

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

CÍCERO VICTOR LINS DE SOUZA

**ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DE MANUFATURA ADITIVA PARA A
DIMINUIÇÃO DE PARADAS DE MÁQUINA EM UMA ESTEIRA
TRANSPORTADORA DE APARELHOS DE BARBEAR.**

MANAUS

2021

CÍCERO VICTOR LINS DE SOUZA

**ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DE MANUFATURA ADITIVA PARA A
DIMINUIÇÃO DE PARADAS DE MÁQUINA EM UMA ESTEIRA
TRANSPORTADORA DE APARELHOS DE BARBEAR.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Mecânica pela
Universidade do Estado do Amazonas.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Claudio Kieling

MANAUS

2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

S729e Souza, Cícero Victor Lins de

Estudo sobre a Aplicação de Manufatura Aditiva para a diminuição de paradas pe Máquina em uma esteira transportadora de aparelhos de barbear/ Cícero Victor Lins de Souza. Manaus : [s.n], 2021.

60f.: color.; 29cm.

TCC – Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2021.

Inclui bibliografia

Orientador: Kieling, Antonio Claudio

1.Manufatura aditiva. 2. Impressão 3D. Manutenção industrial. I. Kieling, Antonio Claudio (Oriente.). II. Universidade do estado do Amazonas. III Estudo sobre a Aplicação de Manufatura Aditiva para a diminuição de paradas pe Máquina em uma esteira transportadora de aparelhos de barbear.

CÍCERO VICTOR LINS DE SOUZA

**ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DE MANUFATURA ADITIVA PARA A
DIMINUIÇÃO DE PARADAS DE MÁQUINA EM UMA ESTEIRA
TRANSPORTADORA DE APARELHOS DE BARBEAR.**

Este Trabalho de Curso foi considerado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e aprovado em sua forma final pela comissão examinadora.

Manaus, 18 de Dezembro de 2021.

Banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Antonio Claudio Kieling

Prof. Dr. Gilberto Garcia del Pino

Prof. Aristides Rivera Torres

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, pela vida e por ter me sustentado até aqui através da sua Palavra e das bênçãos concedidas.

À minha mãe, ao meu pai e ao meu padrasto por terem me

apoiado durante toda minha trajetória, sendo meu pilar de sustentação nos momentos adversos, sempre com amor e atenção..

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois a Ele deve ser atribuída toda honra e toda glória, que me deu condições de seguir a caminhada até aqui.

A minha família por todo o apoio e compreensão dados para que eu pudesse cumprir esta importante etapa da vida.

Ao Prof. DSc. Antonio Claudio Kieling por todas as lições transmitidas ao longo da graduação, que foram de grande relevância para minha formação acadêmica e profissional, e por ter sido meu orientador neste trabalho.

Aos colegas e amigos conquistados ao longo da graduação, que por muitas vezes me ajudaram e apoiaram até a conclusão do curso.

Aos senhores Vitor Hugo Jacob e Emanuel Campos por terem me ensinado tanto sobre o universo da Manufatura Aditiva e as possibilidades de aplicação.

A todos que de alguma forma contribuíram para meu desenvolvimento acadêmico, pessoal e profissional ao longo desta caminhada.

Deixo aqui minhas palavras de gratidão e bons votos para o futuro.

“Quando abro a porta de uma nova descoberta já encontro Deus lá dentro”

(Albert Einstein)

RESUMO

A Manufatura Aditiva (AM) teve seu uso comercial intensificado nos últimos anos, demonstrando um elevado potencial de mercado. Suas aplicações vão desde a concepção de protótipos, fabricação de jigs e dispositivos para a indústria, educação, saúde até a área da manutenção industrial. Tendo como principais vantagens a redução de tempo e custo de fabricação de objetos de geometria complexa, quebra da cadeia logística para aquisição de peças de reposição, e ampla gama de materiais de uso de engenharia. No trabalho em questão, foram abordados primeiramente os principais processos de impressão 3D, destacando suas características básicas. Em seguida, foi selecionada para estudo uma peça proveniente de uma esteira transportadora de aparelhos de barbear de uma indústria metalmecânica, situada no Polo Industrial de Manaus (PIM), que foi modelada e impressa em 3D para avaliação da qualidade da mesma. Para finalizar, foi feito o estudo comparativo entre a aquisição via importação e a confecção local da peça por AM, avaliando os aspectos qualitativos e quantitativos de ambos. Apesar de o modelo obtido por manufatura aditiva ter conseguido reproduzir a geometria da peça original, entregando redução de custo e tempo para a aquisição das peças, a aplicação de Manufatura Aditiva não atenderia ao caso em específico devido a geometria de uma parte da peça escolhida.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Impressão 3D. Manutenção Industrial.

ABSTRACT

Additive Manufacturing (AM) has had its commercial use intensified in recent years, showing a high market potential. Its applications range goes from designing prototypes, manufacturing jigs and devices for industry, education, healthcare to industrial maintenance area. Its main advantages are time and cost reduction of manufacturing objects with complex geometry, breaking the supply chain for the acquisition of replacement parts, and a wide range of materials for engineering use. In the work in question, the main 3D printing processes were determined, highlighting its basic characteristics. Then, a part from a conveyor belt of equipment from a metal-mechanic industry, located in Polo Industrial de Manaus (PIM), was transferred to the study, which was modeled and printed in 3D to assess the same quality. Finally, a comparative study was carried out between the acquisition via importation and the local production of the piece by AM, evaluating the qualitative and quantitative aspects from both. Although the model done by additive manufacturing has managed to reproduce the geometry of the original part, delivering cost and time reduction for the acquisition of parts, the application of Additive Manufacturing does not fit the specific case due to the geometry of a part from the chosen piece.

Keywords: Additive Manufacturing. 3D printing. Industrial maintenance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 MÉTODO DE BLANTHER PARA A CONSTRUÇÃO DE MAPAS TOPOGRÁFICOS.....	ERROR!
BOOKMARK NOT DEFINED.	
FIGURA 2 PROCESSO DE ESTEREOLITOGRAFIA.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 3 PEÇAS FABRICADAS PELO PROCESSO SL	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 4 PROCESSO DE IMPRESSÃO CLIP	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 5 PROCESSO DE IMPRESSÃO POLYJET	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 6 PROCESSO FDM	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 7 PARÂMETROS NO PROCESSO FDM.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 8 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO PROCESSO SLS	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
DEFINED.	
FIGURA 9 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO PROCESSO DMLS.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
DEFINED.	
FIGURA 10 ESTEIRA TRANSPORTADORA DE APARELHOS DE BARBEAR .	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
DEFINED.	
FIGURA 11 DETALHE DO APARELHO DE BARBEAR SOBRE OS ELOS DA ESTEIRA.....	ERROR!
BOOKMARK NOT DEFINED.	
FIGURA 12 SAÍDA DOS APARELHOS DE BARBEAR PARA A ESTEIRA TRANSPORTADORA	ERROR!
BOOKMARK NOT DEFINED.	
FIGURA 13 PASSAGEM DA ESTEIRA TRANSPORTADORA PARA A ESTEIRA FINAL	ERROR!
BOOKMARK NOT DEFINED.	
FIGURA 14 ELOS DA ESTEIRA TRANSPORTADORA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 15 DETALHE DOS ELOS QUEBRADOS	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 16 SPEC SHEET DO ELO	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 17 MODELO VIRTUAL DO ELO	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 18 CONFIGURAÇÕES BÁSICAS DE IMPRESSÃO	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 19 CONFIGURAÇÃO DE CONTORNOS E PREENCHIMENTO	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
DEFINED.	
FIGURA 20 SIMULAÇÃO DE IMPRESSÃO	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 21 IMPRESSORA S4X	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 22 ESPECIFICAÇÕES DO EQUIPAMENTO	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 23 ROLO DE FILAMENTO DE PLA.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 24 INÍCIO DO PROCESSO DE IMPRESSÃO	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

FIGURA 25 PEÇA IMPRESSA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 26 COTAÇÃO DE IMPRESSÃO LOCAL DE ELOS	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 27 COTAÇÃO COMERCIAL DOS ELOS	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 28 DETALHE DOS DENTES	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.9
FIGURA 29 DETALHE DA PARTE INFERIOR.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.0

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 PRODUÇÃO DE PARTES FEITAS POR AM DE FORNECEDORES INDEPENDENTES ..**ERROR!**

BOOKMARK NOT DEFINED.

TABELA 2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PROCESSO FDM **ERROR! BOOKMARK NOT**

DEFINED.

TABELA 3 IMPORTAÇÃO DE PEÇAS X MANUFATURA ADITIVA..... **ERROR! BOOKMARK NOT**

DEFINED.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional
ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
AM	Manufatura Aditiva
CAD	Computer-aided Design
CLIP	Produção contínua com interface líquida
FDM	Modelagem por fusão e deposição
FFF	Fused Filament Fabrication
MTBF	Tempo Médio entre Falhas
MTTR	Tempo Médio para Reparação
PIM	Polo Industrial de Manaus
PLA	Poliácido Láctico
RP	Prototipagem Rápida
SLA	Stereolitografy Apparatus
SL	Estereolitografia
SLS	Sinterização seletiva a laser
STL	STereoLithography Format
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	02
1.1.1 Hipóteses	03
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	03
1.3 OBJETIVOS	04
1.3.1 Objetivo Geral.....	04
1.3.2 Objetivos Específicos	04
1.3.3 Justificativa.....	05
2. REFERENCIAL TEÓRICO	06
2.1 HISTÓRICO E DESENVOLVIMENTO.....	06
2.2. PROCESSOS DE AM POR FOTOPOLIMERIZAÇÃO EM CUBA.....	07
2.2.1 – ESTEREOLITOGRAFIA (SL) DA 3D SYSTEMS	07
2.2.2 – PRODUÇÃO CONTÍNUA COM INTERFACE LÍQUIDA (CLIP).....	09
2.2.3 - TECNOLOGIA POLYJET DA OBJET.....	10
2.3– PROCESSO DE AM POR EXTRUSÃO DE MATERIAL.....	11
2.3.1 MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO (FDM) – STRATASYS.....	11
2.3.1.1 PARÂMETROS DO PROCESSO FDM.....	13
2.3.1.2 VANTAGENS DO PROCESSO FDM.....	14
2.4 – PROCESSOS DE AM POR FUSÃO DE LEITO DE PÓ.....	15
2.4.1 SINTERIZAÇÃO SELETIVA A LASER (SLS) DA 3D SYSTEMS.....	16
2.4.2 SINTERIZAÇÃO DIRETA DE METAL A LASER (DIRECT METAL LASER SINTERING - DMLS) DA EOS GMBH.....	17
3. METODOLOGIA.....	18
3.1 MÉTODO	18
3.2 TÉCNICA:	199
3.3 PROCEDIMENTO.....	19
4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	22
4.1 ANÁLISE E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	22

4.1.1	Desenvolvimento da peça por meio da Manufatura Aditiva.....	27
4.1.2	Importação das peças.....	37
4.2	ANÁLISES E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	38
4.2.1	Resultados qualitativos.....	38
4.2.2	Resultados quantitativos.....	40
5.	CONCLUSÃO.....	42
5.1	Estudos Futuros.....	43
6.	REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

A Manufatura Aditiva (Additive Manufacturing – AM), popularmente conhecida como Prototipagem Rápida (Rapid Prototyping – RP), é caracterizada por um processo de fabricação onde o design da peça desejada é obtido através da adição de múltiplas camadas de material. A orientação da deposição do material se dá por coordenadas obtidas pela representação geométrica computacional 3D do componente, a qual geralmente advém de uma reprodução em sistema CAD (Computer-aided Design). (VOLPATO, 2017)

Já na manufatura subtrativa, como em tornos e fresadoras, parte-se de um bloco de material maior que a peça padrão, de onde remove-se uma grande quantidade de sobrematerial até chegar no dimensional desejado. (FITZPATRICK, 2013)

O avanço no desenvolvimento das máquinas e materiais trouxe uma qualidade muito melhor na manufatura do produto final. Algumas peças produzidas pelas impressoras 3D são usadas diretamente como produto acabado, o que faz a nomenclatura “prototipagem” seja avaliada como incorreta. Outro ponto é que esse termo negligencia o princípio básico de construção das peças por essa tecnologia, a construção por adição de camadas. (NASCIMENTO, 2013)

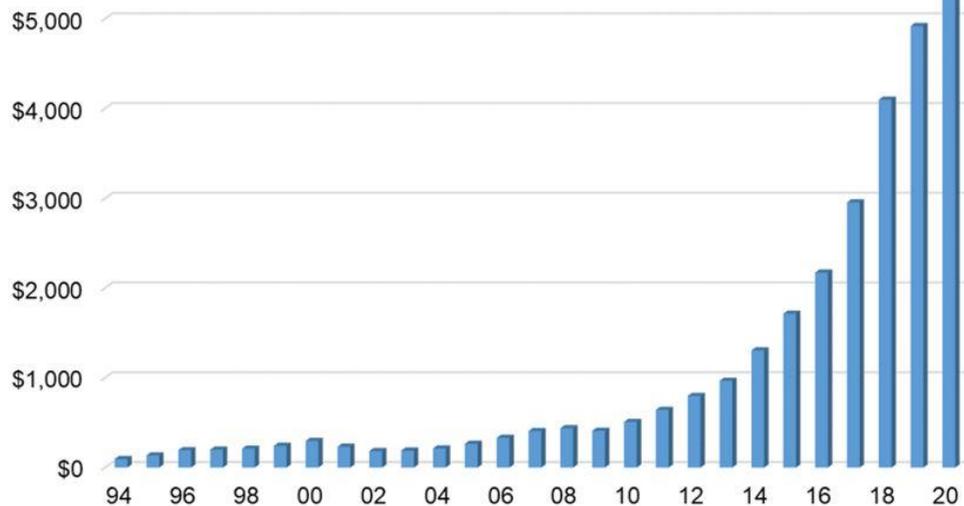
A AM tem como uma das principais vantagens a baixa necessidade de se ter um operador presente durante a fabricação da peça. Ele participa basicamente no início na preparação do equipamento e materiais a serem usados carregando previamente todos os parâmetros de máquina necessários, e ao término da impressão com a retirada e limpeza das peças. (VOLPATO, 2017)

A aplicação de AM que inicialmente foi voltada para o projeto do produto, hoje foi estendida para a análise e planejamento de engenharia, para as etapas relacionadas a produção de manufatura e de ferramental. Um levantamento recente aponta que 36,8% das aplicações estão voltadas para a modelagem e prototipagem, 29% para a manufatura no chão de fábrica e 23% para a confecção de ferramental. (VOLPATO, 2017)

Segundo a revista Wohlers Associates, mesmo com a pandemia de Covid-19 a indústria da impressão 3D teve uma expansão de 7,5%, o que equivale a aproximadamente

\$12,8 bilhões em 2020, muito impulsionado por serviços de AM de fornecedores independentes ao redor do mundo.

