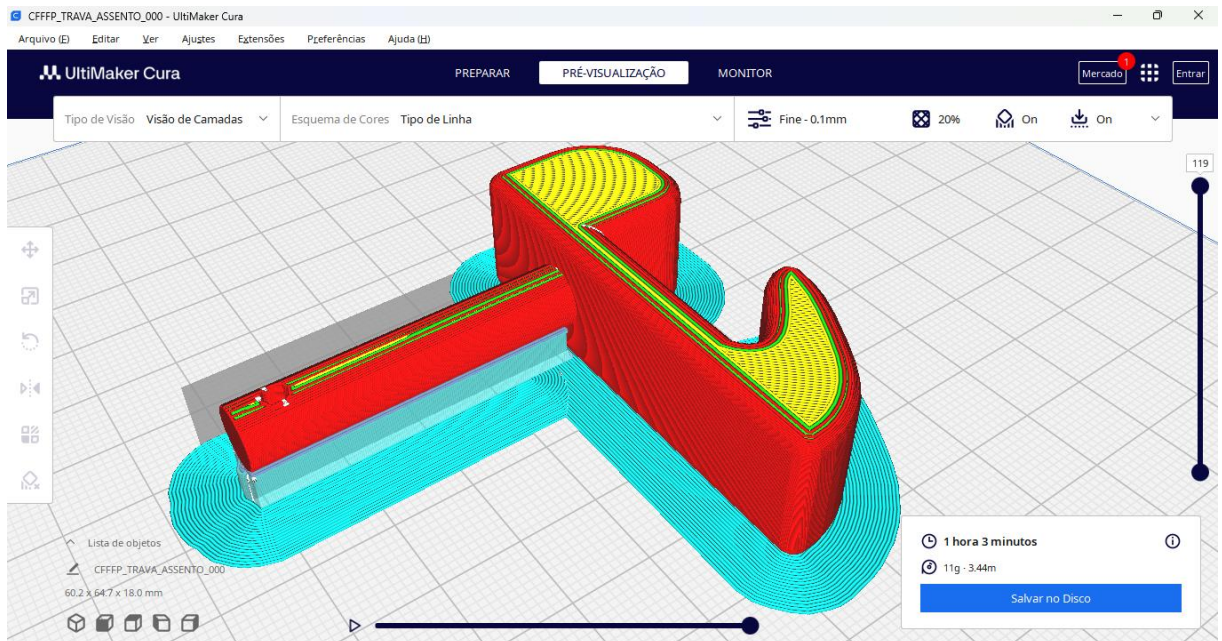
Tabela 3. Resultados Obtidos – Trava da Bandeja.

Quantidade de Camadas	119
Material Utilizado em Peso	11 g
Material Utilizado em Metro	3,44 m
Tempo de Impressão	1h3min

Fonte: Autores (2024).

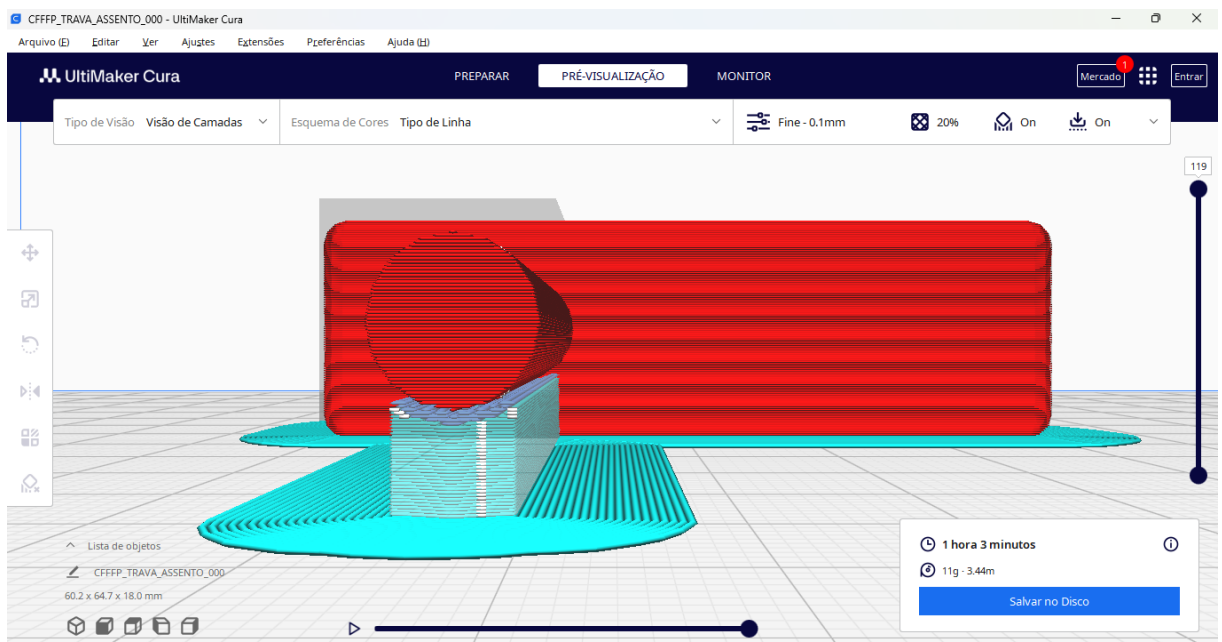
Além dos resultados numéricos, obteve-se também a representação visual do componente impresso. As Figuras 11 e 12 representam as vistas 3D e lateral esquerda, respectivamente.

Figura 11. Vista 3D da trava.



Fonte: Autores (2024).

Figura 12. Vista lateral esquerda da trava.

