



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA**

JOÃO CISNE MOREIRA NETO

**ESTUDOS DE CASOS SOBRE A UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE
MANUFATURA ADITIVA, EM EMPRESA DE ELETRODOMÉSTICOS DO
POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

Manaus
2024

JOÃO CISNE MOREIRA NETO

Estudos de casos sobre a utilização de técnicas de manufatura aditiva, em empresa de eletrodomésticos no Polo Industrial de Manaus.

Projeto de pesquisa desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Almir Kimura Junior

Manaus

2024

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia - EST

Reitor:

André Luiz Nunes Zogahib

Vice-Reitor:

Kátia do Nascimento Couceiro

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

Jucimar Maia da Silva Júnior

Coordenador do Curso de <Engenharia Elétrica>:

Jozias Parente de Oliveira

Banca Avaliadora composta por:

Prof. Dr. Almir Kimura Junior (Orientador)

Prof. Vitor Gadelha

Prof. Daniel Guzmán Del Rio

Data da defesa: <23/02/2024>.

CIP – Catalogação na Publicação

Cisne, João

Estudo de casos sobre a utilização de técnicas de manufatura aditiva, em empresa de eletrodomésticos do polo industrial de Manaus João Cisne Moreira Neto; [orientado por] Prof. Dr. Almir Kimura Junior – Manaus: 2024

79p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica).
Universidade do Estado do Amazonas, 2024

1. Manufatura Aditiva. 2. Modelagem 3D 3. Melhoria de Processos.
I. Kimura, Almir.

JOÃO CISNE MOREIRA NETO

Estudos de casos sobre a utilização de técnicas de manufatura aditiva, em empresa de eletrodomésticos no Polo Industrial de Manaus

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

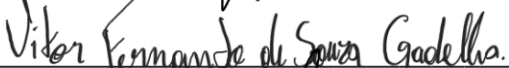
Nota obtida :9,5 (Nove e meio)

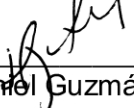
Aprovada em 27/02/2024.

Área de concentração: Indústria

BANCA EXAMINADORA


Orientador: Almir Kimura Junior, Prof. Dr.


Avaliador: Vitor Gadelha, Prof.


Avaliador: Daniel Guzmán Del Rio, Prof.

Manaus 2024

Dedico esse trabalho em primeiro lugar a Deus, provedor de todas as coisas, em seguida aos meus pais meus alicerces, minhas tias por todo apoio e dedicação e a minha melhor amiga e amor da minha vida por todo auxílio e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me abençoado dia após dia com sua infinita misericórdia e ter me dado forças para superar as dificuldades.

Agradeço ao meu Pai, Eneas Fernandes Rodrigues, pelo esforço, incentivo, por ter sido um exemplo de pai, pela dedicação em sempre me conceder o melhor estudo e por ter me proporcionado o melhor nesta vida, muito obrigado.

Agradeço a minha Mãe, Surama Nora Moreira Rodrigues, pelo amor, carinho, cuidado e por ter se esforçado para me proporcionar bons estudos.

Agradeço as minhas tias, Mirella Sumara e Glauce Suelbe, as quais sempre me apoiaram e me ajudaram, quando necessitei em momentos difíceis.

Agradeço a minha melhor amiga e amor Vithoria Regina Oliveira Souza, pelo amor, companheirismo, por ter me ajudado em cada etapa da faculdade me incentivando, me auxiliando em todos momentos difíceis.

Agradeço ao meu orientador Almir Kimura Junior, pela paciência, orientação e toda ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus colegas de trabalho, Everton Trindade, Rogério Marciel, Jonas Gualberto, e todos da equipe de engenharia e manutenção, que me tiveram paciência em me ensinar bastante, me apoiar num ambiente de trabalho totalmente novo, onde consegui oportunidade para realizar o tema deste trabalho.

Agradeço a Universidade do Estado do Amazonas, por ter contribuí para meu aprendizado e formação acadêmica.

RESUMO

Nesse trabalho foram realizados estudos de casos utilizando técnicas de manufatura aditiva em empresa produtora de eletrodomésticos no polo industrial de Manaus, com objetivo de reduzir o tempo de produção de protótipos, redução do consumo de matéria prima na confecção de dispositivos, dispor aos projetistas e engenheiros protótipos de alta qualidade para validação de design e conceitos em seus projetos. Foram analisadas oportunidades de aplicação da hipótese em empresa do PIM, Modelagem 3D de possíveis protótipos, fatiamento dos modelos em 3D, testes de validação dos protótipos criados. Para demonstrar a funcionalidade do tema em questão, foram apresentados 8 projetos, como, 1- Protótipo base das chaves com guia de ar, 2- Bloco de setup para máquina de dobra de gabinete de forno micro-ondas, 3- Matriz de dobra para tubos de cobre, 4- Suporte para placa PCB de ar-condicionado em linha de montagem, 5 - Modificação em gabaritos de solda de tubos de cobre, 6 - Gabaritos para verificação dimensional de tubos de cobre do ar-condicionado 7- gabarito para montagem de ventoinha no ar-condicionado, 8- JIG de teste de potência para lâmpadas de micro-ondas. Todos os projetos foram implementados em empresa do polo industrial de Manaus, cada projeto teve seus objetivos distintas um do outro, como melhoria de processo em linha de montagem, verificação de qualidade, redução de custo de material, prototipagem rápida, gabarito de montagem, trazendo para empresa um retorno financeiro. Os 8 estudos de casos resultaram num ganho de R\$315.000,00 de custo evitado, tempo de confecção de peças saindo de 1 semana para 1 horas, tendo um ROI de 1420% se os mesmos fossem confeccionados fora da empresa. Com isso o trabalho presente proporcionará redução de custo, redução de tempo de fabricação e flexibilidade para desenvolvimento de projetos nas empresas.