Gráfico 1– Produção de partes feitas por AM de fornecedores independentes (em milhões de dólares)



Fonte: Wohlers Report 2021

A Manufatura Aditiva além de já contar com diversas aplicações que vão desde o desenvolvimento do produto a confecção final do mesmo, também tem seu lugar dentro do universo da manutenção. O uso de AM conjulgado a engenharia reversa de peças de difícil reposição pode apresentar grande vantagem na redução de custos de manutenção e no Tempo Médio para Reparação (MTTR).

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O processo de manufatura aditiva será capaz de replicar uma peça fabricada por injeção plástica com uma boa resistência mecânica?

As peças fabricadas pelo processo de manufatura aditiva serão capazes de diminuir a quantidade de paradas de máquina causadas pelos componentes defeituosos?

1.1.1 Hipóteses

H0: O processo de manufatura aditiva consegue replicar uma peça fabricada por injeção plástica com uma boa resistência mecânica.

H1: As peças fabricadas pelo processo de manufatura aditiva são capazes de diminuir a quantidade de paradas de máquina causadas por componentes defeituosos.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O presente trabalho visa primeiramente definir o conceito de Manufatura Aditiva e demonstrar as principais tecnologias utilizadas atualmente, apresentando suas características e expondo suas principais vantagens e desvantagens.

Além da pesquisa sobre o assunto em geral, este trabalho tem como objetivo final a substituição de elos de uma esteira transportadora de aparelhos de barbear numa empresa da indústria metalmeccânica do Polo Industrial de Manaus (PIM), obtidos através da importação de peças produzidas por injeção plástica, por um modelo de montagem obtido através da impressão 3D, na própria universidade a qual o projeto será destinado.

A impressora 3D que será utilizada para a obtenção do modelo é a S4X, da empresa nacional Sethi 3D, que utiliza o processo de modelagem por fusão e deposição (FDM – *Fused Deposition Modeling*) e utiliza o material ABS (Acrilonitrila butadieno estireno).

O estudo da aplicação do processo de AM será realizado com o objetivo de entender se é viável ou não a substituição de um elo injetado por um impresso, levando em consideração o custo de produção, tempo de impressão, dimensional do modelo e resistência do material.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é replicar um elo de esteira transportadora através do processo de Manufatura Aditiva, além de entender a viabilidade de substituir uma peça injetada por uma impressa, comparando custos gerais de produção, e a possível implantação deste processo tecnológico na empresa da indústria metalmeccânica.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho podem ser descritos basicamente em:

- Pesquisa bibliográfica acerca do tema escolhido (Manufatura Aditiva);
- Detalhamento dos principais processos (funcionamento, principais características);
- Modelar e imprimir o modelo escolhido, na impressora Sethi3D S4X, pelo processo FDM;
- Analisar e comparar resultados e custos do processo de AM;
- Apresentar os resultados e dados obtidos na pesquisa;
- Em caso de resultados satisfatórios, verificar a disponibilidade de possível implantação na empresa do modelo em específico, obtido através do processo de AM e até implantar na empresa a utilização do processo de Manufatura Aditiva.

1.3.3 Justificativa

O presente trabalho terá como objetivo aplicar conceitos de manufatura aditiva para a resolução de anormalidades de peças com defeito de uma esteira transportadora de aparelhos de barbear na empresa Procter & Gamble do Brasil Ltda, visando reduzir a quantidade de paradas pelo respectivo modo de falha.

A manufatura aditiva é um processo inovador que além de ser utilizado para o desenvolvimento de protótipos, jigs e dispositivos, pode ser aplicado para a confecção de peças e partes de máquinas para a realização de manutenções.

Ao substituir peças importadas por peças impressas, pode-se alcançar ganhos reais em redução de MTTR, eliminação do tempo despendido para realizar o processo de compra e importação de peças de reposição e redução de custos de manutenção para a empresa.

Este estudo tem por finalidade de avaliar a aplicação do processo de manufatura aditiva para auxiliar a realização de manutenções em esteiras transportadoras dentro de empresas do PIM, visando validar a aplicação de peças impressas em 3D para a substituição em máquina e redução do Tempo Médio entre Falhas (MTBF) de um modo de falha.

A pesquisa abrirá precedentes dentro da instituição de ensino para a realização de estudos relacionados a aplicação do processo de manufatura aditiva para a resolução de problemas ligados a área de manutenção industrial de máquinas e equipamentos.

O desenvolvimento deste trabalho irá possibilitar aos profissionais da área da manutenção mecânica terem novos conhecimentos relacionados a construção de peças e partes de máquinas através do processo de manufatura aditiva, bem como dará a capacidade de entender a viabilidade ou não de substituir componentes fabricados por processos convencionais por componentes impressos em 3D visando redução de custos de manutenção.

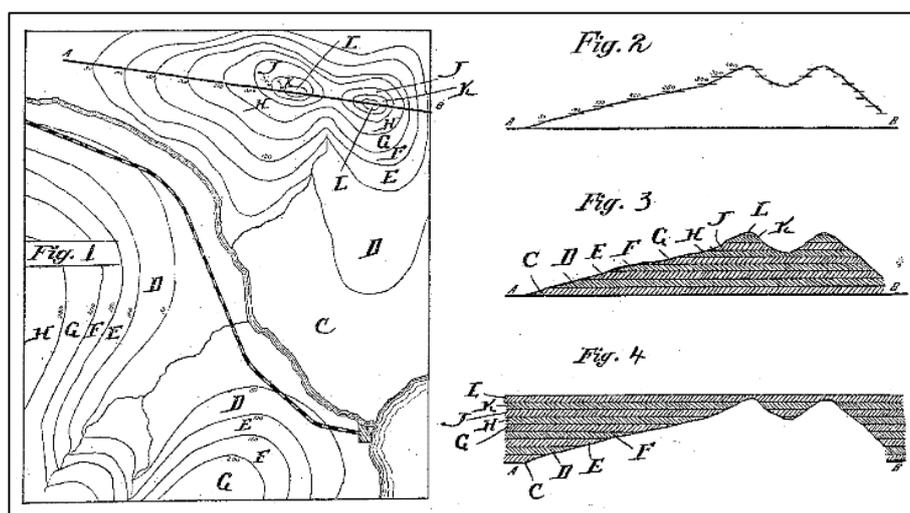
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico e desenvolvimento

A base das tecnologias relacionadas a AM pode ser relacionada a partir de duas grandes áreas técnicas: a Topografia e a Fotoescultura. (BEAMAN, 1997)

Na área da Topografia, a primeira grande aplicação do método de construção por camadas deve-se a Blantner, que no século XIX patenteou um método para a construção de moldes para mapas de relevo topográfico em três dimensões. (VOLPATO, 2017)

Figura 1 - Método de Blantner para a construção de mapas topográficos



Fonte: (BLANTNER, 1892)

Em 1935 Morioka desenvolveu no Japão um processo que combinava as técnicas de fotoescultura e topografia. Sua técnica consistia no uso de uma luz negra para criar linhas de contorno sobre folhas para reproduzir o formato do objeto. (Morioka, 1935)

Munz foi o precursor de um sistema similar a técnica atual de estereolitografia. Em 1951 ele desenvolveu uma técnica que consistia na exposição seletiva de seções transversais do objeto a ser desenvolvido, sobre uma emulsão foto transparente para a criação de um objeto tridimensional. (VOLPATO, 2017)

Herbert, funcionário da empresa 3M em 1982 elaborou um sistema usando um feixe de laser ultravioleta (UV) que incidia sobre uma camada de um polímero fotossensível

polimerizando-o. Este processo contava com o auxílio de um computador que comandava os movimentos do feixe no plano X-Y e que a cada camada descia em torno de 1mm para a sobreposição de mais resina e repetição do processo camada por camada. (VOLPATO, 2017)

Somente em 1987 as técnicas de fotopolimerização foram empregadas comercialmente através da tecnologia conhecida como Stereolitografy Apparatus (SLA), que utilizava uma resina fotossensível que era solidificada ao ser exposta a uma luz UV, pela empresa 3D Systems.

A partir deste marco novas tecnologias e materiais vem sendo desenvolvidos e aplicados comercialmente, com o emprego cada vez maior de aplicações práticas.

2.2. Processos de AM por fotopolimerização em cuba

A matéria prima base para essa categoria de processos de AM consiste em resinas poliméricas em estado líquido, que solidificam através da irradiação de uma fonte luminosa. A luz fornece energia necessária para iniciar uma reação química na resina fotopolimérica líquida, causando sua solidificação na cuba ou reservatório em que está inserida.

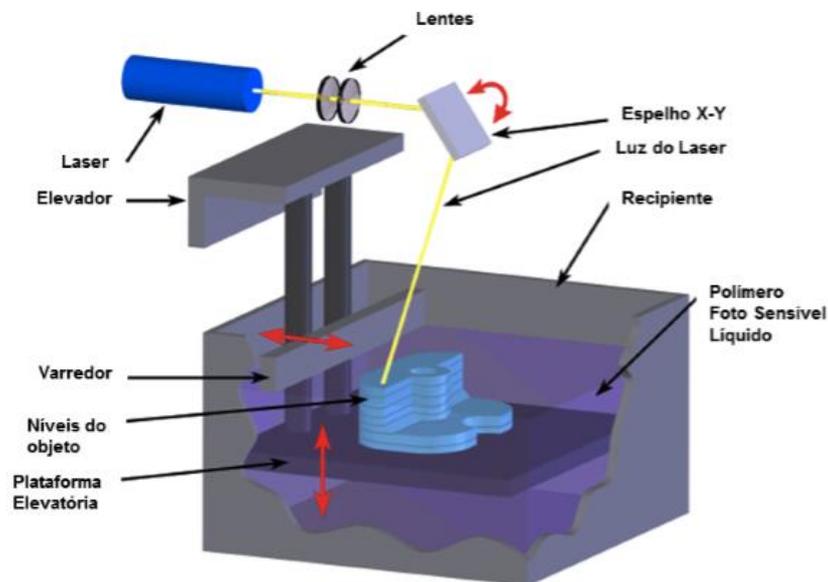
Nesta etapa, serão apresentadas as tecnologias baseadas em fotopolimerização por escaneamento vetorial, por projeção de mascarás ou imagens, dentre outras.

2.2.1 Estereolitografia (SL) da 3D Systems

Em 1986, a Estereolitografia (SL, de *StereoLithography*) teve sua patente registrada pela empresa norte americana 3D Systems, tornando-se a tecnologia pioneira em AM. Até hoje é uma das técnicas mais aplicadas comercialmente.

Nas impressoras de SL, a resina fotocurável é depositada numa cuba ou recipiente que contém uma plataforma mergulhada, a qual se desloca para baixo no eixo Z para a deposição de cada camada. Um feixe de laser percorre o formato de cada camada definida pelo software de fatiamento nos eixos X e Y formando a geometria desejada. No contato com o feixe, a resina polimeriza mudando do estado líquido para o sólido formando assim uma camada. O processo se repete até que a última camada seja formada e a peça esteja pronta. (VOLPATO, 2017)

Figura 2 –Processo de Estereolitografia



Fonte: (PEIXOTO, 2013)

No início, os lasers UV aplicados nos equipamentos SI eram do tipo Helio-Cadmio (He-Cd), com potência de 6mW à 12mW e comprimento de onda de 325 nm, também do tipo Nd:YVO no estado sólido, com potência de 100mW à 800mW e comprimento de onda de 354,7 nm. Os equipamentos mais modernos já constam com lasers de maior potência, chegando próximo dos 1500mW. (VOLPATO, 2017)

Um varredor regulariza a camada de resina líquida, devido à alta viscosidade. Após isso, o modelo encontra-se em estado “verde”, no qual não está totalmente curado. A peça em estado „verde“ é retirada, e limpa com solvente para a remoção da resina não curada, sendo levada a um forno UV para obter a cura completa da resina, aumentando sua resistência mecânica. Se necessário, um acabamento superficial é aplicado manualmente (GORNÍ, 2011).

Figura 3 – Peças fabricadas pelo processo SL



Fonte: (NASCIMENTO, 2013)

O laser é movimentado por um par de espelhos movidos por galvanômetros. O foco do feixe do laser é calibrado por meio de um conjunto de lentes e um sistema de abertura. O diâmetro do laser é geralmente de 0,25 mm, podendo ser reduzido até 0,075 mm para aumento da resolução de impressão. A espessura de camada é constante durante todo o trabalho de impressão, podendo ser de 0,025 e 0,5mm. (VOLPATO, 2017)

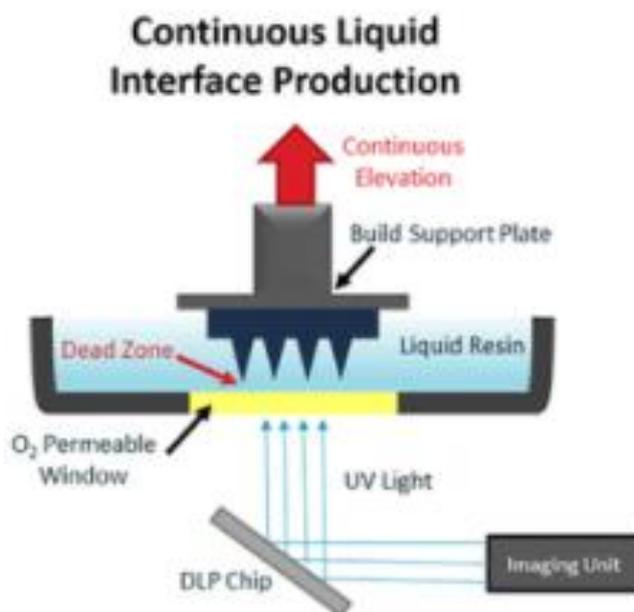
Os materiais mais comumente utilizados nas impressoras SL são feitos a base de acrilatos e epóxi. As resinas a base de epóxi apresentam maior utilização comercial atualmente por possuírem melhores propriedades mecânicas e térmicas.