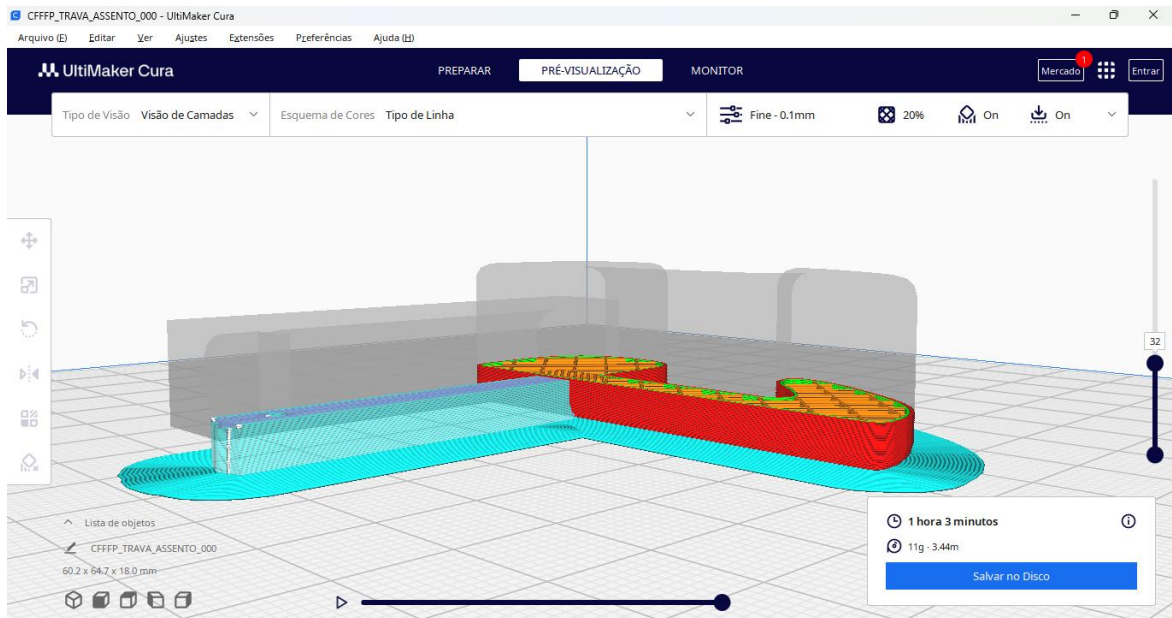


Fonte: Autores (2024).

A Figura 13 traz a representação da vista 3D enquanto a impressão estava na camada 32, a última camada antes de ter início o processo de impressão do pino. Devido a

posição do pino com relação à plataforma de impressão, fez-se necessário colocar suporte em todo o corpo do elemento, a fim de garantir a estabilidade no momento da impressão. Esse suporte possui densidade de 15% e é representado pela cor azul claro.

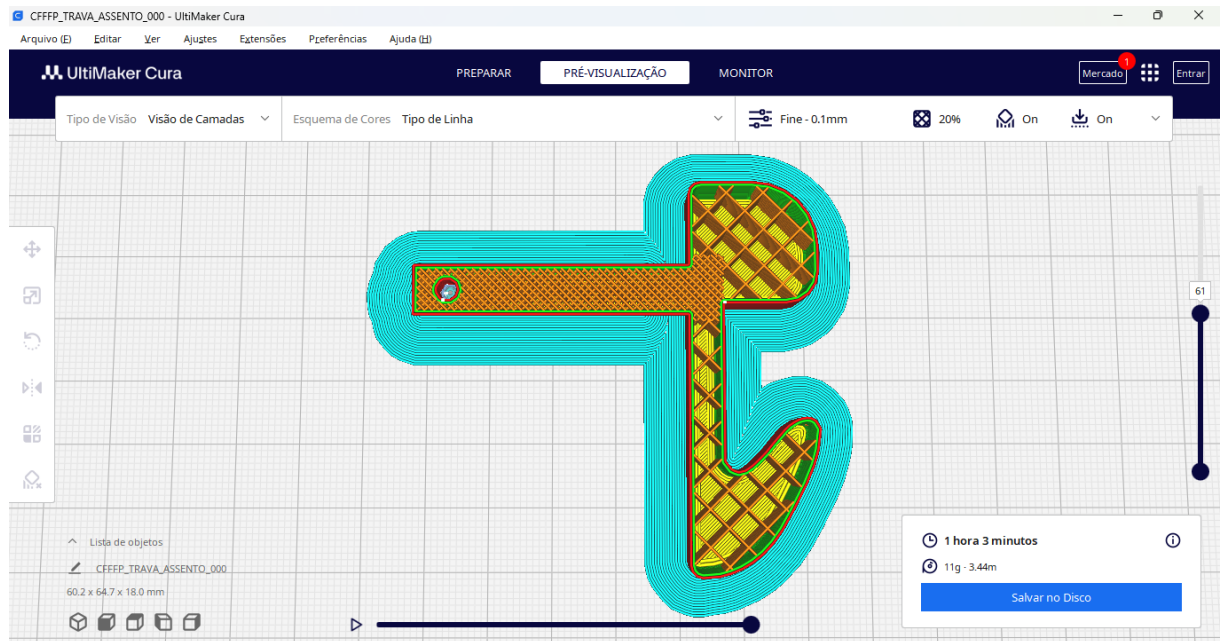
Figura 13. Vista 3D em corte com suporte do pino.



Fonte: Autores (2024).

Ademais, a Figura 14 representa o preenchimento do componente. Esse preenchimento foi reforçado no encontro do corpo da peça com o pino, o que pode proporcionar melhorias significativas na resistência mecânica do pino. O retângulo utilizado possui 50% de preenchimento e as seguintes dimensões: 10 mm de largura, 10 mm de altura e 50 mm de comprimento.