Palavras-chave: manufatura aditiva, modelagem 3D, impressão 3D, redução de custo, melhoria de processo, prototipagem rápida, flexibilidade.

ABSTRACT

In this work, case studies were carried out using additive manufacturing techniques in a company producing household appliances in the Manaus industrial hub, with the aim of reducing prototype production time, reducing the consumption of raw materials in the manufacture of devices, and providing designers and engineers with high-quality prototypes for validating design and concepts in their projects. Opportunities for applying the hypothesis in a PIM company were analyzed, 3D modeling of possible prototypes, slicing of 3D models, validation tests of the prototypes created. In order to demonstrate the functionality of the topic in question, 8 projects were presented, such as, 1- Base prototype of keys with air guide, 2- Setup block for microwave oven cabinet bending machine, 3- Bending matrix for copper tubes, 4- Support for air-conditioning PCB board on assembly line, 5 - Modification to copper tube soldering jigs, 6 - Jigs for dimensional checking of air-conditioning copper tubes 7- Jig for mounting fan in air-conditioning, 8- Power test jig for microwave lamps. All the projects were implemented in a company in the industrial hub of Manaus. Each project had different objectives, such as improving the assembly line process, verifying quality, reducing material costs, rapid prototyping, assembly jigs, bringing the company a financial return. The 8 case studies resulted in a gain of R\$300,000.00 in avoided costs, a reduction in the time it takes to make parts from 1 week to 1 hour, with an ROI of 1348% if they were made outside the company. As a result, this work will provide cost savings, reduced manufacturing time and flexibility for project development in companies.

Keywords: additive manufacturing, 3D modeling, 3D printing, cost reduction, process improvement, rapid prototyping, flexibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Demonstração de Modelagem 3D.....	19
Figura 2 – Processo de Fabricação Subtrativo.....	20
Figura 3 – Processo de Fabricação Aditivo	20
Figura 4 – Equipamento e o processo de SLA	21
Figura 5 – Equipamento e o processo de SLS	22
Figura 6 – Equipamento e o processo de FDM	23
Figura 7 – Diferentes tipos de Extrusor	24
Figura 8 – Ilustração Impressora 3D	24
Figura 9 – Software de fatiamento, Simplify 3D.....	27
Figura 10 – Fluxo Metodológico	31
Figura 11 – Parte interna do micro-ondas.....	32
Figura 12 – Desenho da primeira proposta de união da base das chaves com guia de ar do forno micro-ondas.	32
Figura 13 – Desenho da segunda proposta de união da base das chaves com guia de ar do forno micro-ondas.	32
Figura 14 – Segunda proposta de união da base das chaves com guia de ar do forno micro-ondas, importada no software fatiado Simplify 3D.....	33
Figura 15 – Protótipo do guia de ar com base das chaves feito em impressora 3D com material PLA.....	34
Figura 16 – Utilização do protótipo do guia de ar com base das chaves em forno micro-ondas para realização de testes de qualidade.	34
Figura 17 – Tubos que são confeccionados em máquina de dobra CNC, para condensador de ar condicionado.	36
Figura 18 – Desenho do tubo de cobre, Curva Maior, com duas dobras	36
Figura 19 – Tubo de cobre, Curva Maior, com uma dobra	36
Figura 20 – Desenho matriz de dobra com raio 30mm, para máquina CNC de dobra.....	37
Figura 21 – Matriz curva maior em software fatiador	37
Figura 22 – Processo de impressão visto pelo software Simplify 3D	38
Figura 23 – Matriz de dobra de raio 30mm confeccionado em impressora 3D.....	38
Figura 24 – Teste do protótipo em máquina CNC	39
Figura 25 - Curva maior feita em matriz de dobra 3D ao lado da Curva maior antiga com duas dobras.....	39
Figura 26 - Curva maior feita em matriz de dobra 3D em Unidade Externa do Ar-	