2.2.2 Produção contínua com interface líquida (CLIP)

Desenvolvida pela empresa Carbon3D, o processo de produção contínua com interface líquida (CLIP), consiste em controlar o nível de oxigênio na região ocupada pela resina fotopolimérica. Essa região foi classificada pela empresa como região morta (dead zone), uma vez que a presença do oxigênio inibe a polimerização.

Este controle se dá através de um material especial chamado de Teflon AF 2400, do qual é feita a janela do equipamento. Ele permite a passagem de certa quantidade de oxigênio para dentro da cuba, na região que está sendo irradiada pela luz UV, fazendo com que a resina sofra o processo de cura de forma mais rápida. (VOLPATO, 2017)

Figura 4 – Processo de impressão CLIP



Fonte: (https://www.researchgate.net/figure/Continuous-Liquid-Interface-Production-CLIP-Process-A-microneedle-patch-is_fig4_307956057)

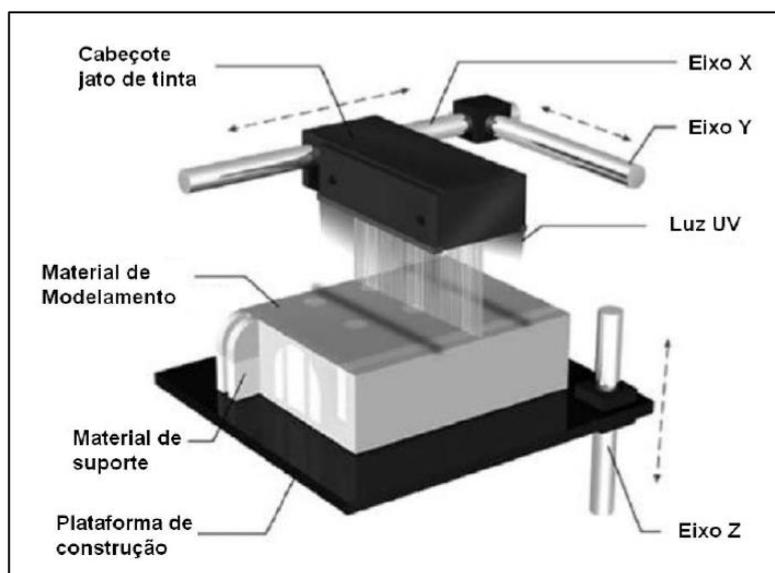
A empresa Carbon3D considera seu processo de 2 a 100 vezes mais rápido que os outros processos por fotopolimerização, sendo este um dos mais significativos avanços tecnológicos da área de AM. Devido a existência da região morta, as etapas de sobe e desce da plataforma de construção, após cada etapa de solidificação de cada camada não existem no processo CLIP. (VOLPATO, 2017)

2.2.3 Tecnologia PolyJet da Objet

A tecnologia PolyJet foi concebida pela empresa israelense Objet, que posteriormente foi adquirida pela gigante Stratasys. Ela conta com dois cabeçotes que se deslocam nos eixos X e Y para deposição de gotículas de resina fotossensível, que são solidificadas gradualmente pela passagem de uma lâmpada com luz UV que fica posicionada logo após os cabeçotes.

A máquina deposita de 16 à 32 microns de material por camada, o que se traduz numa ótima precisão de camada, além de uma resolução de 1200 DPIs (Gotas por polegada - Drops Per Inch), graças aos mais de 100 micro furos por cabeçote. (CAMPOS, 2011)

Figura 5 – Processo de impressão PolyJet



Fonte (GIBSON, 2010)

Este processo conta com a deposição de um suporte solúvel a base d'água, bidegradável, que ao final da impressão é facilmente removido com o auxílio de um jato d'água. As impressoras PolyJet contam com uma gama de mais de 167 materiais que vão de borrachas, transparências, Digital-ABS, alta temperatura, entre outros podendo ainda haver combinações produzindo novos materiais. (NASCIMENTO, 2013)

2.3 – Processo de AM por extrusão de material

Nesta tecnologia são empregados materiais no estado sólido geralmente apresentados em filamentos de termoplásticos de uso industrial, e até materiais biodegradáveis. É o processo de impressão mais utilizado comercialmente ao redor do mundo.

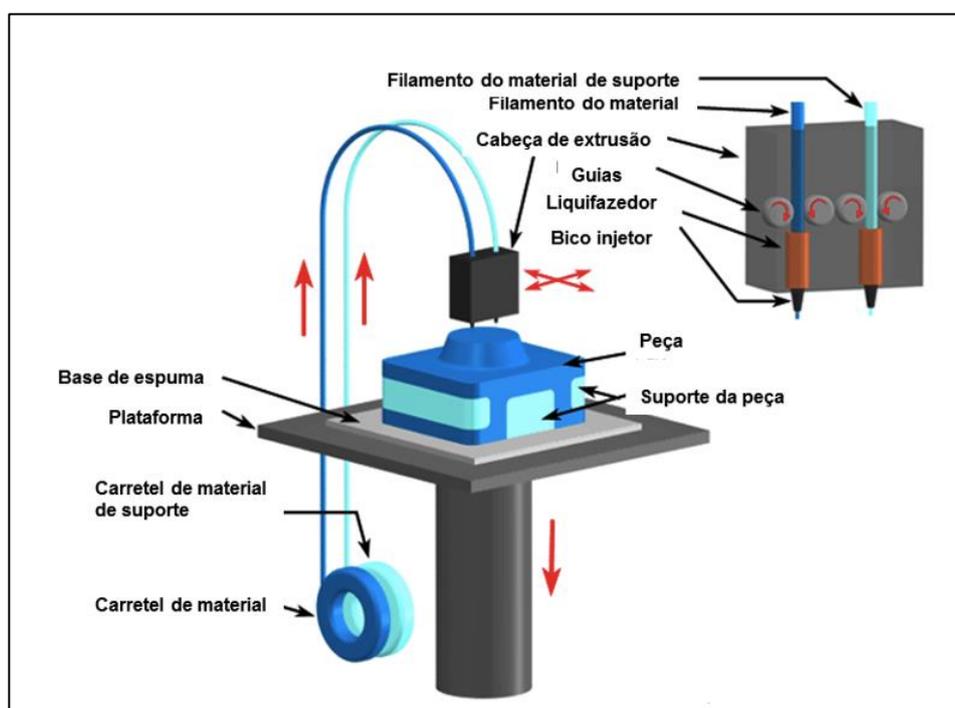
2.3.1 Modelagem por fusão e deposição (FDM) – Stratasys

A Modelagem por Fusão e Deposição (*Fused Deposition Modeling* – FDM) é tecnologia pioneira na deposição de material por filamento. Sua patente data de 1988,

desenvolvida pela empresa norte americana Sratasys Ltd., tendo o início da venda comercial de suas máquinas no ano de 1992. (VOLPATO, 2017)

Também conhecida como Fused Filament Fabrication – FFF, a tecnologia tem como princípio base a sucessiva deposição de camada sobre camada de material extrudado. Um rolo de filamento plástico ou metálico é tracionado até um cabeçote onde ocorre o aquecimento do material que em seguida é extrudado através de um bico, capaz de controlar a quantidade exata de deposição. A deposição ocorre sobre uma mesa de impressão, que pode ser aquecida ou não, sendo guiada pela movimentação dos eixos X e Y no plano, que a cada camada sofre um deslocamento no eixo Z para permitir a sobreposição das caadas. (CAMPOS, 2011)

Figura 6 – Processo FDM



Fonte: (NASCIMENTO, 2013)

O processo FDM possui a característica de conter dois bicos extrusores, um para o material da peça final e outro para o material de suporte que dá sustentação para a peça. O equipamento conta com um mecanismo responsável por subir o bico de extrusão quando não há necessidade de sustentação e abaixá-lo quando é preciso. Após a conclusão do trabalho de impressão, o suporte pode ser removido destacando-o do modelo ou por submersão em uma solução líquida aquecida. (VOLPATO, 2017)

Outro diferencial dos equipamentos FDM é a impressão dentro de uma câmara inlausurada e aquecida a uma temperatura bem inferior a temperatura da extrusão do material. O material solidifica de forma instantânea ao entrar em contato com a camada inferior, o que provoca a adesão. Através do controle da temperatura interna da câmara, essas máquinas conseguem produzir modelos com dimensões maiores sem comprometer a qualidade da impressão ou a precisão geométrica da mesma. (Volpato, 2017)

Este processo conta com uma gama grande de materiais que podem ser extrudados, desde o começo de sua aplicação novos materiais vêm sendo desenvolvidos e adequados para serem aplicados na tecnologia FDM e FFF. Em geral são termoplásticos de engenharia tais como: Nylon, ABS (Acrlonitrila Butadieno Estireno), ULTEM (liga para plástico aeronáutico), Polifenilsulfona (PPSF), policarbonato (PC). (CAMPOS, 2011)

Desde a quebra da patente da Stratasys Ltd sobre a tecnologia FDM, a impressão por deposição de filamento extrudado vem sendo o processo mais popular ao redor do mundo. Com o barateamento dos equipamentos e materiais de impressão 3D o seu uso deixou de ser particular de grandes industriais e passou a chegar a pequenas empresas e até ao uso doméstico, impulsionado pela cultura maker.

2.3.1.1 Parâmetros do processo FDM.

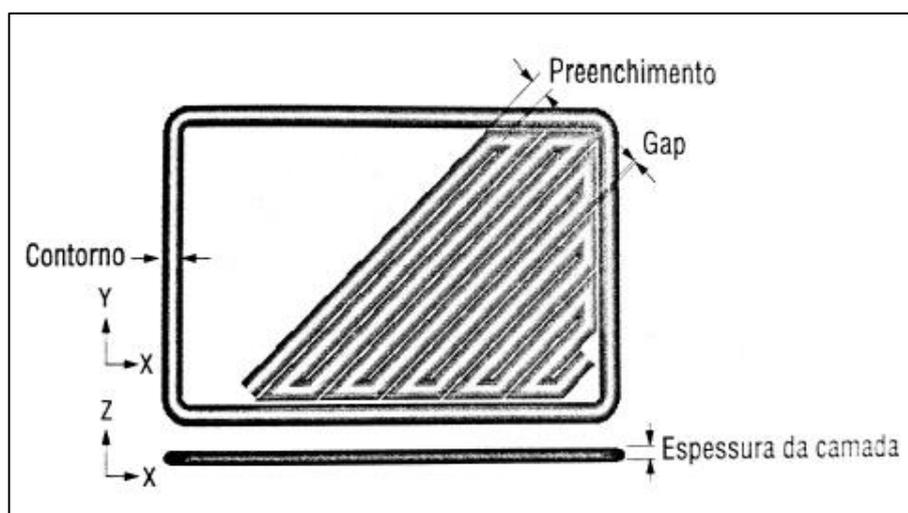
Tal como um processo de manufatura subtrativa tem parâmetros fundamentais para a garantia da qualidade da peça, como velocidade de corte e avanço, o processo FDM possui os chamados parâmetros de impressão. Os principais são: espessura de camada, diâmetro do filamento, quantidade de contornos, gap entre filamentos depositados.

A espessura de camada é a altura de material depositado a cada camada de impressão, ela usualmente é constante ao longo de toda a peça e é escolhida de acordo com o diâmetro do bico extrusor e com o tipo de material. Ela influencia diretamente na qualidade de acabamento do modelo e no tempo de trabalho de impressão. (VOLPATO, 2017)

O diâmetro do filamento é definido pelo usuário com base em opções já disponíveis no mercado. Inicialmente eram usados rolos de 3 milímetros de diâmetro devido a facilidade de fabricação, sendo que hoje em dia o mais usual é 1,75 milímetros.

O gap entre filamentos é a distância entre duas linhas adjacentes de deposição de filamento. Ele pode ser positivo quando há uma distância maior entre ambos, ou negativo para o caso de haver contato lateral entre os mesmos. Quanto maior o espaçamento do material, menores serão a quantidade de material depositada a resistência mecânica do modelo e o tempo de impressão do mesmo. A figura 3 apresenta uma representação esquemática destes parâmetros. (VOLPATO, 2006)

Figura 7 – Parâmetros no processo FDM



Fonte: (VOLPATO, 2006, p. 69)

2.3.1.2 Vantagens do processo FDM

As peças produzidas com a primeira geração de ABS chegavam a ter 85% da resistência mecânica que uma mesma peça fabricada por injeção plástica. Com a criação de novos materiais, como o ABS-Plus, as propriedades chegam a ser equivalentes a peças fabricadas por métodos tradicionais. (VOLPATO, 2017)

Pode-se visualizar as principais vantagens e desvantagens deste processo de acordo com o quadro abaixo:

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens do processo FDM

Vantagens	Desvantagens
Simplicidade do princípio de deposição de material	Precisão dimensional e resolução de detalhes pode ser inferior
Permite a utilização de vários termoplásticos inclusive polímeros de engenharia	Necessita de suportes em regiões suspensas ou de geometrias negativas
Materiais são estáveis a intempéries químicas e mecânicas	Necessita de pós-processamento para a retirada de suportes
Permite a fabricação de peças com boas propriedades mecânicas	Processo relativamente lento limitado pela vazão do material em um bico extrusor
Pode ser utilizado em ambiente de escritório ou até doméstico	

Fonte: Adaptado de (VOLPATO, 2017)

2.4 – Processos de AM por fusão de leito de pó

Estas tecnologias têm como matéria prima base um material em forma de pó, que pode ser agrupado através da exposição a um feixe de laser ou um material aglutinante. Uma das principais vantagens é a grande gama de materiais podendo, inclusive, imprimir com materiais metálicos.