Figura 14. Vista superior em corte com detalhamento do preenchimento.



Fonte: Autores (2024).

4.4.2. Simulação de impressão do puxador

A partir dos parâmetros definidos e de configurações pré-estabelecidas pelo Ultimaker Cura, realizou-se a simulação da impressão do componente Puxador – Aeronave Seneca III, obtendo os resultados presentes na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados Obtidos – Puxador - Aeronave Seneca III.

Quantidade de Camadas	139
Material Utilizado em Peso	20 g
Material Utilizado em Metro	6,29 m
Tempo de Impressão	2h0min

Fonte: Autores (2024).

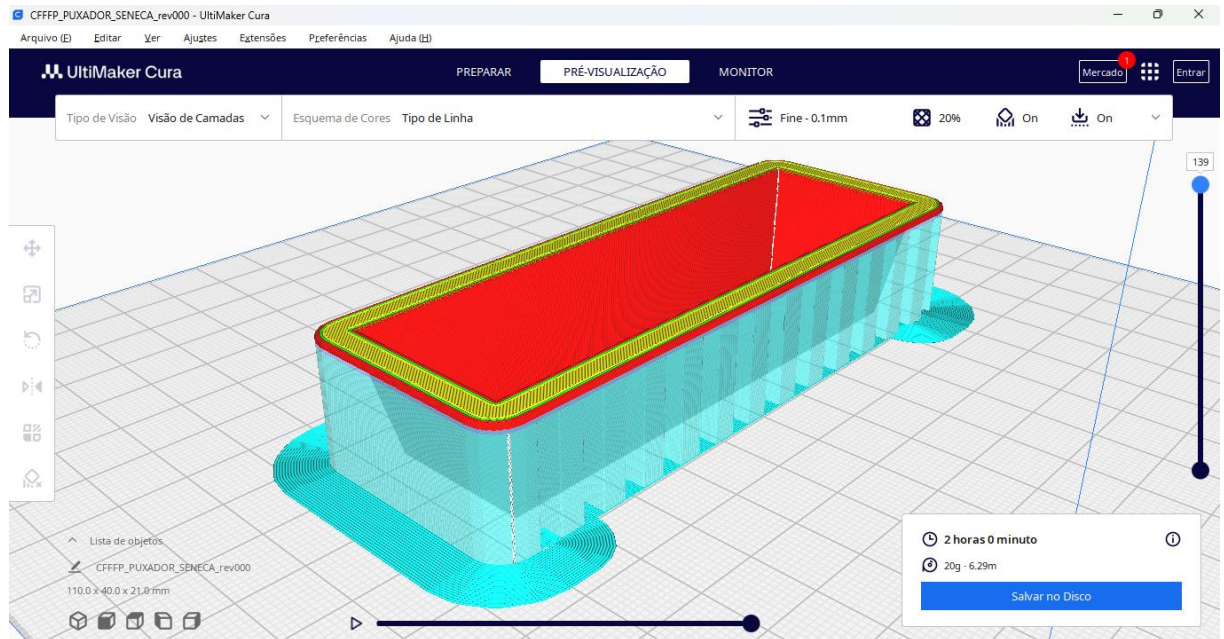
Os resultados obtidos fornecem entendimento sobre a relação entre o tamanho da peça impressa e o volume de material gasto, além de influenciar no tempo e poder influenciar também no número de camadas, a depender de como a peça foi disposta para ser impressa.

Para a impressão do puxador, devido às bordas superiores estarem em ângulo maior que 45° com relação à plataforma de impressão, utilizou-se de suporte desde a base para garantir que a impressão das bordas seria bem apoiada e que não haveria risco de depositar

material no ar. Esse suporte possui densidade de 15% e está representado no *software* pela cor azul claro.

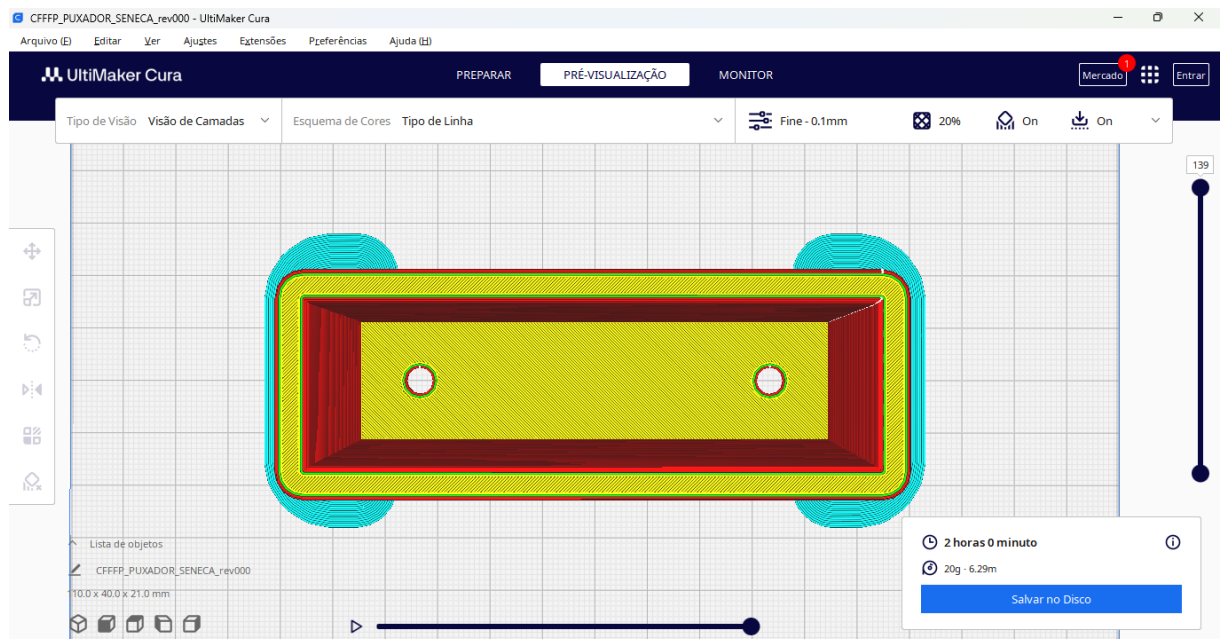
As Figuras 15 e 16 representam, respectivamente, as vistas 3D e superior do puxador.