condicionado.	40
Figura 27 – Máquina de dobrar gabinete micro-ondas.....	41
Figura 28 – Desenho matriz de setup, máquina de dobra de gabinete	42
Figura 29 – Matriz de Setup feita em impressão 3D em máquina de dobra de gabinete com todos os modelos identificados.....	42
Figura 30 – Suporte placa PCB em software fatiador,	43
Figura 31 – Suporte placa PCB feito em impressora 3D.....	44
Figura 32 – Suporte placa PCB feito em impressora 3D, sendo utilizado em linha de montagem	44
Figura 33 – Suporte para tubos de cobre utilizados em carrossel de solda	46
Figura 34 – Gabaritos de verificação dimensional de tubos de cobre feitos na impressora	47
Figura 35 – Gabaritos de centralização da ventoinha da unidade interna do ar-condicionado.	48
Figura 36 – Desenho das peças do JIG de teste para uma lâmpada em software CAD...49	
Figura 37 – JIG de teste para uma lâmpada do forno micro-ondas.....	50
Figura 38 – Desenho das peças do JIG de teste para cinco lâmpadas em software CAD51	
Figura 39 – JIG de teste de cinco lâmpadas realizando verificação de potência	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros utilizados para realização da impressão Caso 1 com filamento PLA.	33
Tabela 2 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do Caso 1 com filamento ABS.	35
Tabela 3 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 2.....	38
Tabela 4 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 3.	41
Tabela 5 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 4.....	43
Tabela 6 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 5.....	45
Tabela 7– Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 6.....	46
Tabela 8 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 7.....	48
Tabela 9 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 8, JIG de teste de potência para uma lâmpada.....	50
Tabela 10 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 8, JIG de teste de potência para 5 lâmpadas.	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS – Acrilonitrila Butadieno Estireno

ASCII – Código Padrão Americano para Intercâmbio de Informações

ASTM – Sociedade Americana de Testes e Materiais

CAD – Computer-Aided Designs

CAE – Engenharia Assistida Por Computador

CAM – Manufatura Assistida Por Computador

CNC – Controle Numérico Computadorizado

FDM – Modelagem de Deposição Fundida.

KPI – Key Performance Indicator

MA – Manufatura Aditiva

NRFT – Not Right First Time

OEE – Overall Equipment Effectiveness

PCB – Printed Circuit Board

PIM – Polo Industrial de Manaus

PLA – Ácido Polilático

ROI – Retorno sobre investimento

SLA – Estereolitografia

SLS – Sinterização Seletiva a Laser

STL – STereoLithography ou Estereolitografia

TPM – Manutenção Produtiva Total

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REFERENCIALTEÓRICO	17
2.1 Prototipagem no passado	17
2.2 Prototipagem no passado	17
2.3 Modelagem 3D	18
2.4 Manufatura aditiva	19
2.5 Tipos de manufatura aditiva	21
2.5.1 Estereolitografia - SLA	21
2.5.2 Sinterização seletiva a laser – SLS	22
2.5.3 Modelagem por deposição de material fundido	22
2.6 Impressora 3D	23
2.7 Parâmetros de impressão	25
2.7.1 Porcentagem de Preenchimento	25
2.7.2 Velocidade de Impressão	25
2.7.3 Orientação de Impressão	25
2.7.4 Orientação dos Filamentos	25
2.7.5 Espessura da Camada	25
2.8 Processos para realizar a Impressão 3D	26
2.9 Software fatiador	27
2.10 Tipos de filamentos	27
2.10.1 PLA	27
2.10.2 ABS	28
2.11 KPI nas indústrias	28
2.11.1 Lead Time de Fabricação	29
2.11.2 Causa das paradas na linha de produção	29
2.11.3 Monitoramento da operação gargalo	29
2.11.4 Monitoramento de retrabalho dos produtos	29
2.11.5 ROI	29
3. METODOLOGIA	30
4 ESTUDOS DE CASOS	31
4.1 Caso 1 - Protótipo base das chaves com guia de ar	31
4.2 Caso 2 - Matriz de Dobra para Tubos de Cobre	35
4.3 Caso 3 - Bloco de setup para máquina de dobra de gabinete de forno micro-	

ondas.....	40
4.4 Caso 4 - Suporte para placa PCB de ar-condicionado em Linha de montagem	42
4.5 Caso 5 - Modificação em Gabaritos de solda de tubos de cobre.	44
4.6 Caso 6 - Gabaritos para verificação Dimensional de tubos de cobre do ar- condicionado.....	46
4.7 Caso 7 - Gabarito para montagem de ventoinha no ar-condicionado.....	47
4.8 Caso 8 - JIG de teste de potência para lâmpadas de micro-ondas.	48
5 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIA	54
APÊNDICE.....	55

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, pode ser observado um grande salto nos avanços tecnológicos, como o acesso à internet, inteligência artificial, desenvolvimento de novos tipos de materiais, entre outros. Devido a esse grande avanço da tecnologia, as empresas visam a mudanças em seus produtos de forma a alcançar à frente no mercado de modo rentável. Por conta disso, o tempo e o custo se tornam as variáveis principais para as empresas durante desenvolvimento de novos projetos.

Para um projeto de um novo produto ser implementado, devem ser analisadas diversas informações como: design, funcionalidade, aplicabilidade, dentre outros. Após a ideia formada, o projeto deve passar pelo teste, para verificar se o objetivo foi atingido, desta forma o uso de protótipos se faz fundamental no desenvolvimento de novos produtos.