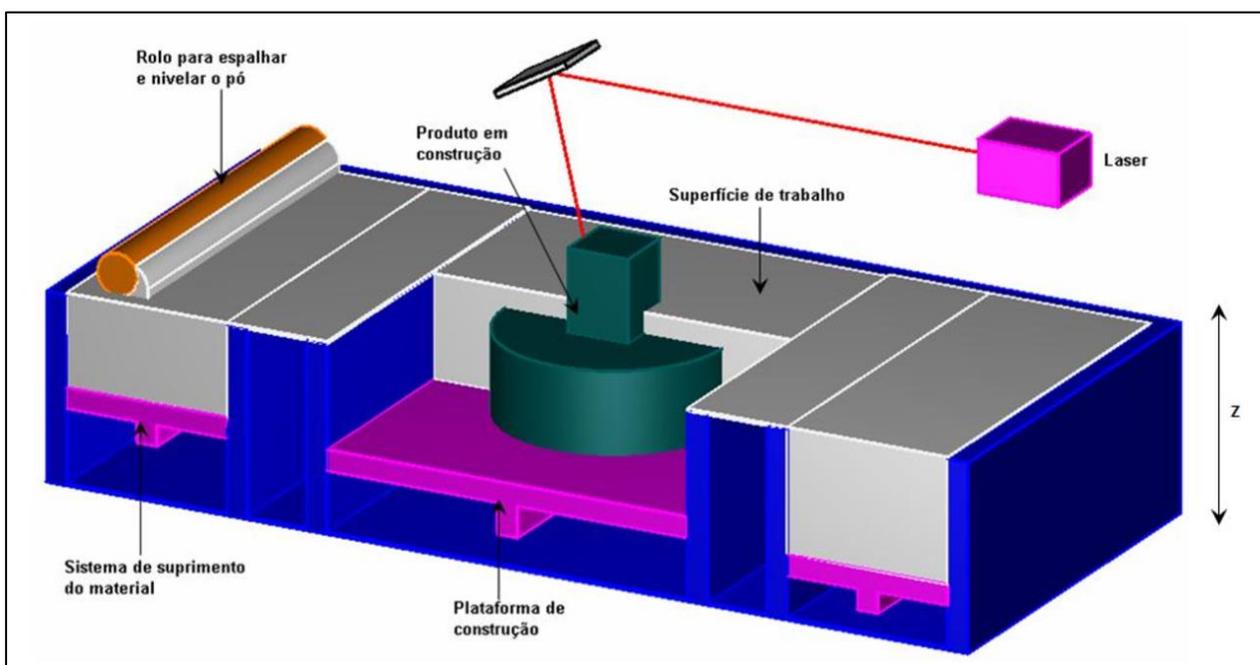
2.4.1 Sinterização seletiva a laser (SLS) da 3D Systems

O processo de Sinterização seletiva a laser (SLS) teve sua patente registrada pela norte americana 3D Systems Inc. em 1989. A tecnologia se vale de um laser de CO² com potência entre 30 e 200 W, de acordo com o modelo do equipamento e das configurações do processo, para fundir parcialmente um material polimérico na forma de pó. (VOLPATO, 2017)

A impressão se inicia com o material sendo espalhado por um rolo nivelador dentro da câmara de construção do equipamento. Nela o material é aquecido a uma temperatura um pouco abaixo do ponto de fusão do material e mantida em atmosfera inerte. O nitrogênio é usado para eliminar o risco de oxidação e de risco de explosão de partículas mais finas. (CAMPOS, 2011)

O laser se desloca ao longo dos eixos X e Y e, após o término de cada camada, a plataforma de construção se desloca pelo eixo Z, permitindo assim, a construção de uma nova camada. Este ciclo é repetido até que todas as camadas sejam depositadas e a peça seja finalizada.

Figura 8 – Princípio de funcionamento do processo SLS



Fonte: (CAMPOS, 2011)

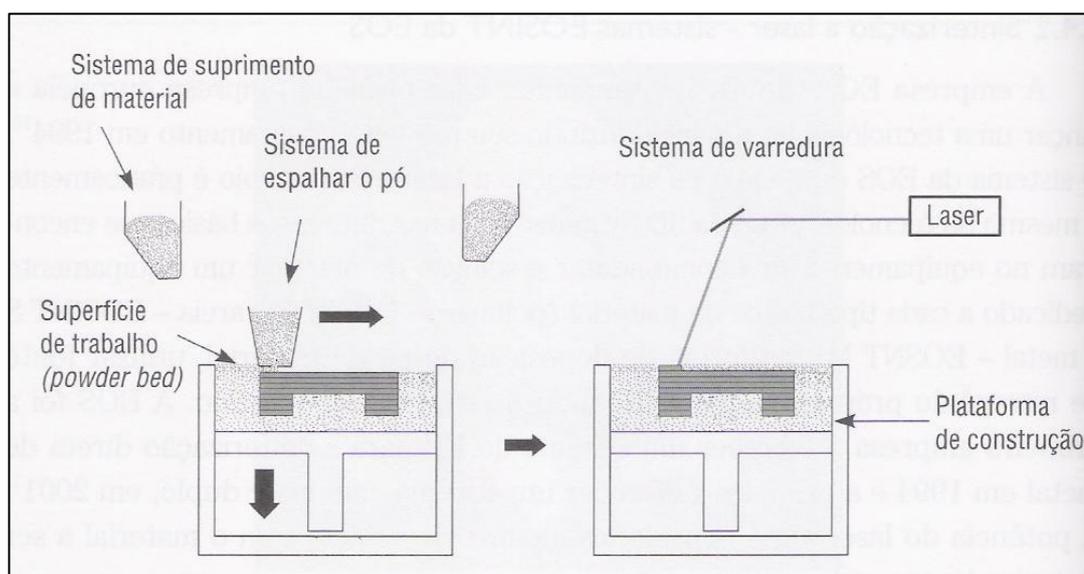
A tecnologia possui a maior variedade de materiais que podem ser utilizados entre os processos de AM. Os materiais disponíveis para a tecnologia SLS são: náilon, elastômeros, cerâmica, poliamida com microesferas de vidro e metal com polímero para obtenção de peças e insertos metálicos. Para o material metálico, há necessidade de pós processamento. (CAMPOS, 2011)

2.4.2 Sinterização direta de metal a laser (*direct metal laser sintering - DMLS*) da EOS GmbH

A empresa EOS foi pioneira em tecnologias de AM no continente europeu, produzindo seu primeiro equipamento, o EoSINT M250, em 1994. Cada equipamento da empresa é dedicado a um tipo de material. Um feixe de laser infravermelho controlado por um conjunto de espelhos, o qual irradia sobre a superfície de impressão, fundindo as partículas de pó numa espessura de camada que pode ser regulada entre 20 e 40 micrômetros. (CUNICO, 2013)

O espalhador do equipamento distribui uma fina camada de pó metálico sobre a plataforma de construção, formando uma camada nivelada conhecida como leito de pó. Em seguida o laser percorre a superfície nos pontos predefinidos fundindo as partículas umas às outras e a camada ligeiramente inferior. Este processo se repete camada após camada conforme a plataforma de construção da peça desce no eixo Z. Gás inerte é injetado no interior da câmara de impressão para evitar o processo de oxidação do material. (VOLPATO, 2017)

Figura 9 – Princípio de funcionamento do processo DMLS



Fonte: VOLPATO (2017)

As peças podem ter propriedades finais para determinada aplicação, porém, de acordo com a necessidade, podem ser necessários processos de pós-processamentos, como revenimento para alívio de tensões residuais, têmpera ou tratamentos superficiais como jateamento ou polimento para se chegar num acabamento mais refinado. (CAMPOS, 2011)

3. METODOLOGIA

3.1 MÉTODO

Todos os sentidos da palavra ‘método’ registrados nos dicionários estão ligados à origem grega *methodos* - que significa “caminho para chegar a um fim”. (GALLIANO, 1986)

Segundo Andrade, (2003, p.131), “Método Dedutivo é o caminho das consequências, pois uma cadeia de raciocínio em conexão descendente, isto é, do geral para o particular, leva à conclusão”.

Conforme a classificação indicada pelos autores, a presente pesquisa pode ser classificada como dedutiva, pois baseia-se em conhecimentos teóricos previamente adquiridos ao longo do curso somado ao estudo de fundamentos gerais já empregados em aplicações práticas.

Diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados. Como as amostras geralmente são grandes e consideradas representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente. (FONSECA, 2002, p. 20)

Com base nisso, a presente pesquisa pode ser avaliada como qualitativa e quantitativa, pois além de avaliar variáveis do processo, estima valores numéricos para parâmetros que são associados a resultados, além de cálculos de custos e metrologia.

3.2 TÉCNICA:

As técnicas de pesquisa acham-se relacionadas com a coleta de dados, ou seja, a parte prática da pesquisa.” (ANDRADE, 2006)

A pesquisa bibliográfica, ou de fonte secundária, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicação avulsa, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico, meios de comunicações orais. (LAKATOS e MARCONI, 2007)

Inicialmente, as técnicas usadas para a pesquisa se basearão na consulta bibliográfica do assunto, em monografias, artigos, anais de congresso, teses, dissertações, publicações em meios eletrônicos, revistas e anais de eventos científicos.

Adicionalmente, técnicas matemáticas e estatísticas de cálculo de custos, comparação de valores, para melhor visualização e interpretação de dados. E técnica comparativa, entre Manufatura Aditiva e a Manufatura convencional (subtrativa).

3.3 PROCEDIMENTO

Procedimentos constituem etapas mais concretas da investigação, com finalidade mais restrita em termos de explicação geral dos fenômenos menos abstrato. Pressupõem uma atitude concreta em relação ao fenômeno e estão limitadas a um domínio particular (LAKATOS e MARCONI, 2007)

Esses métodos têm por objetivo proporcionar ao investigador os meios técnicos, para garantir a objetividade e a precisão no estudo dos fatos sociais. Mais especificamente, visam a fornecer a orientação necessária à realização da pesquisa social, em especial no que diz respeito à obtenção, ao processamento e à validação dos dados pertinentes à problemática objeto da investigação realizada. (GIL, 2008; PRODANOV e FREITAS, 2013).

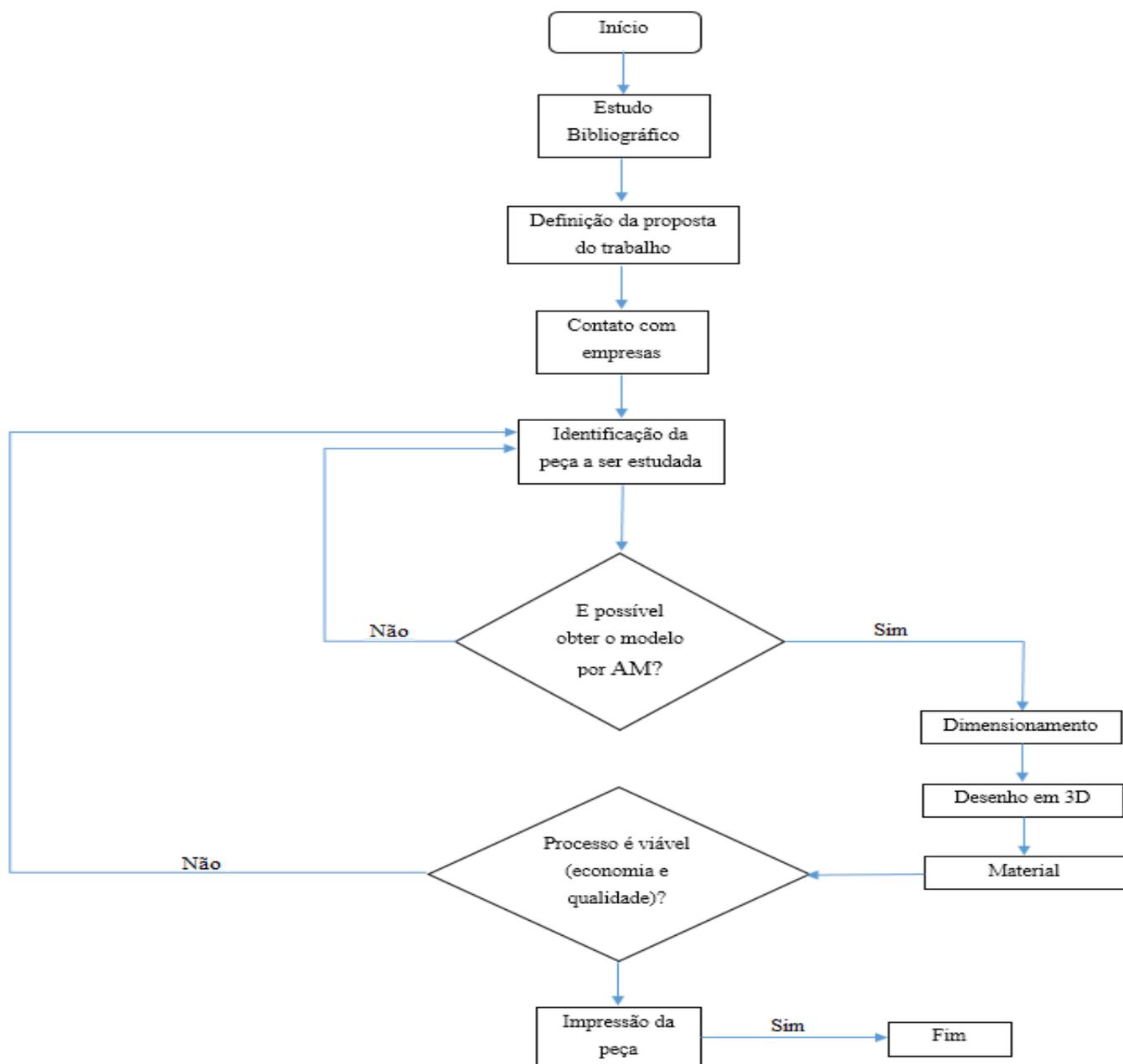
Inicialmente foi adotada uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de contextualizar os conteúdos a serem explorados na pesquisa, aumentando a base teórica com o tema Manufatura Aditiva para maior conhecimento da tecnologia na atualidade e identificação dos potenciais segmentos de interesse de estudo. Em seguida com a escolha do segmento de manutenção na indústria de aparelhos de barbear, seguiu-se com uma pesquisa bibliográfica para aprofundar conhecimentos nos conceitos relativos ao segmento, bem como estudar suas técnicas, processos de fabricação e aplicações.