Figura 15. Vista 3D do puxador.



Fonte: Autores (2024).

Figura 16. Vista superior do puxador.



Fonte: Autores (2024).

4.5. Conformidade com os requisitos

Em consonância com os requisitos exigidos pela autoridade regulamentadora da aviação civil no Brasil, a ANAC, espera-se que componentes impressos atendam a determinadas características envolvendo suas propriedades e comportamentos.

Com vistas ao atendimento do requisito de resistência ao fogo e à queima (RBAC § 25.853), o material proposto possui característica retardante de chamas e propriedade de extinção de fumaça quando submetido à queima, emitindo gases de baixa toxicidade.

O material possui característica de suportar altas temperaturas (FIGUEIREDO, 2021), tornando-o apropriado no que diz respeito ao requisito da RBAC § 25.609, sobre proteção contra deterioração e resistência às temperaturas elevadas.

Quanto ao requisito sobre material (RBAC § 25.603), em que são pautadas a aprovação do material utilizado e comportamento em caso de falha, o material utilizado no estudo é aprovado pela FAA, o que o caracteriza como apropriado para ser aplicado no estudo.

Além do exposto nos parágrafos anteriores, ressalta-se a necessidade de realizar ensaios e cálculos, os quais devem corroborar para que os componentes estejam de acordo com os requisitos de aeronavegabilidade. Em adição, atestar por meio de ensaios e relatórios de inspeções que as peças estão em conformidade com o projeto aprovado e em conformidade com os processos de: fabricação, construção e montagem, estipulados no projeto, como dista o parágrafo da RBAC § 21.303.

Em suma, o emprego do material ULTEM atende aos requisitos apresentados tanto nesse item como no item 2.4, “Requisitos necessários aos componentes de manufatura aditiva”, os quais são fundamentais para o processo de certificação de novos componentes.

4.6. Pós-processamento

Para assegurar um aspecto estético agradável, a peça impressa deve ser submetida a processos de pós-impressão (INTAMSYS, 2021). Como proposta para melhorar o acabamento superficial do ULTEM, recomenda-se realizar um processo de lixamento utilizando lixas de alta granulação, com o objetivo de proporcionar uma superfície mais limpa e uniforme (DO AS I DO, 2024). Ao analisar o puxador e a trava do assento, observa-se que há regiões onde o lixamento manual se torna inacessível, sendo recomendada a utilização de uma lixadeira elétrica de ponta fina.

Após essa etapa, é necessário aplicar um primer de preenchimento para nivelar as pequenas saliências remanescentes e, por fim, realizar a pintura da peça, seguindo a cor especificada para o interior da aeronave.

4.7. Viabilidade da manufatura aditiva

Conforme mencionado no item 2.7, “Vantagens e limitações da impressão tridimensional”, a manufatura aditiva apresenta uma série de benefícios no campo da fabricação. Destaca-se, principalmente, pela liberdade geométrica proporcionada, permitindo a criação de peças com formas e perfis complexos que seriam inviáveis ou muito custosos de fabricar com métodos convencionais. Além disso, elimina a necessidade de moldes e ferramentas específicas, comuns em outros processos de fabricação, o que resulta em uma redução significativa nos custos e no tempo de produção, especialmente para peças personalizadas ou de baixa demanda. A flexibilidade no *design* também possibilita a otimização topológica, reduzindo o peso das peças sem comprometer significativamente a resistência estrutural, o que é particularmente vantajoso para aplicações na indústria aeroespacial.

Cabe destacar, ainda, que a manufatura aditiva desempenha um papel estratégico para o setor de gestão e planejamento de estoque, ao otimizar a configuração da cadeia de suprimentos de forma ágil e eficiente. Essa tecnologia enfrenta com êxito os desafios da gestão aeronáutica como: a redução dos níveis de estoque, o atendimento à demanda comercial e a diminuição dos custos logísticos relacionados ao transporte. Como também, a superar os longos prazos de aquisição de peças junto aos fabricantes originais, os riscos associados a possíveis falhas de fabricação e o significativo bloqueio de capital, decorrente do estoque excessivo (RIBEIRO et al., 2022; SINGAMNENI et al., 2019).

Portanto, a impressão 3D emerge como uma solução viável para a produção de peças de interiores na indústria aeronáutica, abordando os principais desafios enfrentados nesse setor, conforme discutido no item 1, "Introdução". A flexibilidade e agilidade proporcionadas pela tecnologia tornam-na uma alternativa eficiente para melhorar a gestão de estoques e suprimentos, contribuindo para a redução de custos e a otimização dos processos de fabricação e logística.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi realizado um estudo focado sobre a aplicação da manufatura aditiva em componentes de interiores de aeronaves, com foco na tecnologia de impressão 3D no setor aeronáutico. Foram explorados diversos aspectos, incluindo os requisitos de certificação para componentes aeronáuticos, a viabilidade de aplicação em peças de interiores, o desenvolvimento de modelos tridimensionais, a simulação de impressão em *software* especializado e a análise de viabilidade de fabricação para empresas de manutenção de componentes de interiores de aeronaves.