Estima-se que o custo de alterações feitas no produto aumente dez vezes mais entre as fases do ciclo de produção. Desta forma uma alteração feita durante comercialização pode chegar a custar a mil vezes mais do que alteração realizada durante o desenvolvimento. (RAULINO 2011 APUD FONTES 2019)

Visto isso, a realização de um bom protótipo se faz essencial para realização de um projeto. Por conta disso, o presente projeto busca demonstrar técnicas de manufatura aditiva para a realização de prototipagem rápida, com baixo custo, podendo realizar manufatura de dispositivos de diversas geometrias, se mostrando como uma grande alternativa para a confecção de protótipos de forma rentável.

A manufatura aditiva permite a criação de geometrias complexas e designs altamente personalizados que seriam difíceis ou impossíveis de serem fabricados usando métodos convencionais.

Ao contrário dos processos de fabricação subtrativa, como a usinagem, onde o material é retirado de uma peça bruta, a manufatura aditiva constrói objetos camada por camada a partir de material em pó, líquido ou filamento. Isso reduz significativamente o desperdício de material, tornando a produção mais eficiente e econômica. Aumenta a agilidade do processo de desenvolvimento de produtos, pois elimina a necessidade de ferramentas e moldes caros que são requeridos em processos tradicionais. Isso resulta em tempos de prototipagem mais curtos e redução dos custos associados. Permite a criação rápida de protótipos funcionais e físicos a partir de modelos digitais. Isso reduz significativamente o tempo necessário para iterar e refinar um projeto, acelerando o processo de desenvolvimento.

OBJETIVOS GERAIS

Os objetivos do presente trabalho é busca demonstrar através dos estudos de

casos, diferentes aplicações de manufatura aditiva, mostrando suas vantagens, e sua versatilidade em desenvolvimento de projetos com design mais complexos, facilitando o trabalho dos engenheiros.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos que o presente trabalho pretende atingir são:

- Fazer levantamento Bibliográfico.
- Analisar possíveis oportunidades de aplicação da hipótese em empresa do PIM.
- Realizar modelagem 3D de possíveis protótipos.
- Realizar impressão 3D dos protótipos.
- Realizar testes de validação dos protótipos criados.
- Reduzir custo de matéria prima na criação de protótipos.
- Reduzir tempo de fabricação de protótipos.
- Mensurar os ganhos dos trabalhos realizados

ESTRUTURA DO TRABALHO

Para ordenar os temas do trabalho de forma clara e coesa, este trabalho está dividido em 5 capítulos, além de referências e apêndice.

Capítulo 1 – Introdução: Possui a função de relatar previamente, do assunto que será constado no presente trabalho, e atividade que foram realizadas.

Capítulo 2 – Referencial teórico: Tem finalidade de descrever conceitos principais das tecnologias e fundamentos que estão envolvidas no tema do trabalho

Capítulo 3 – Metodologia: Tem a finalidade de descrever quais foram os passos necessários para ser dado o início deste projeto e embasar o leitor dos métodos que foram utilizados para se obter os resultados.

Capítulo 4 – Estudos de Casos: Tem a função de demonstrar os 8 projetos que foram realizados utilizando manufatura aditiva e seus resultados.

Capítulo 5 – Conclusão: Onde será constatado um resumo dos resultados obtidos durante os estudos de casos, e um desfecho da relevância da hipótese de baseado nos resultados.

Referência – Lista de todas as fontes bibliográficas que auxiliaram para o desenvolvimento do presente trabalho.

Apêndice – Desenhos técnicos dos protótipos que foram modelados em 3D e confeccionados a partir da manufatura aditiva.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Prototipagem no passado

Há 200 anos atrás, os dispositivos eram feitos sem testes nem ensaios, seus ajustes eram realizados diretamente no produto final. Por conta disso o material a ser construído deveria ser capaz de ser modificado durante o seu desenvolvimento. Também não era possível ter uma repetibilidade dos produtos, por conta de serem feitas há mão e com ferramentas de baixa precisão, desta forma a necessidade de fazer protótipo era difícil de ser aderida, e quando era necessário, se fazia por tentativa e erro, até chega num resultado que o projetista estivesse satisfeito. (ALCAIDE 2018).

Com o passar do tempo, os produtos começaram a serem produzindo por máquinas com maior precisão e repetibilidade, porém ainda sim, eram poucos protótipos, devido a limitação de custo e tempo, que inviabilizavam esse processo de desenvolvimento do produto, se o produto a ser lançado não tivesse um bom valor agrado, não se tornava viável a confecção de protótipos. (ALCAIDE 2018).

Com o desenvolvimento dos computadores nos processos de automatização de máquinas de fabricação (usinagem e fresagem), diversos produtos começaram a ser testados por meio de protótipos, com intuito de reduzir o desperdício de tempo, dinheiro e matéria-prima, pois os protótipos permitem a visualização erros e pontos a serem melhorados, antes de produzir em larga escala.

Na década de 80, Charles W. Hull, inventou uma máquina capaz de realizar o processo de Estereolitografia. Essa técnica foi aplicada na primeira impressora 3D, ela possibilitava a construção de um protótipo físico real a partir de um código de computador que representava os desenhos de um produto em desenvolvimento. E quando interpretado pelo equipamento de fabricação 3D, o objeto é confeccionado em material de menor valor, e geralmente em um tempo e custo menor que o necessário na fabricação tradicional. (ALCAIDE 2018).