Após as etapas de pesquisa, o contato com a empresa de aparelhos de barbear do Polo Industrial de Manaus foi realizado, com a escolha de um elo de uma esteira transportadora, para a realização de estudo e de sua confecção por meio da tecnologia de Manufatura Aditiva.

O desenho em CAD do modelo será realizado e sua impressão será feita no Laboratório da própria Instituição, que conta com uma impressora S4X da Sethi3D, abastecida com o material PLA, possibilitando assim, a análise de custos do processo, bem como a síntese conclusiva visando os principais pontos do estudo e da pesquisa em questão.

O fluxograma com os procedimentos necessários para a realização deste trabalho pode ser observado abaixo:

Fluxograma 1 - Procedimentos



5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Neste capítulo serão apresentadas as características da peça e os procedimentos para a fabricação da mesma por meio de Manufatura Aditiva. Ao final será analisada a viabilidade de substituição de um elo convencional por um elo impresso com base nos custos e qualidade requeridos.

5.1 Análise e Avaliação dos Resultados Obtidos.

A peça escolhida para este estudo foi selecionada a partir do processo de montagem final de aparelhos de barbear de uma empresa de bens de consumo do PIM. As fotografias dos componentes bem como sua especificação foram reunidas para a realização deste trabalho, conforme as figuras abaixo.

Figura 10 - Esteira transportadora de aparelhos de barbear





Figura 11 – Detalhe do aparelho de barbear sobre os elos da esteira



Figura 12 – Saída dos aparelhos de barbear para a esteira transportadora

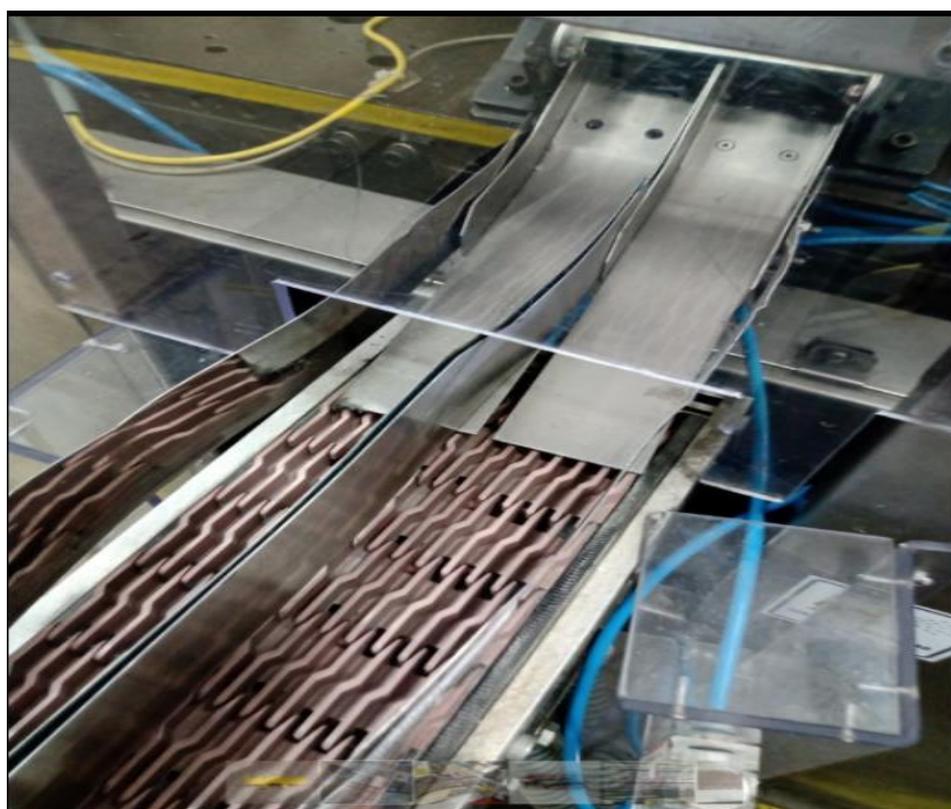




Figura 13 – Passagem da esteira transportadora para a esteira final

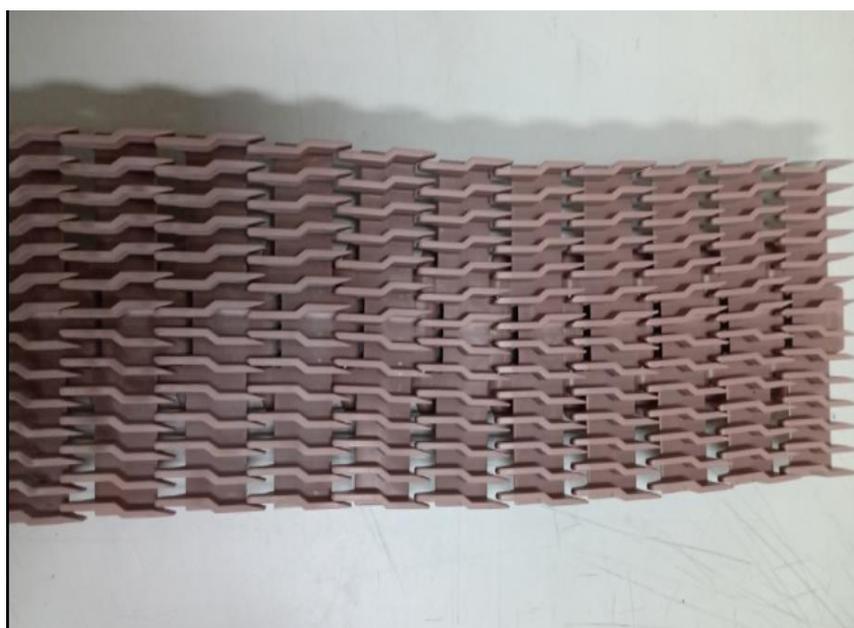


Figura 14 – Elos da esteira transportadora



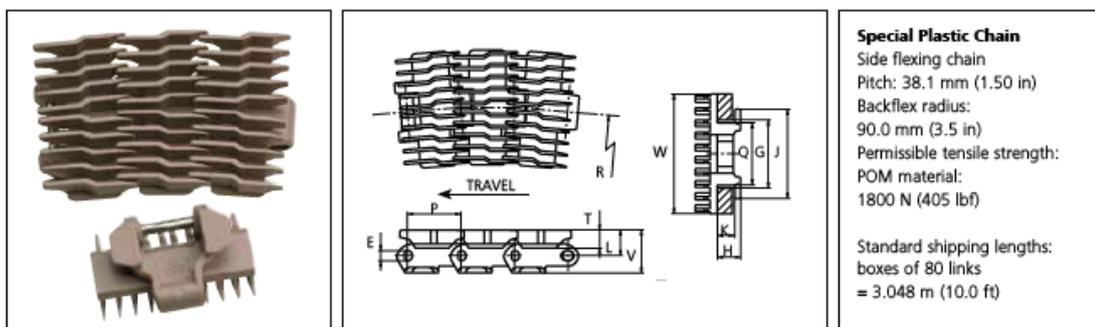
Figura 15 – Detalhe dos elos quebrados



Figura 16 – Spec Sheet do elo

Special Plastic Chain

Series **uni 880** Type **Rib Flex**



Special Plastic Chain

Side flexing chain
 Pitch: 38.1 mm (1.50 in)
 Backflex radius:
 90.0 mm (3.5 in)
 Permissible tensile strength:
 POM material:
 1800 N (405 lbf)
 Standard shipping lengths:
 boxes of 80 links
 = 3.048 m (10.0 ft)

NON STANDARD

E		G		H		J		K		L		P		Q		T		V	
mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
7.2	0.28	44.5	1.75	15.9	0.63	61.5	2.42	11.9	0.47	18.5	0.73	38.1	1.50	42.9	1.69	14.9	0.59	30.7	1.21

All dimensions are for chains in POM material.

	Width (W)		Recommended material & color	Recommended pin material	Weight		Min. radius (R)	
	mm	in			kg/m	lb/ft	mm	in
K250	63.5	2.50	POM-LF BR	SS304	1.2	0.81	457	17.99
K325	82.6	3.25	POM-LF BR	SS304	1.3	0.87	457	17.99
K450	114.3	4.50	POM-LF BR	SS304	1.5	1.01	457	17.99

Non standard material and color: See uni Material and Color Overview.
 Non standard pin material: See uni Material and Color Overview.

SIDE FLEXING

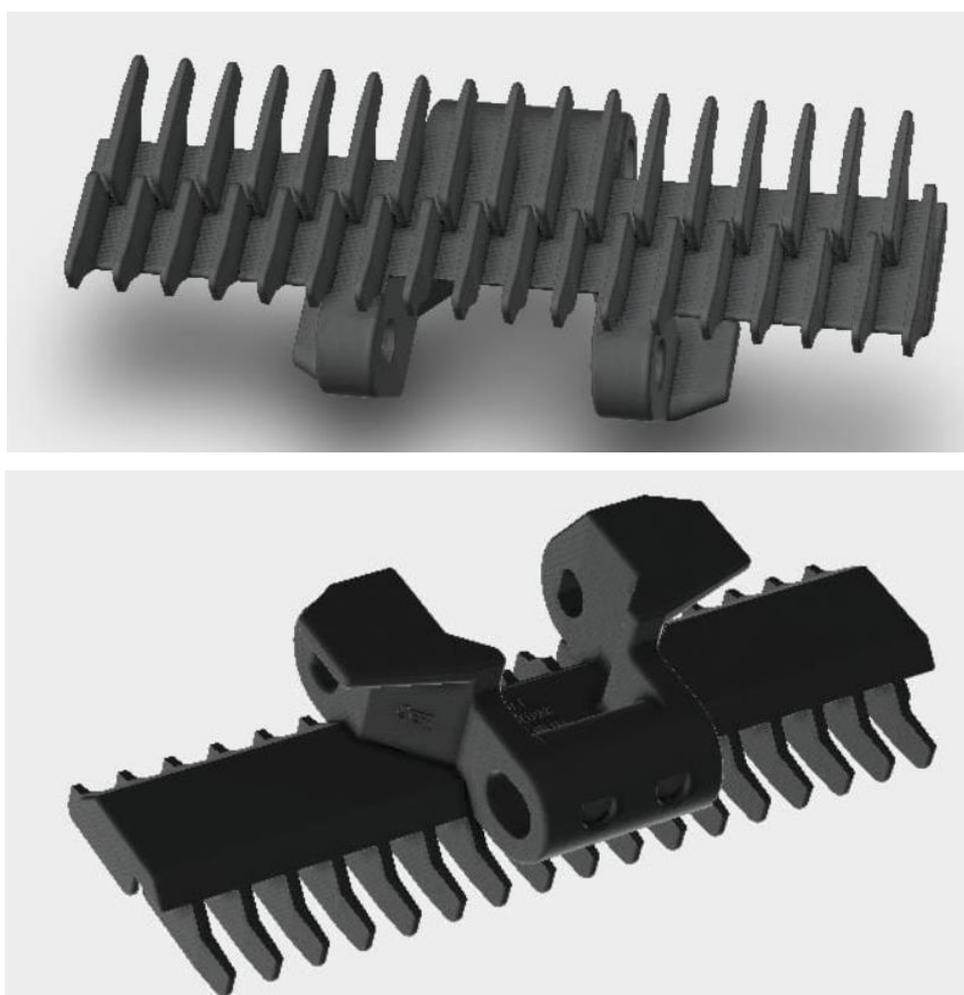
50 IN

5.1.1 Desenvolvimento da peça por meio da Manufatura Aditiva

A partir das informações disponíveis na folha de especificações da peça (spec sheet), e com o auxílio de um software de CAD foi criado um modelo virtual 3D do elo com as dimensões reais do mesmo.