Para os componentes utilizados no interior da cabine, fabricados a partir de materiais poliméricos certificados, existem diversas formas de produção, como o processo de injeção ou a manufatura aditiva. Contudo, ao comparar a manufatura aditiva com o processo de injeção, no que diz respeito aos custos, a primeira torna-se mais viável em casos de baixa escala produtiva (TEIXEIRA, 2021). Dessa forma, atende de maneira mais eficiente às solicitações imprevisíveis de demanda por componentes internos da aeronave.

A manufatura aditiva se mostra uma alternativa promissora para empresas que buscam otimizar a produção de peças, especialmente em setores como o aeroespacial e de manufatura avançada. A comparação entre a fabricação interna de componentes, utilizando tecnologias como a impressão 3D, e a compra de peças de fornecedores, revelou diversas vantagens. Entre os principais benefícios, destacam-se a redução dos custos com estoque e a possibilidade de fabricação sob demanda, eliminando a necessidade de manter grandes quantidades de peças armazenadas. Dessa forma, a manufatura aditiva se apresenta como uma solução promissora para os desafios do setor de logística de peças aeronáuticas.

No entanto, alguns obstáculos ainda limitam a adoção mais ampla da manufatura aditiva. Apesar dos avanços tecnológicos, há resistência significativa em incorporá-la aos métodos de produção tradicionais, em parte devido à necessidade de maquinário especializado e materiais certificados que atendam aos requisitos rigorosos para a fabricação de componentes aeronáuticos.

A análise de materiais certificados para manufatura aditiva na indústria aeronáutica evidenciou que o número de opções disponíveis ainda é limitado, o que reflete a baixa adoção dessa tecnologia nos polos de manutenção e reposição de peças. Ainda, existem alguns filamentos poliméricos certificados pelas autoridades regulamentadoras, e entre eles dois se destacam: o ULTEM (PEI 9085) e o PEEK. Conforme a literatura consultada, o polímero PEI 9085 apresentou vantagens para aplicações em peças de interiores de

aeronaves, pois possui maior facilidade de processamento, apesar de suas propriedades mecânicas serem inferiores quando comparadas ao PEEK. Ainda, os custos de aquisição do ULTEM (PEI 9085) são inferiores quando comparados ao custo do PEEK, representando cerca de 30% do custo do material concorrente.

A certificação, por sua vez, é um fator crucial, pois exige que os componentes cumpram os regulamentos de aviação do país onde serão utilizados. Para peças de interiores sem função estrutural crítica, como as propostas neste trabalho, os requisitos de certificação estão focados principalmente nas propriedades dos materiais empregados.

Como parte deste trabalho, foram definidas duas peças de interiores de aeronaves: a trava da mesa-bandeja do assento e o puxador da porta. A escolha desses componentes deve-se ao fato de serem peças de uso comum pelos passageiros e frequentemente sujeitas a substituição. Esses componentes integram a categoria de estruturas secundárias, pois não estão sujeitos a grandes esforços estruturais, sendo, portanto, classificados como peças de acabamento e representando excelentes oportunidades para a aplicação da manufatura aditiva.

Com a simulação da impressão realizada no *software* Ultimaker Cura, foi possível estimar que o tempo de produção de cada peça não ultrapassaria 2 horas, fator crucial para empresas do ramo aeronáutico, visto que o setor busca mitigar tempo demais das aeronaves em manutenção. A estimativa de tempo agregada à simulação também permite observar a otimização logística do processo de reposição de peças, ao passo que as empresas de manutenção de aeronaves despendem de custo e tempo, devido ao oneroso processo de aquisição das peças de reposição.

No entanto, à medida que o uso da manufatura aditiva se expande, espera-se que mais materiais sejam certificados, o que tornará a tecnologia mais acessível e vantajosa em termos de custo-benefício. Embora o investimento inicial para a implementação desse método de fabricação seja alto, esses custos tendem a se diluir ao longo do tempo, com cada peça produzida resultando em economias significativas em comparação aos métodos tradicionais e à dependência de fornecedores.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos acadêmicos futuros, sugerem-se as seguintes propostas:

- Aos alunos do curso de Projeto de Estruturas Aeronáuticas: realizar análise por elementos finitos dos componentes fabricados por manufatura aditiva, avaliando a resistência mecânica de cada peça em função da variação do preenchimento interno;
- Aos alunos do curso de Logística: conduzir um estudo da cadeia logística das peças manufaturadas, comparando o tempo de produção pela manufatura aditiva com a aquisição direta de fornecedores;
- Aos alunos do curso de Logística: analisar a viabilidade econômica que a manufatura aditiva pode trazer para empresas que aplicam esse método de fabricação ao invés da compra direta dos fabricantes originais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3BE SHOP. **Filamento Intamsys ULTEM 9085 1.75mm (rolo de 500gr) - Black Friday (2024a)**. Disponível em: <https://www.3beshop.com.br/filamento-intamsys-ultem-9085-1.75mm-rolo-de-500gr>. Acesso em: 08/12/2024.

3BE SHOP. **Filamento Intamsys PEEK + CF 1,75mm (rolo de 500gr) - Black Friday (2024b)**. Disponível em: <https://www.3beshop.com.br/cyfrv1f9b-filamento-intamsys-peek-175mm-500gr>. Acesso em: 08/12/2024.