2.2 Prototipagem no passado

A fabricação digital é um tipo de produção de objetos físicos a partir de modelos digitais, cujos dados são enviados diretamente para equipamentos controlados numericamente, eliminando etapas intermediárias de produção. A fabricação digital já existe deste a década de 1950, tendo sido largamente utilizada na produção de componentes para a indústria aeronáutica e automobilística. Devido ao avanço desse tipo de maquinário nas últimas décadas e a redução de custo dos equipamentos, esse processo de fabricação começou a ser empregado na construção civil a partir do aperfeiçoamento de tecnologias de projeto dos sistemas CAD, que significa desenho assistido por computador.

A explosão das novas capacidades da computação, ao longo dos anos, permitiu grandes avanços em diversas áreas, como na inteligência artificial, na automação e na robótica. A interação homem-máquina vem comportando inovações que poderão mudar a natureza dos processos de fabricação (ANDERSON, 2012 ADUP OLIVEIRA 2016). Para Anderson (2012), a evolução das ferramentas, instrumentos e posteriormente das máquinas, deram origem ao que chamamos de “máquinas de controle numérico”. Uma fusão entre a indústria mecânica tradicional e a informática. São máquinas que executam tarefas de maneira digital, onde a intervenção humana, em termos físicos, é quase inexistente. (OLIVEIRA 2016). Desta forma, a partir dos desenhos virtuais gerados pelo software CAD, as máquinas de controle numérico programável conseguem produzir os objetos físicos, calculando os movimentos e etapas de movimentação para a fabricação do objeto desejado.

Para Igoe e Mota (2011), a Fabricação Digital pode ser definida como um novo tipo de indústria que utiliza ferramentas e processos controlados por computador para transformar, diretamente, projetos digitais em produtos físicos. Isso inclui todas as tecnologias que utilizam métodos de deposição de materiais para o desenvolvimento de estruturas de duas ou três dimensões, padrões ou produtos. (OLIVEIRA 2016)

Para Eychenne e Neves (2013), o surgimento dos processos digitais, por intermédio das máquinas CNC (Controle Numérico Computadorizado) e sistemas CAD/CAE/CAM, indicam uma tendência na quebra de paradigmas nos processos de fabricação, que precisam ser acompanhadas com bastante atenção pelas universidades, profissionais da área e pelos diferentes setores industriais, visto que essa tecnologia vem, a cada dia, se tornando mais barata e economicamente acessível. (OLIVEIRA 2016).

2.3 Modelagem 3D

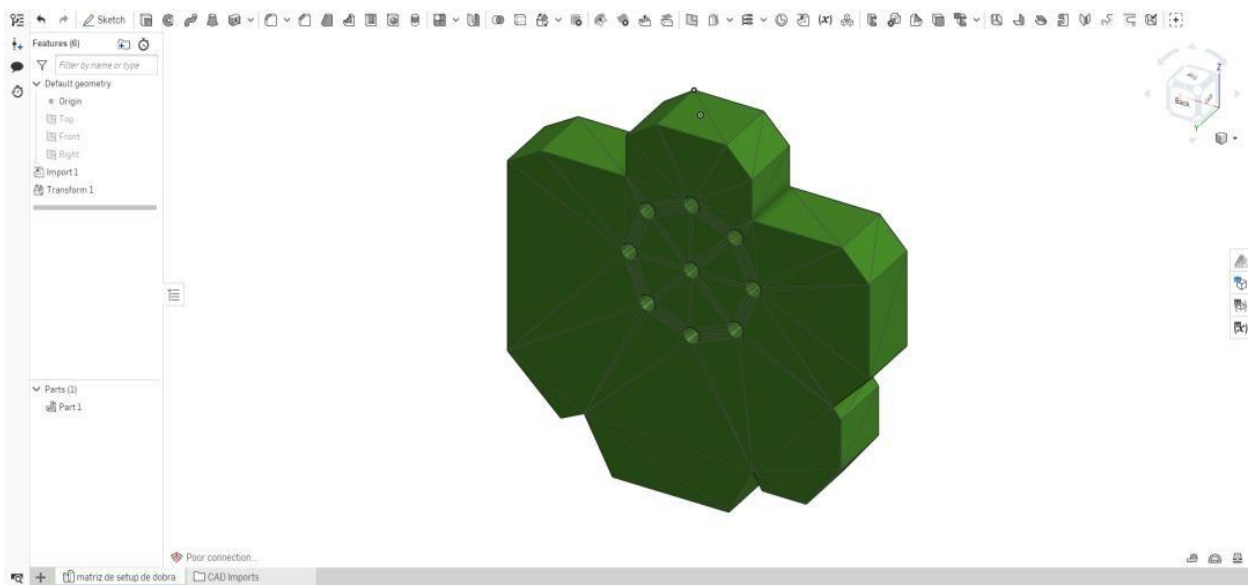
Em 1982, surgiu o AutoCAD, um sistema 2D que trazia na sua concepção os princípios dos desenhos realizados em pranchetas. Apesar de sua popularidade, este sistema apresentava limitações e não atendia convenientemente as necessidades dos projetistas. Os sistemas de CAD-3D surgiram para atender de forma mais adequada estas necessidades. Eles podem ser classificados pelo tipo de representação dos modelos tridimensionais em wireframe, superfície e sólido. Existem ainda os modelos híbridos que possuem características tanto dos modelos sólidos como dos por superfície.