O software utilizado para a construção do protótipo virtual foi o Autodesk Inventor 2017, conforme as figuras a seguir:

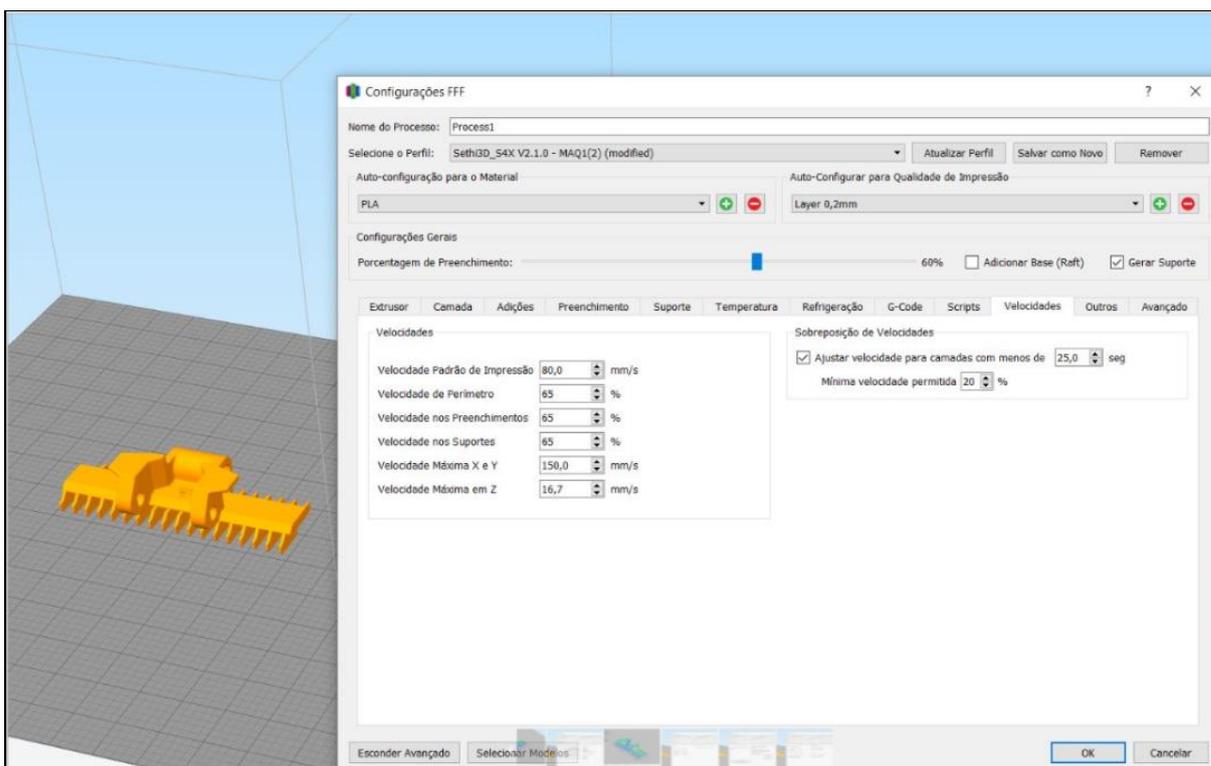
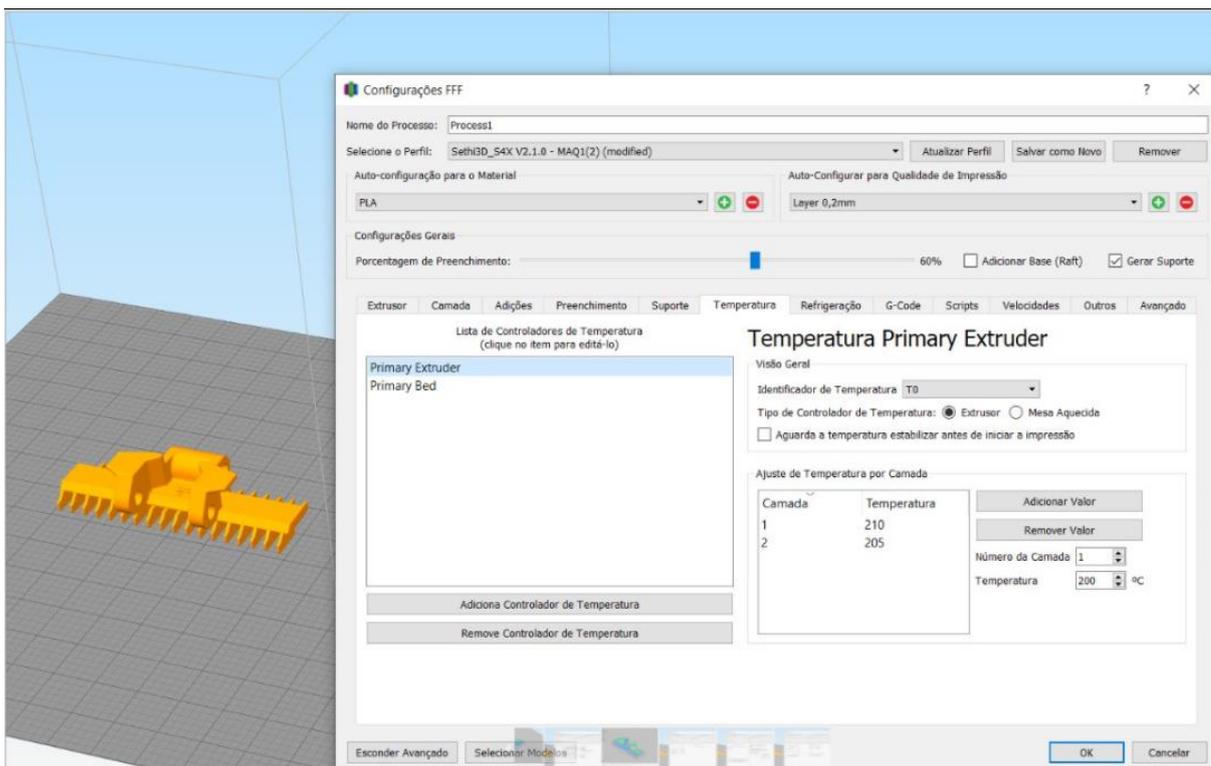
Figura 17 – Modelo virtual do elo

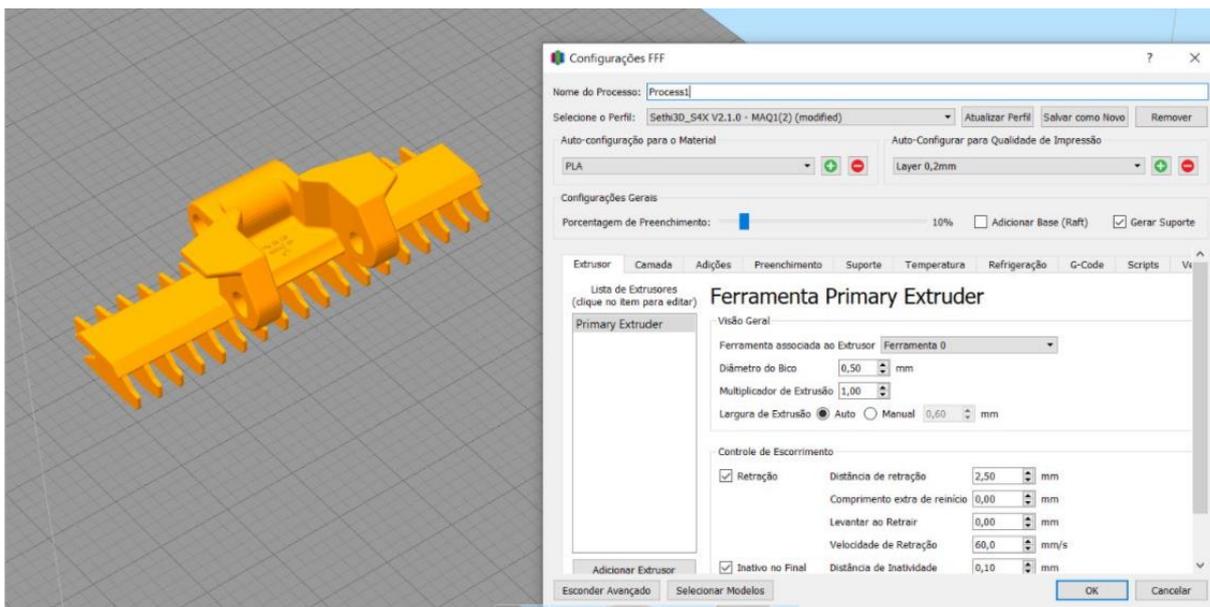


Para conseguir simular os parâmetros da impressão da peça primeiramente foi necessário converter o desenho CAD para o formato STL (STereoLithography), pois este é o formato que os softwares de fatiamento trabalham.

O software Cura 3D foi usado para definir as configurações básicas da impressão da peça, bem como ter o resultado prévio de como seria a impressão.

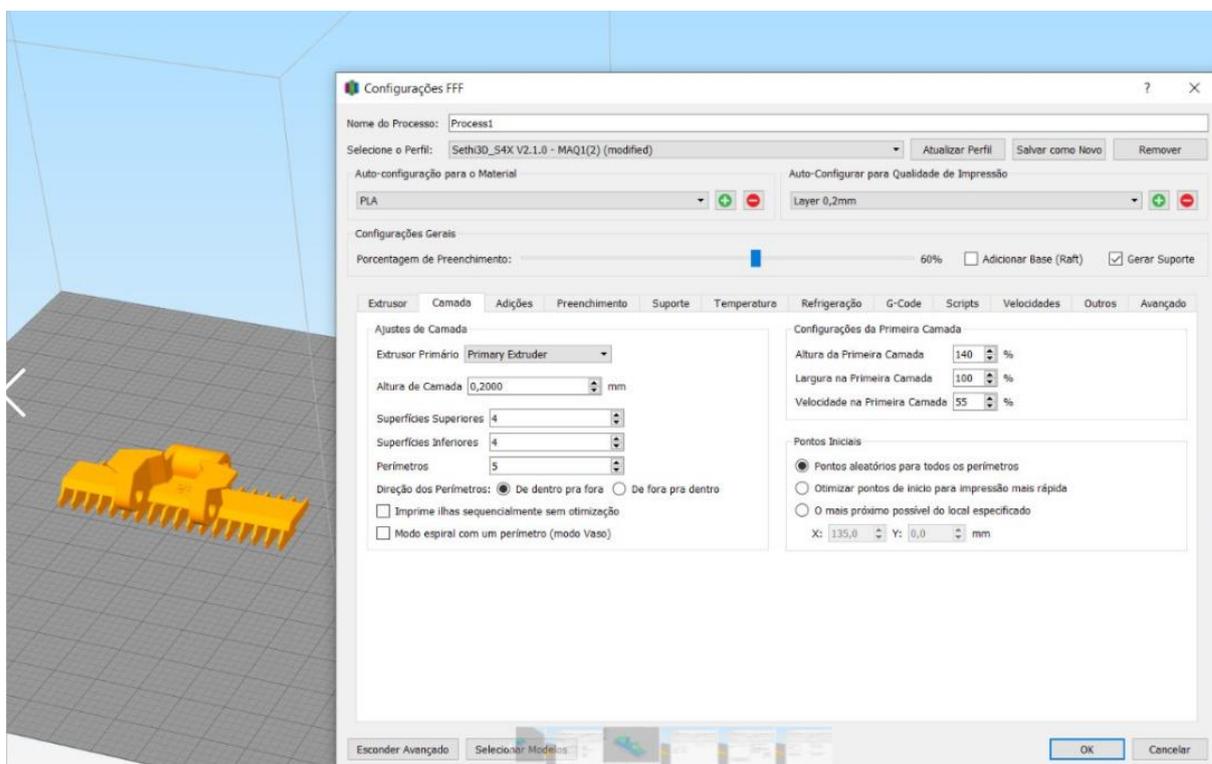
Figura 18 – Configurações básicas de impressão





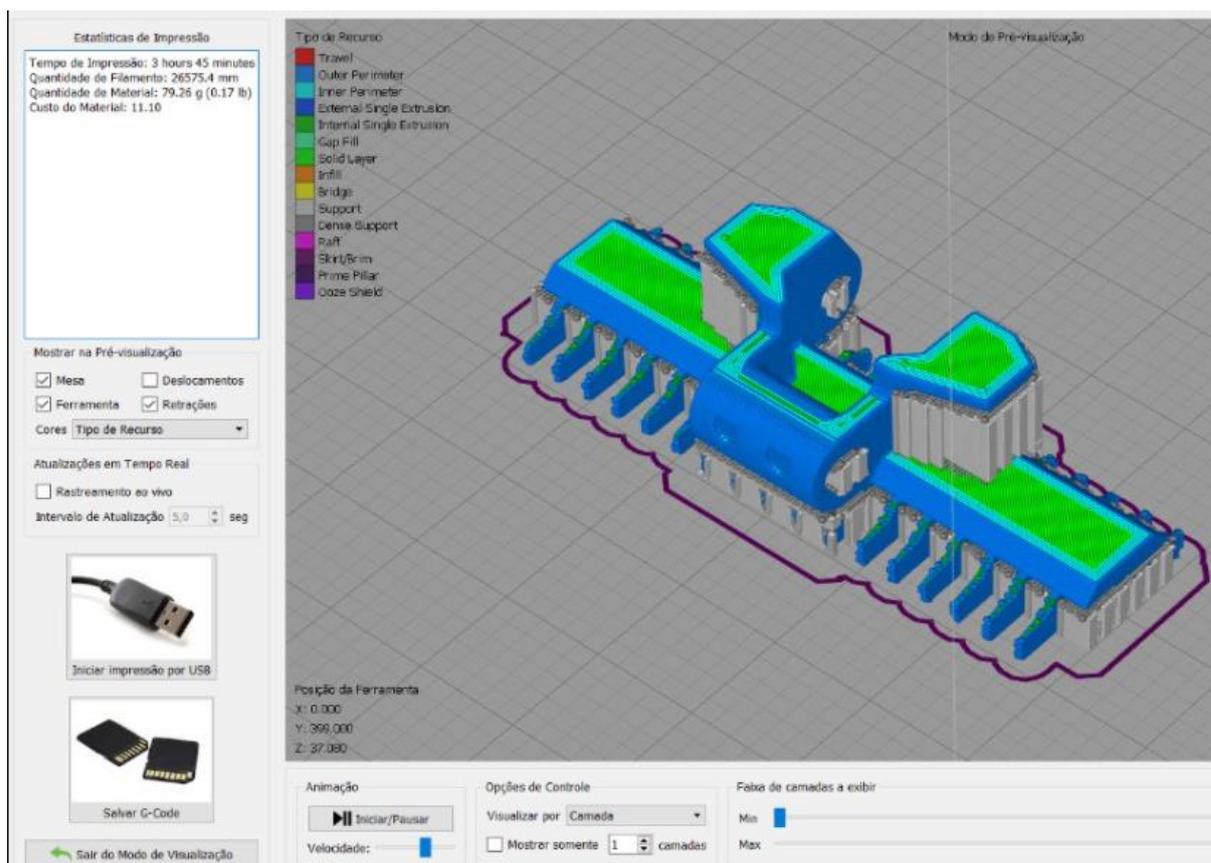
Visando obter melhores propriedades mecânicas e maior durabilidade da peça, optou-se por aumentar a quantidade de linhas contornos de duas para cinco, e um preenchimento interno de 60%.