AERO JR. **Aeronavegabilidade (2020)**. UFMG. Disponível em: <https://aerojr.com/blog/aeronavegabilidade/> Acesso em: 21/05/2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **RBAC 21.1: 2024: Certificação de produto e artigo aeronáuticos**. Brasília, 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **RBAC 21.9: 2024: Certificação de produto e artigo aeronáuticos**. Brasília, 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **RBAC 21.303: 2024: Certificação de produto e artigo aeronáuticos**. Brasília, 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **RBAC 25: 2022: Requisitos de Aeronavegabilidade: Aviões Categoria Transporte**. Brasília, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **RBAC 43.13: 2022: Manutenção, manutenção preventiva, reconstrução e alteração**. Brasília, 2022.

ALCALDE, E. e WILTGEN, F. Prototipagem rápida aditiva aplicada em dispositivos funcionais de auxílio humano, *Manufatura Aditiva e Prototipagem Rápida*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2019, Salvador. **Anais...** São Carlos, 2019. 7f.

ALFATTNI, R. Comprehensive study on materials used in different types of additive manufacturing and their applications. **International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences**. Vol. 7. n. 1, p. 92-114, 2021.

ALMEIDA, J. F. de; RIOS, G. A. B. de Los; CARPINETTI, L. C. R.; COELHO, R. T. Comparação e ordenação de preferência entre os processos de manufatura aditiva (MA) e usinagem convencional para a fabricação de peças aeronáuticas usando método fuzzy topsis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2021, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2021. 8f.

ALMEIDA, S. M. C. de. **Estudo sobre Perspectiva de Aplicação de Tecnologia de Manufatura Aditiva ao Setor Aeronáutico**. 2017. 117p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **F2792-12a: 2015: Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies**. West Conshohocken, 2013.

AMS BRASIL. **Conheça os principais métodos de pós-processamento e suas diferenças em processos de manufatura aditiva metálica (2020)**. Disponível em: <https://amsbrasil.com.br/conheca-os-principais-metodos-de-pos-processamento-e-suas-diferencas-em-processos-de-manufatura-aditiva-metalica/#:~:text=O%20p%C3%B3s%20processamento%20e%2C%20principalmente,M290%20com%20EOS%20StainlessSteel%20316L> Acesso em: 28/10/2024.

AMS BRASIL. **Manufatura Aditiva no setor aeroespacial: Produza peças de alta tecnologia com eficiência e sustentabilidade (2021)**. Disponível em: <https://amsbrasil.com.br/manufatura-aditiva-no-setor-aeroespacial-produza-pecas-de-alta-tecnologia-com-eficiencia-e-sustentabilidade/> Acesso em: 12/05/2024.

AMS BRASIL. **Manufatura Aditiva: como a tecnologia está mudando a indústria (2022)**. Disponível em: <https://amsbrasil.com.br/manufatura-aditiva-como-a-tecnologia-esta-mudando-a-industria/> Acesso em: 13/05/2024.

MADEARIA. **Moldagem por injeção 101: Processos, tipos, vantagens e desvantagens (2024)**. Disponível em: <https://www.madearia.com/pt/blog/plastic-injection-molding/>. Acesso em: 08/12/2024.

BARBOSA, L.S.; CALVÃO, P.S. Desenvolvimento de molde para a injeção de polímeros termoplásticos. SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, DIDÁTICA E DE AÇÕES SOCIAIS DA FEI, 10., 2020. São Bernardo do Campo, p.1-2, jul. 2020.

BARBOSA, F. A.; VELÁSQUEZ, D. R. T.; HELLENO, A. L. e VIEIRA, M. Vantagens e desafios da manufatura híbrida - integrando manufatura aditiva e subtrativa. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2019, Santos. **Anais...** Santos, 2019. 18f.

BARCZEWSKI, B. F.; JUNQUEIRA, L. A.; RAPOSO, F. J.; BRANDÃO, M. A. F.; RAPOSO, N. R. B. **Aplicações da manufatura aditiva em oftalmologia**. Rev. bras.oftalmol. [online]. 2022, vol. 81, [cited 2024-05-13], e0052. Available from: <<https://www.rbojournal.org/article/aplicacoes-da-manufatura-aditiva-em-oftalmologia/>>. ISSN 003417-7280.

CAMARGO, G. M. **Processo de certificação aeronáutica civil brasileira: Estudo dos impactos na competitividade na indústria nacional**. 2017. 124f. Dissertação (Mestrado em Ciência, tecnologia e sociedade) – UFSCAR – Universidade Federal de São-Carlos, 2017.

COMO OCULTAR LINHAS DE CAMADA EM IMPRESSÕES 3D. Peças PLA impressas em 3D suaves. Vídeo. 8min22s. Publicado pelo canal Do as I Do. 23 jun. 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ADXFMJ4H5Io>. Acesso em: 07/10/2024.

CHUANG, K.C.; GRADY, J. E.; DRAPER, R. D.; SHIN, E.E.; PATTERSON, C. e SANTELLE, T.D. **Additive Manufacturing and Characterization of Ultem Polymers and Composites**. In: The Composites and Advanced Materials Expo CAMX, 2015, Dallas. Dallas, 2015, 12p.

DUARTE, S. **Aprovação TSO e PMA.** 2020. Disponível em: <https://engenhariaaeronautica.com.br/curiosidades-engenharia-aeronautica/aprovacoes-tso-e-pma/>. Acesso em: 21/05/2024.