A modelagem por wireframe (armação em arame) se baseia na união de linhas entre pontos no espaço 3D, criando modelos espaciais. Não há superfícies em um modelo wireframe, só vértices, linhas, retas e curvas que representam as arestas de um objeto 3D. Este tipo de modelagem utiliza menos processamento do que as outras, porém não é completa e livre de ambiguidades, nem é possível a determinação de seções,

volume ou massa do objeto a partir do modelo. Os modeladores wireframe foram os primeiros que surgiram, porém, hoje não são mais utilizados, dando lugar aos outros dois. (FOGGIATTO,2007).

A modelagem digital 3D é uma tecnologia de representação matemática de formas, objetos, personagens e cenários que busca simular a realidade, por meio de um espaço virtual tridimensional, baseado em três eixos, x, y e z. As técnicas mais comuns de modelagem são a técnica por polígonos, por vértices e por bordas, e todas implicam em se criar uma malha, que define a forma do objeto modelado, um exemplo de modelagem 3D, pode ser observado na Figura 1. (FOGGIATTO,2007).

Figura 1 – Demonstração de Modelagem 3D

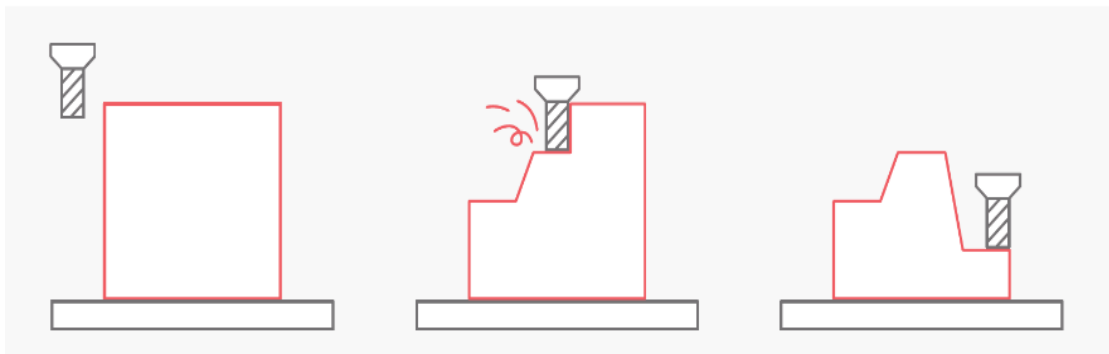


Fonte – Próprio autor

2.4 Manufatura aditiva

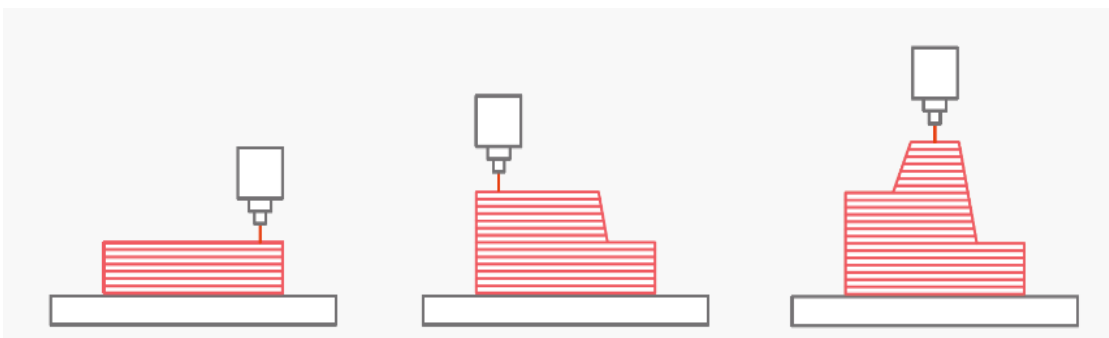
A manufatura aditiva se caracteriza pelo emprego de equipamentos capazes de fabricar objetos por meio da adição de material, camada por camada, a partir de um modelo digital tridimensional (3D), usualmente obtido por meio do emprego de um sistema CAD (Computer Aided Design). Assim, tem-se o conceito de produção por adição de material em contraste à produção por métodos convencionais, em que a peça é obtida pela retirada de material, como na usinagem, conforme as Figuras 2 e Figura 3 (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON,2012).

Figura 2 – Processo de Fabricação Subtrativo



Fonte - REDWOOD et al. (2017).

Figura 3 – Processo de Fabricação Aditiva



Fonte - REDWOOD et al. (2017).

Os primeiros equipamentos de manufatura aditiva foram máquinas de prototipagem rápida (rapid prototyping), que começaram a surgir a partir da década de 1980. O termo prototipagem rápida provém de uma das finalidades dessas máquinas: produzir protótipos tridimensionais de produtos de uma maneira rápida e generalizada (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012). Entretanto, hoje em dia, esses equipamentos não se limitam simplesmente à produção de protótipos, ingressando na manufatura final de produtos e “depositando” uma gama maior de materiais, incluindo plásticos, cerâmicas e ligas metálicas. Assim, a terminologia mais usual no âmbito técnico e adotada pela ASTM (American Society for Testing and Materials) é manufatura aditiva (additive manufacturing) (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2009; AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2012).