Figura 19 – Configuração de contornos e preenchimento



Após selecionadas todas as configurações de impressão desejadas foi possível simular o trabalho de impressão. Além de se ter o tempo de duração da impressão e a quantidade em gramas de filamento empregado para a construção da peça, pôde-se observar a posição em que a peça seria impressa e as partes onde se faz necessário o uso de suporte.

Figura 20 – Simulação de impressão



O processo de impressão 3D escolhido para esta aplicação foi o FDM, pela facilidade de acesso a impressoras de baixo custo no mercado brasileiro e a disponibilidade de uma impressora FDM na universidade de origem deste trabalho, presente no laboratório do projeto STEM. O modelo da impressora utilizada foi a S4X da Sethi3D, fabricante nacional de impressoras 3D.

Figura 21 – Impressora S4X



A S4X possui uma área de impressão de 400 x 400 x 400 mm, podendo imprimir em espessuras de camada que vão de 0,05 a 0,4 mm. Conforme pode-se verificar nas especificações abaixo disponíveis no site do fabricante.

Figura 22 – Especificações do equipamento

ESPECIFICAÇÕES

- Baixo nível de ruído
- Teclas de atalho e teclas com funções programáveis
- Auto Power Off
- Área de impressão: 400x400x400 mm (64 litros)
- Mesa de impressão estática
- Nivelamento automático
- Velocidade de impressão: até 150 mm/s
- Velocidade de deslocamento (travel): até 300 mm/s
- Temperatura máxima do bico: 270°C
- LCD integrado / Entrada para Cartão SD
- Mesa aquecida
- Resolução ajustável (altura de camada): de 50 microns (0.05 mm) até 400 microns (0.4 mm)
- Materiais de impressão: ABS, PLA, PETG, Flex

SOFTWARE

- Extensão de arquivos compatíveis: .STL, .OBJ
- Sistemas Operacionais mínimos compatíveis: Windows XP, Linux, Mac OS X 10.5

DIMENSÕES

- Sem rolo: 690 x 670 x 790 mm
- Com rolo: 790 x 670 x 790 mm
- Dentro da caixa: 840 x 790 x 940 mm

PESO

- 34 Kg
- Peso na caixa: 60 Kg

ELÉTRICA

- Entrada AC: 110v / 220v com conversor automático
- Potência: 700 W
- Conectividade: USB / Cartão SD

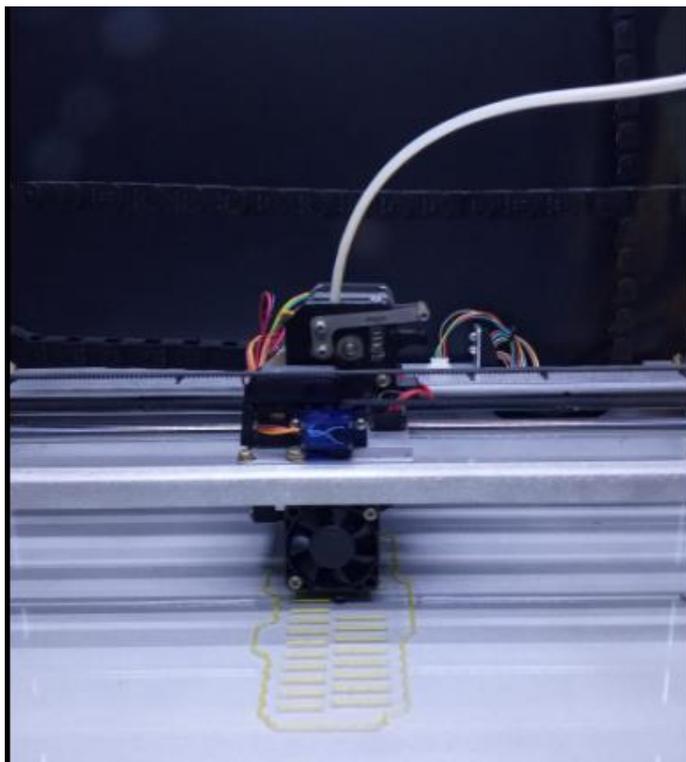
Quanto ao material empregado na confecção do primeiro protótipo optou-se pelo filamento de PLA (Poliácido Láctico), que é um termoplástico biodegradável de origem natural, por ser um material de fácil acesso e baixo custo. Podendo ser empregado em diversas aplicações de manufatura aditiva que não exigem grandes esforços mecânicos.

Figura 23 – Rolo de filamento de PLA



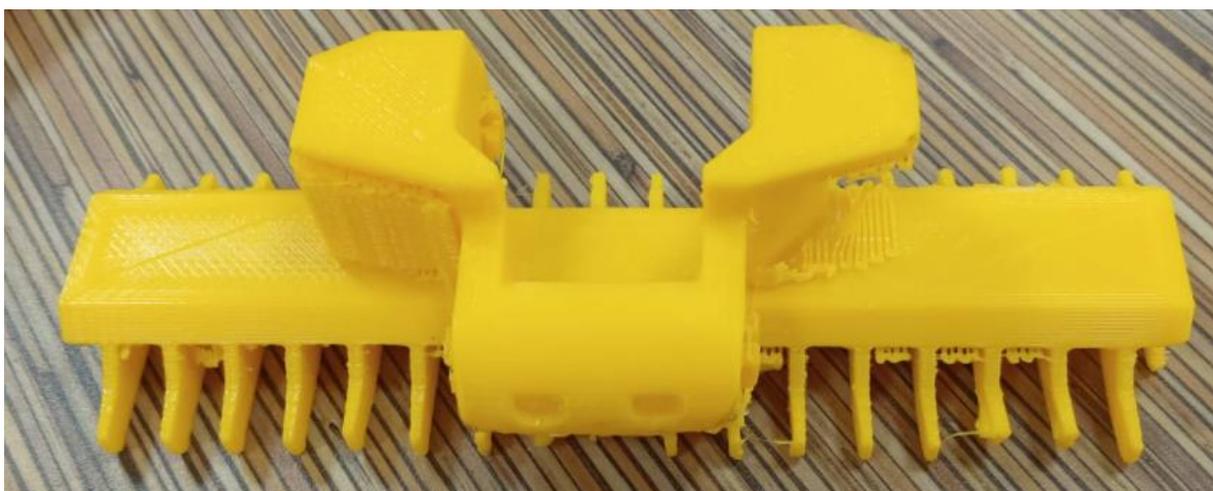
Após a confirmação dos parâmetros de impressão desejados e da escolha do material do filamento, o arquivo STL é convertido no formato GCODE, linguagem de programação padrão pra maior parte das impressoras 3D, e carregado na impressora. Em seguida dá-se início ao processo de deposição de material extrudando camada por camada.

Figura 24 – Início do processo de impressão



Após cerca de 3 horas e 45 minutos de impressão, o elo foi totalmente impresso juntamente com as estruturas de suporte, sendo necessário um pós-processamento para a retirada do suporte.

Figura 25 – Peça impressa





CUSTOS DO PROCESSO:

Para levantar os custos de impressão local da peça foi solicitada uma cotação comercial a empresa prestadora de serviços de impressão CB Tech da Amazônia Ltda. ME. Conforme pode-se observar na figura 26 abaixo:

Figura 26 – Cotação de impressão local de elos



CB TECH DA AMAZÔNIA LTDA ME
 AVENIDA PROF. CLAUDIO PORTILHO, 365 - BLOCO C SALA 210 - ELIZA MIRANDA MALL
 CEP: 69077 - 735 CIDADE: MANAUS Telefone: (92) 3304-7576 / 99200 - 7675
 CNPJ: 07.898.993/0001-00 IE: 05.383.792-4
 Site: www.casadabroca.com.br Email: vendas@casadabroca.com.br

Orçamento Nro.: 7329
 Data de emissão: 06/12/2021
 Valido até: 05/01/2022

Cliente: PROCTER & GAMBLE DO BRASIL LTDA
 End. De Entrega: AV. GUARUBA, 740
 Bairro: DISTRITO INDUSTRIAL I
 CEP: 69075-080

Contato: Cícero
 Cidade: MANAUS
 Telefone: 98271-2264

ITEM	Qtd.	Und.	NCM	Cód. Cliente	Descrição	Valor	Total	% ICMS	% IPI	Prazo de Entrega
1	10	PÇ	38011000	-	ELO	R\$ 450,00	R\$ 4.500,00	0,00	0,00	20 DIAS
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										

Contato: Francisco Fontes
 Telefone: (92) 99200 - 7675
 E-MAIL: vendas@casadabroca.com.br

Condição De Pagamento 75 Dias

R\$ 4.500,00

5.1.2 Importação das peças

Por se tratar de um projeto de automação desenvolvido por empresas européias, muitos dos componentes que fazem parte do equipamento são de fabricação restrita e de difícil acesso para uma empresa instalada no PIM.

Para se ter acesso a compra de qualquer quantidade dos elos fabricados pela empresa Ammeraal Beltech, faz-se necessário a cotação de importação das peças, o que envolve um longo processo entre a logística do país de origem até o destino final, somados a isso ocorrem a incidência de diversos impostos e variações cambiais.

Ao realizar uma coação comercial no mês de setembro de 2020 a empresa se deparou com uma barreira comercial. A mesma necessitava apenas de 20 elos para a substituição em máquina, porém o fabricante só atende a pedidos a partir de 80 unidades, o que se traduziu num custo muito além do esperado.

Figura 27 – Cotação comercial dos elos

Mercury Indústria e Comércio LTDA		Dados Bancários	Endereço para Coleta	 Correias Industriais e Peças em Poliuretano				
Avenida Borba, Nº 1144 Cachoeirinha - Manaus - AM - CEP. 69065-030 CNPJ: 71.717.110/0004-60 I. E.042221277 Fone: (92) 3622-1157/ 3025-3284		Agência: 0010 Conta Corrente: 13015580-8 Banco: Santander	Avenida Borba, Nº 1144 Cachoeirinha - Manaus - AM - CEP. 69065-030 De segunda à sexta 07:30 às 17:30					
ORÇAMENTO 0000013644 Emissão: 11/09/2020		CLIENTE: PROCTER & GAMBLE DO BRASIL LTDA. AVENIDA GUARUBA, 740 DISTRITO INDUSTRIAL, CEP: 69075-080 MANAUS - AM REQUISITANTE: MICHAELLY(nascimento.pp@pg.com) Sua Referência:	VENDEDOR: LUIZ E-MAIL: atendimentomanaus@correiasmercur FONE:	Página: 1 / 1				
ITEM	DESCRIÇÃO	NCM	UN	QTDE	UNITÁRIO	IPI	ICMS	SUBTOTAL
1	ESTEIRA MODULAR UNI 880 FLEXRIB K250 - COMP. 3,000 MT (PART NUMBER LF 880 UNI-RIB COMB 2)	3926.90.21	CX	1,00	R\$ 18.204,00	0,00%	0,00	R\$ 18.204,00
Condições de Pagamento: 75 DIAS FORA QUINZENA						SUBTOTAL:		R\$ 18.204,00
Prazo de Entrega: 45 Á 60 DIAS APÓS APROVAÇÃO DO PEDIDO						IPI:		R\$ 0,00
Validade da Proposta:						FRETE:		R\$ 0,00
Transporte: CIF						TOTAL GERAL:		R\$ 18.204,00
OBSERVAÇÕES GERAIS: PROPOSTA VÁLIDA POR 07 DIAS OBS: 1 CAIXA COM 3MT.								

Além do alto custo de aquisição, o prazo de entrega para as peças era de até 60 dias após a aprovação do pedido pelo setor de compras da empresa.

5.2 ANÁLISES E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Os resultados obtidos durante o estudo de caso apresentado podem ser avaliados por aspectos quantitativos e qualitativos. A análise qualitativa visa comparar o modelo impresso por meio de Manufatura Aditiva e a peça comercial feita pelo processo de injeção plástica.

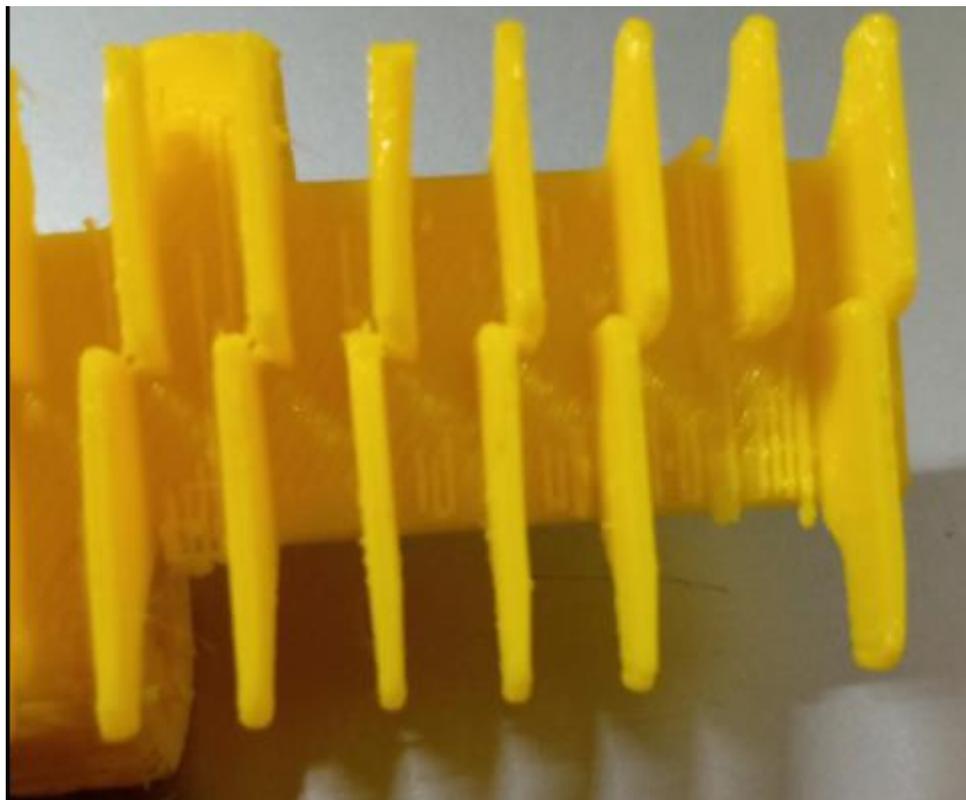
Já a análise quantitativa se refere aos dados obtidos com relação ao tempo e custos de aquisição por meio do processo de importação das e peças e a impressão 3D das mesmas.