ELETOBRAS FURNAS. **Manufatura Aditiva de Sobressalentes.** Disponível em: <https://www.furnas.com.br/subsecao/284/manufatura-aditiva-de-sobressalentes?culture=pt>. Acesso em: 17/05/2024.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **AC 43-18: 2006: Fabrication of Aircraft parts by Maintenance Personnel.** Washington, D.C., 2006.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **AC 25.853-1: 1986: Flammability Requirements for Aircraft Seat Cushions.** Washington, D.C., 1986.

FIGUEIREDO, M. **ULTEM (PEI): tudo o que você precisa saber.** Manufatura digital (2021). Disponível em: <https://www.manufaturadigital.com/ultem-tudo-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 05/09/2024.

FREEPIK. **Close up plastic food tray on airplane.** Disponível em: https://www.freepik.com/premium-photo/close-up-plastic-food-tray-airplane_32135181.htm. Acesso em: 26/09/2024.

HANGAR MMA. **Qual a diferença de estrutura primária e secundária de uma aeronave?** Disponível em: <https://hangarmma.com.br/blog/estrutura-primaria-e-secundaria-de-uma-aeronave/>. Acesso em: 06/09/2024.

INTAMSYS. **Requerimentos para Impressão de PEEK e ULTEM (2020).** Disponível em: <https://intamsys.com.br/requerimentos-para-impressao-de-peek-e-ultem/>. Acesso em: 08/09/2024a.

INTAMSYS. **PEI 9085.** Disponível em: <https://www.intamsys.com/materials/pei9085>. Acesso em: 05/10/2024b.

INTAMSYS. **PEEK.** Disponível em: <https://www.intamsys.com/materials/peek>. Acesso em: 05/10/2024c.

IRIGON, A. D. e ABRAHÃO, F. T. M. Previsão de demanda influenciada pela operação e alocação personalizada de estoque. **SIGE**, São José dos Campos, set. 2019. ISSN 1983-7402.

KARAPATIS, N.P.; VAN GRIETHUYSEN, J.P.S. e GLARDON, R. Direct rapid tooling: a review of current research, **Rapid Prototyping Journal**, Vol. 4, n. 2, p. 77-89, 1998.

LWT SISTEMAS. **A expansão da manufatura aditiva com peças de múltiplos materiais.** Disponível em: <https://www.lwtsistemas.com.br/2020/11/25/expansao-da-manufatura-aditiva-com-pecas-de-multiplos-materiais/>. Acesso em: 14/05/2024.

LWT SISTEMAS. **Como escolher uma tecnologia na Manufatura Aditiva.** Disponível em: <https://www.lwtsistemas.com.br/2023/07/28/como-escolher-uma-impressora-3d/>. Acesso em: 06/09/2024.

MAHA 3D. Material extrusion: o que é e como funciona?. Disponível em: <https://maha3d.com/material-extrusion-o-que-e-e-como-funciona/>. Acesso em: 06/10/2024.

MALAS, A. e MOROZ, G. **Como a manufatura aditiva está remodelando a indústria automobilística**. Industrial Heating Brasil. Bridgewater, New Jersey, EUA: SF Editora Revistas Técnicas, 2018.

MANOGHARAN, G.; WYSK, R.; HARRYSSON, O. e AMAN, R. AIMS- a Metal Additive-Hybrid Manufacturing System: System Architecture and Attributes. **Proceedings of the North American Manufacturing Research Institution os SME**. Vol. 1, p. 273-286, Jun. 2015.

MANUFACTURING BEST PRACTICES. **Federal Aviation Administration**. Disponível em: https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/production_approvals/mfg_best_practice. Acesso em: 21/05/2024.

MANRIQUE, E.; AHMADI, M.; SAMANI, S. HISTORICAL AND RECENT OBSERVATIONS IN POLYMER FLOODS: AN UPDATE REVIEW. **Journal Ciencia, tecnología y futuro**. Colorado, p. 17-47. jun. 2017.

MORONI, M. A. **Serviços de manutenção aeronáutica como unidade de negócios: um modelo de gestão baseado num sistema de indicadores de desempenho**. 2003. 198 f. Dissertação (Mestrado Profissional) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MOSTAFAEI, A.; ELLIOTT, A. M.; BARNES, J. E.; LI, F.; TAN, W.; CRAMER, C. L.; NANDWANA, P. e CHMIELUS, M. Binder jet 3D printing—Process parameters, materials, properties, modeling, and challenges. **Progress in Materials Science**. V. 119, p. 1-138, Jun. 2021.

MOUSTA. **Descubra tudo sobre a impressão 3D com esse guia nível básico completo!** (2024). Disponível em: <https://www.mousta.com.br/author/mousta/>. Acesso em: 21/05/2024.

MUNDO DO PLÁSTICO. **Defeitos mais comuns em peças injetadas e como resolver (2024)**. Disponível em: <https://mundodoplastico.plasticobrasil.com.br/artigos/defeitos-mais-comuns-em-pecas-injetadas-e-como-resolver/>. Acesso em: 07/12/2024.

OLIVEIRA, M. M. E. P. e SILVA, R. M. R. da. **Gestão de Estoque, 2014**. Disponível em: <https://portalidea.com.br/cursos/dce3372185d4fb07e9abc6b854e0baf3.pdf>. Acessado em: 03/04/2024.

PLASTIBRAS. **Injeção de Plásticos: Como funciona processo de injeção plástico (2022)**. Disponível: <https://www.plastibras.com.br/injecao-de-plasticos-como-funciona-processo-injecao-plastica/>. Acesso em: 06/12/2024.

PLASTPLEX SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. Peek. Disponível em: <https://www.plastplex.com.br/produto/plasticos-1/peek>. Acesso em: 17/09/2024.