Características fundamentais da manufatura aditiva são a redução do número de etapas e processos na fabricação de um objeto, a economia de material e a possibilidade de combinação inéditas de geometrias e materiais. Para a produção de uma única peça de geometria complexa por meios convencionais, pode ser necessário o emprego de diversas máquinas, ferramental específico e de diversos processos de usinagem e de acabamento até o produto final, enquanto uma máquina de manufatura aditiva pode produzir a peça em uma única etapa ou em um número significativamente menor de etapas. Uma vez que a peça é produzida por deposição de material, camada por

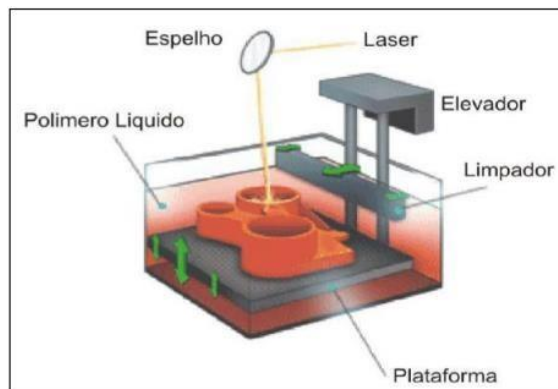
camada, não haveria desperdício de materiais, como é o caso de cavacos produzidos pela usinagem. Assim, a manufatura aditiva serve como meio de designers e projetistas produzirem protótipos de seus projetos para testá-los ou apresentá-los a colaboradores ou clientes de maneira rápida e eficiente. Serve também para a produção de bens complexos, como próteses médicas personalizadas e, cada vez mais, mostra-se como um integrante da cadeia produtiva na indústria (HOPKINSON; HAGUE; DICKENS, 2006; STRANO et al., 2013; GUO; LEU, 2013). M.A. EM PROTOTIPAGEM.

2.5 Tipos de manufatura aditiva

2.5.1 Estereolitografia - SLA

Estereolitografia, ou SLA, foi a primeira técnica de impressão 3D criada em 1984 e patenteado em 1986 por Chuck Hull. Ela constrói modelos tridimensionais a partir de polímeros líquidos sensíveis à luz, que se solidificam quando expostos à radiação ultravioleta, na Figura 4 mostra um exemplo de estereolitografia. (GORNÍ, 2001 APUD FONTES 2019).

Figura 4 – Equipamento e o processo de SLA



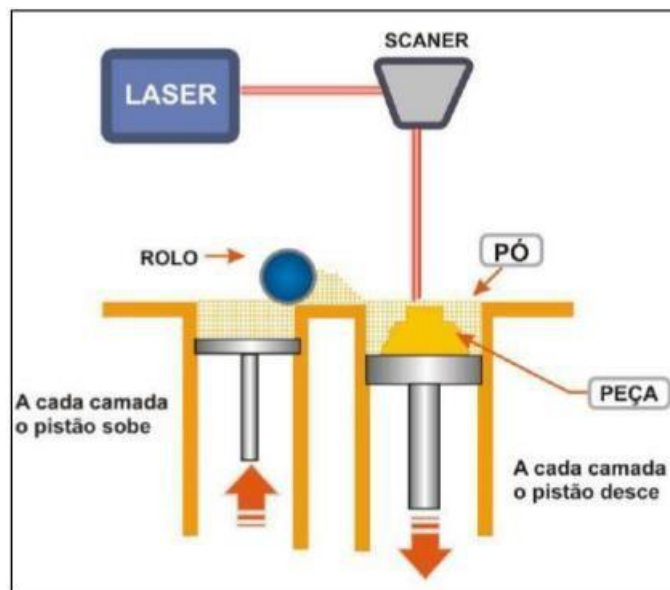
Fonte - Pradella e Folle (2014).

O modelo foi construído sobre uma plataforma situada imediatamente abaixo da superfície de um banho líquido de resina epóxi ou acrílica, formando uma fina camada líquida acima da plataforma. Uma fonte de raio laser ultravioleta, com alta precisão de foco, traça a primeira camada, solidificando a seção transversal do modelo e deixando as demais áreas líquidas. A seguir, um elevador mergulha levemente a plataforma no banho de polímero líquido e o raio laser cria a segunda camada de polímero sólido acima da primeira camada. O processo é repetido sucessivas vezes até o protótipo estar completo. Uma vez pronto, o modelo sólido é removido do banho de polímero líquido e lavado. Os suportes são retirados e o modelo é introduzido num forno de radiação ultravioleta para ser submetido a uma cura completa. Uma vez que a estereolitografia foi a primeira técnica bem-sucedida de prototipagem rápida ela se tornou o benchmarking para as demais que surgiram. (GORNÍ, 2001 APUD FONTES 2019).