5.2.1 Resultados qualitativos

A peça impressa conseguiu replicar fielmente a geometria do modelo original. As camadas de contorno adicionis conferiram a peça a resistência desejada.

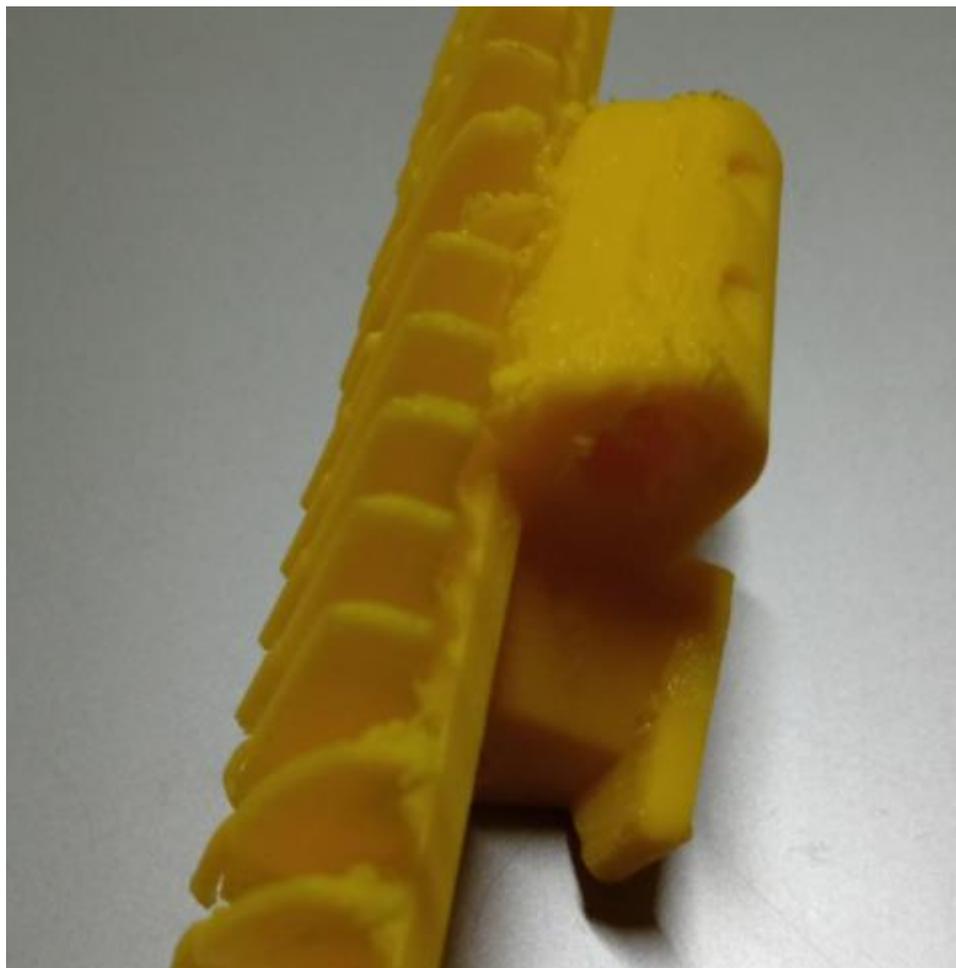
Porém, devido às características do processo de impressão, os dentes na parte superior da peça apresentam baixa aderência com relação a sua base devido a área de impressão de cada um deles ser muito pequena e preencher a apenas um contorno.

Figura 28 – Detalhe dos dentes



Já na parte inferior do modelo, onde ocorre o contato entre o elo e os dentes da engrenagem houve uma falha significativa na impressão da curvatura. Isso se deve a presença de pouco material de suporte presente na região.

Figura 29 – Detalhe da parte inferior



5.2.2 Resultados quantitativos

Os resultados quantitativos expressam a análise de dados deste trabalho. Foi avaliada a relação entre o custo de aquisição das peças e o tempo previsto para a entrega das mesas, conforme o quadro abaixo.

Quadro 2 – Importação de peças x Manufatura aditiva

Processo	Custo por unidade	Tempo de entrega
Importação	R\$ 227,55	60 dias
Impressão 3D	R\$ 450,00	20 dias

Com relação ao custo de aquisição dos elos, num primeiro momento as peças produzidas por manufatura tradicional representam um custo unitário menor que o do elo produzido por manufatura aditiva. Porém se considerarmos que a necessidade da empresa é de apenas 20 unidades, a impressão dos elos representaria 75,3% de redução de custo.

Já considerando o tempo de entrega das peças até a empresa, os elos produzidos localmente por manufatura aditiva apresentam 66,7% de redução. Isso se dá pelo fato de a impressão 3D diminuir o tempo demandado pela cadeia logística para transportar objetos a longas distâncias, podendo fabricar-se a peça até dentro das instalações do próprio cliente.

5. Conclusão

O trabalho apresentado foi desenvolvido a partir dos elos de uma esteira transportadora de aparelhos de barbear de uma indústria metalmecânica do ramo de bens de consumo situada na Zona Franca de Manaus. Uma vez definida a aplicação a ser estudada, a pesquisa foi fundamentada através da utilização métodos e técnicas do trabalho científico.

A escolha da tecnologia FDM para a impressão do modelo deve-se ao fato de ser o processo de AM mais usado comercialmente, e a disponibilidade de uma impressora 3D FDM na instituição de ensino em que este trabalho foi desenvolvido. Outro fator determinante foi a disponibilidade de fornecedores de impressão 3D FDM na região.

Com base no modelo obtido através da impressão 3D, observou-se que o processo de manufatura aditiva é capaz de replicar a geometria da peça original injetada com precisão satisfatória. A resistência mecânica do elo feito por AM mostrou-se ser adequada, uma vez que foram escolhidos parâmetros de processo que favorecem o suporte de cargas mecânicas maiores.

Em relação a análise quantitativa realizada, a opção de se obter os elos por um fornecedor de impressão 3D local mostrou-se ser mais vantajosa que o processo de importação dos mesmos. As peças fabricadas por AM representariam 75,3% de redução de custo a um tempo de entrega 66,7% menor que as originais importadas.

Porém, devido a geometria do modelo do elo em questão, a aplicação de AM para a redução de paradas de máquina mostrou-se ineficaz. Uma vez que os dentes da parte superior da peça ficaram frágeis devido a sua pequena área de impressão, sua aplicação em máquina representaria um número maior de paradas já que os barbeadores acabariam engatando nos espaços vazios deixados pelas partes quebradas.

A localização geográfica das empresas do PIM, somada a necessidade de redução de custos de manutenção, dentre outros fatores faz com que a aplicação de AM se torne cada vez mais tangível. Novas pesquisas vêm sendo desenvolvidas localmente e o número de fornecedores de impressão 3D vem aumentando.

5.1 Estudos futuros

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, identificou-se que já existem no Brasil algumas pesquisas e aplicações de AM voltadas para a área de manutenção. Porém ainda não há interesse expressivo das indústrias sobre o emprego da impressão 3D na redução de custos de manutenção.

Dentro do Polo Industrial de Manaus a maioria das empresas não conhece as possibilidades de aplicação de Manufatura aditiva para barateamento das atividades de manutenção industrial. Os fornecedores locais de impressão 3D são mais voltados para serviços de desenvolvimento de protótipos e jigs de fixação ou teste, não explorando a área de manutenção.

Embora neste trabalho, a aplicação de AM para a substituição dos elos de uma esteira transportadora não tenha se mostrado 100% efetiva, ainda há uma infinidade de componentes de máquinas que podem ser estudados. Tendo os alunos da instituição de ensino em que esta pesquisa foi desenvolvida, inúmeras oportunidades de desenvolvimento de trabalhos de pesquisa na área da Manufatura Aditiva.

O PLA é o material mais comumente usado no processo de impressão por ter um custo menor de aquisição e não necessitar de mesa aquecida para sua impressão, porém ele apresenta baixa resistência mecânica. Existem outros tipos de filamento com materiais de aplicação industrial, tais como o ABS, Nylon e composto com fibra de carbono, que suportam maiores cargas mecânicas. Como oportunidade futura, fica a possibilidade de imprimir a mesma peça em outros materiais para chegar na resistência desejada.

Como última consideração, estima-se que o trabalho desenvolvido possa servir como base para a fundamentação de futuras pesquisas relacionadas a Manufatura Aditiva e suas diversas aplicações. E que além de beneficiar a área de pesquisa, possa contribuir com as empresas do PIM.

6. REFERÊNCIAS

AIRES, M. O; et al. **Indústria 4.0: a manufatura aditiva como ferramenta de inovação e otimização**. Brazilian Journal of Business, Curitiba, 2019. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJB/article/view/4922>> . Acesso em 09 jun. 2021.

ANDRADE, Maria Margarida de. Introdução a Metodologia do Trabalho Científico. 6ª Ed. São Paulo: Atlas, 2006.

ARAÚJO, Vinicius **Cavalcante**. **Manufatura aditiva e suas aplicações na indústria: uma revisão de literatura**. 2021. 94f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Russas, 2021. Disponível em: <<http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/57827>>. Acesso em 07 jun. 2021.

ASSIS, M. M. S; CONTE, E. G. D. **Efeitos da orientação de construção no planejamento do processo de manufatura aditiva**. XL Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, 2020. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Erik-Del-Conte/publication/346692033_Efeitos_da_Orientacao_de_Construcao_no_Planejamento_do_Processo_da_Manufatura_Aditiva/links/5fd355ec299bf14088fe1fce/Efeitos-da-Orientacao-de-Construcao-no-Planejamento-do-Processo-da-Manufatura-Aditiva.pdf>. Acesso em 09 jun. 2021.

BEAMAN, J. J. et al. Solid freeform fabrication: a new Direction in manufacturing, Dordrecht. London: Kluwer Academic Publishers, 1997.

BLANTER, J. E. Manufacture of contour relief-maps. US473901 A, 24 Apr.1890, 3 May 1892. Disponível em: < <https://www.google.com/patents/US473901>>. Acesso em: 11 jul. 2021.

CAMPOS, L. E. S. M. Impressoras 3 D: definições, tecnologias e aplicações. Buenos Aires: Delearte Emcampos, 1st ed. 2011.

CALDERARO, DOUGLAS RHODEN. **Modelo de apoio à decisão para seleção de tecnologias de manufatura aditiva em sistemas produtivos**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, 2019. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/8385>>. Acesso em 07 jun. 2021.

CUNICO, M. M. W. M. Development of New Rapid Prototyping Process. Rapid Prototyping Journal, v.17, n.2, p. 6-6. 2011.

Continuous Liquid Interface Production CLIP. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Continuous-Liquid-Interface-Production-CLIP-Process-A-microneedle-patch-is_fig4_307956057> Acesso em 20 de nov. 2021.

FERNANDES, R. P. **Avaliação da exatidão geométrica de processo de manufatura aditiva**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto

Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1166/TCC_RAMON_PACKER.pdf?sequence=1>. Acesso em 07 jun. 2021.

FITZPATRICK, M. Introdução à manufatura. Porto Alegre: AMGH, 2013.

GALLIANO, A. G. O método científico: teoria e prática. São Paulo, Harbra, 1986.

GORNI, Antonio Augusto, 2014. *A Manufatura Aditiva Mostra suas Armas*. <www.revistaIH.com.br>

LAKATOS, MARCONI, 1994. *Metodologia científica*. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1994.

LOPES, G. A. A; GALDAMEZ, E. V. C. **Manufatura aditiva para a produção de peças de manutenção**. Universidade Estadual de Maringá – Centro de Tecnologia – Departamento de Engenharia de Produção, Maringá. Disponível em: <http://www.dep.uem.br/gdct/index.php/dep_tcc/article/view/1643/1689>. Acesso em 07 jun. 2021.

MARIOKA, I. Process for manufacturing a relief by the aid of photography. US2015457 A, 20 fev.1933, 24 set. 1935. Disponível em: <<https://www.google.ch/patents/US2015457>>. Acesso em: 10 jul. 2021.

NASCIMENTO, A. A., Tendências Tecnológicas em Prototipagem Rápida e Manufatura Aditiva. Projeto de Graduação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, 2013.

PRODANOV; FREITAS. Metodologia do Trabalho Científico. 2. Ed. 2013

SARTORI, ANDREY. **Análise dos efeitos da manufatura aditiva na cadeia de suprimentos**. Dissertação de Mestrado (Pós-graduação mestrado Profissional em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/196118>>. Acesso em 07 jun. 2021.

VOLPATO, N., Ed. Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações: EDGARD BLUCHER, 1st ed. 2006.

VOLPATO, N., Ed. Manufatura Aditiva: Tecnologias e Aplicações da impressão 3D: EDGARD BLUCHER, 1st ed. 2017.

WOHLERS ASSOCIATES. Wohlers report 2021: 3D printing and additive manufacturing, state of the industry annual worldwide progress report. Disponível em: <<https://wohlersassociates.com/press83.html>>. Acesso em 12 de jul. 2021.