PRIMO INDUSTRIAL. **Injeção plástica: Conheça o processo de injeção do plástico (2024)**. Disponível em: <https://www.primoindustrial.com.br/injecao-plastica-conheca-o-processo-de-injecao-do-plastico#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20uma%20inje%C3%A7%C3%A3o,as%20dimens%C3%B5es%20e%20tamanhos%20desejados>. Acesso em: 07/12/2024.

QIDI TECH. **Quanto custa uma impressão 3D?** (2024). Disponível em: <https://qidi3d.com/pt/blogs/news/guia-de-precos-de-impressoras-3d>. Acesso em: 16/05/2024.

REMOVING SUPPORT MATERIAL OUT OF ULTEM 9085 HAS NEVER BEEN SO EASY. Vídeo. 1min34s. Publicado pelo canal INTAMSYS. 04 nov. 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=v-91kqv3sCU>. Acesso em: 07/10/2024.

RIBEIRO, H. V.; RIBEIRO J. C. L.; SIQUEIRA, M. A.; GALIS JUNIOR, O.; PINTO, R. C. e SOARES, R. M. Manufatura aditiva: encurtar a cadeia logística, fornecendo peças de reposição automotivas. 2022. 90 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Negócio)** - Fundação Dom Cabral; Instituto de Transporte e Logística, São Paulo, 2022.

RINALDI, M.; CECCHINI, F.; PIGLIARU, L.; GHIDINI, T.; LUMACA, F. e NANNI, F. Additive Manufacturing of Polyether Ether Ketone (PEEK) for Space Applications: A Nanosat Polymeric Structure. *Polymers*. **Polymers**, Vol. 13, p. 1-16, 2021.

RODRIGUES, V. P., ZANCUL, E. de S., MANÇANARES, C. G., GIORDANO, C. M., e SALERNO, M. S. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. **Revista Gestão Da Produção Operações E Sistemas**. Vol. 12, n. 3, p. 1-34. ISSN 1984-2430, Set. 2017.

SHAH RUBUDIN, N.; LEE, T. C. e RAMLAN, R. An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing, 2019, Sun City. **Anais...** Sun City, 2019. 11f.

SHI, G.; GUAN, C.; QUAN, D.; WU, D.; TANG, L. e GAO, T. An aerospace bracket designed by thermo-elastic topology optimization and manufactured by additive manufacturing. **Chinese Journal of Aeronautics**. Vol. 33, n. 4, p. 1252-1259, Abr. 2020.

SINGAMNENI, S.; LV, Y.; HEWITT, A.; CHALK, R.; THOMAS, W. e JORDISON, D. Additive Manufacturing for the Aircraft Industry: A Review. **Journal Of Aeronautics & Aerospace Engineering**. Auckland, Vol.8, p. 1-13. fev. 2019.

SILVA, A. L. F.; FEITOSA, A. D.; ALBUQUERQUE, R. M. e XAVIER, A. da S. Manufatura aditiva: caracterização e comparação com os processos de produção existentes. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2019, Maceió. **Anais...** Maceió, 2018. 9f.

SOFEMA AVIATION SERVICES. **What is the difference between FAA Parts Manufacturing Approval (PMA) Parts and FAA Supplemental Type certificate (STC) Parts?** (2018) Disponível em: <https://sassofia.com/blog/what-is-the-difference->

between-faa-parts-manufacturing-approval-pma-parts-and-faa-supplemental-type-certificate-stc-parts/ Acesso em: 21/05/2024.

SOUZA, L. e BUENO, M. J. C. Estudo e proposta de redução de estoques em uma empresa fabricante de peças automotivas. In: FATECLOG, 10., 2019, Guarulhos. **Anais [...]**. Guarulhos: CPS, 2019. p. 1-10.

SOUZA, A. F. e BONETTI, I. **Estudo do contato ferramenta-peça no fresamento de formas geométricas complexas para fabricação de moldes e matrizes**. Disponível em: <http://moldesinjecao plasticos.com.br/estudo-do-contato-ferramenta-peca-no-fresamento-de-formas-geometricas-complexas-para-a-fabricacao-de-moldes-e-matrizes/> Acesso em: 13/05/2024.

TEAM RAPID. **Vantagens da moldagem por injeção e suas desvantagens (2024)**. Disponível em: <https://www.teamrapidtooling.com/pt/vantagens-e-desvantagens-da-moldagem-por-inje%C3%A7%C3%A3o-a-492.html>. Acesso em: 08/12/2024.

TEIXEIRA, M. V. B. Análise comparativa na produção de peças plásticas por injeção em moldes e em impressão 3D. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, Paraná, 2021.

UP 3D. **Filamento Intamsys ULTEM 9085 (2024)**. Disponível em: <https://www.up3dbrasil.com.br/produtos/filamento-ultem-9085-intamsys-500g-ou-1kg/>. Acesso em: 28/10/2024.

VIA. **Métodos de impressão 3D: mecanismos e características (2019)**. Disponível em: <https://via.ufsc.br/metodos-de-impressao-3d/> Acesso em: 05/05/2024.

VOLPATO, N. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. Curitiba: Editora Blucher, 2021.

WILTGEN, F. Manufatura aditiva em metais – leve, forte e inovador. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. Ponta Grossa, Vol. 13, n. 2, p. 47-58, Jun. 2021.

WILTGEN, F. e LOPES M. Manufatura aditiva e subtrativa na construção de moldes mecânicos híbridos para aplicação em manufatura formativa. **Revista de Tecnologias (RETEC)**. Vol. 15, n. 1. p. 45-63, Jan.-Jun. 2022.

WILTGEN, F. Protótipos e prototipagem rápida aditiva - sua importância no auxílio do desenvolvimento científico e tecnológico. **Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**. São Carlos, p. 1-6, Ago. 2019.