2.5.2 Sinterização seletiva a laser – SLS

Sinterização Seletiva a Laser, ou SLS, é uma técnica que usa um raio de laser para fundir, de forma seletiva, materiais pulverulentos, tais como nylon, elastômeros e metais, num objeto sólido. As peças são construídas sobre uma plataforma a qual está imediatamente abaixo da superfície de um recipiente preenchido com o pó fusível por calor. O raio laser traça a primeira camada, sinterizando o material. A plataforma é ligeiramente abaixada, reaplica-se o pó e o raio laser traça a segunda camada. O processo continua até que a peça esteja terminada. O excesso de pó que não foi sinterizado pelo laser faz a função de suporte ao componente durante sua construção. Ao remover a peça da plataforma o excesso de pó se desprende facilmente da peça, eliminando a etapa de remoção de suportes, um exemplo pode ser mostrado na Figura 5. (GORNI, 2001 APUD FONTES 2019).

Figura 5 – Equipamento e o processo de SLS



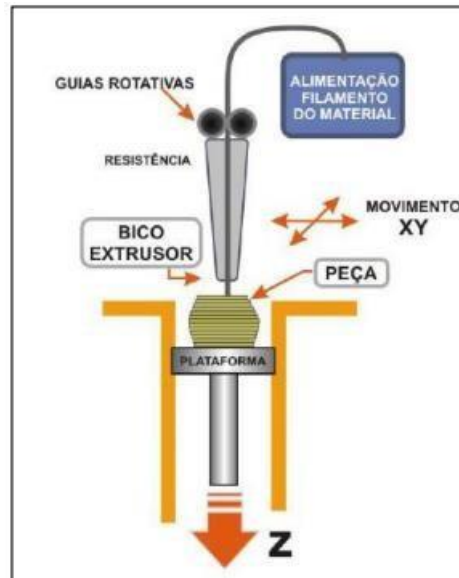
Fonte: Pradella e Folle (2014)

2.5.3 Modelagem por deposição de material fundido

Modelagem por deposição de material fundido, ou FDM, são filamentos de resina termoplástica aquecidas e extrudadas a partir de uma matriz em forma de ponta que se move num plano X-Y. Da mesma maneira que um confeitiro enfeita um bolo usando um saco de confeitaria, a matriz de extrusão controlada deposita filetes de material muito fino sobre a plataforma de construção, formando a primeira camada do componente. A plataforma é mantida sob uma temperatura inferior à do material, de forma que a resina termoplástica endurece rapidamente. Após esse endurecimento a plataforma se abaixa ligeiramente e a matriz de extrusão deposita uma segunda camada sobre a primeira. O processo é repetido até a construção total do protótipo. São construídos suportes durante a fabricação, utilizando um segundo material, mais fraco, para garantir a sustentação do

protótipo durante sua fabricação, conforme a Figura 6.(GORNI, 2001 APUD FONTES 2019).

Figura 6 – Equipamento e o processo de FDM



Fonte: Pradella e Folle (2014)

2.6 Impressora 3D

De acordo com Hausman e Horne (2014) as impressoras 3D são muito parecidas com as impressoras que imprimem textos, cópias de documentos, onde estas recebem um documento eletrônico transmitido pelo computador. A diferença básica é que a impressora 3D cria um objeto sólido tridimensional a partir de uma variedade de materiais, e não apenas um simples papel documento. (HAUSMAN e HORNE, 2014).

Atualmente podemos encontrar impressoras 3D que utilizam o processo de FDM sendo fornecidas por diversos fabricantes, onde podemos encontrar diferenças em sua estrutura, sendo umas abertas, tendo a impressão contada com o ar e o tato, e outras fechadas, onde a parte da impressão fica enclausurada por sua estrutura. Elas podem também ter diferentes tipos de design, porém toda impressora 3D que utiliza o processo FDM, tem suas semelhanças independente do fabricante, sendo elas a utilização de um extrusor, mesa aquecida. (HAUSMAN e HORNE, 2014).

A parte de extrusão a quente de uma impressora 3D é uma das partes mais importantes para garantir uma boa qualidade de impressão. O tipo mais comum de extrusor é o hot-end, que pode ser de alumínio ou latão com bico de um buraco pequeno (tipicamente de 0,4 ou 0,5 mm de diâmetro) na extremidade. Isto é onde a fusão do plástico é extrudado. O bronze é muitas vezes utilizado, uma vez que fornece a condução de calor adequada. Extrusor de alumínio pode aquecer mais rápido e pode melhorar a velocidade de impressão, mas em alumínio são menos comuns (HAUSMAN e HORNE, 2014).

O bocal de extrusão é enroscado num bloco de aquecimento, e muitas vezes estas duas peças são integradas e usinadas como uma única parte. O bloco de aquecimento contém um elemento de aquecimento, este pode ser um resistor de esmalte vítreo, um comprimento de fio de níquel-cromo ou de um aquecedor de cartucho. Um aquecedor de cartucho é geralmente uma segura forma de aquecer a matéria plástica. Um sensor de temperatura é também necessário para controlar o aquecimento exato do material a ser extrudado, tipos de extrusores podem ser observados na Figura 7. (HAUSMAN e HORNE, 2014)

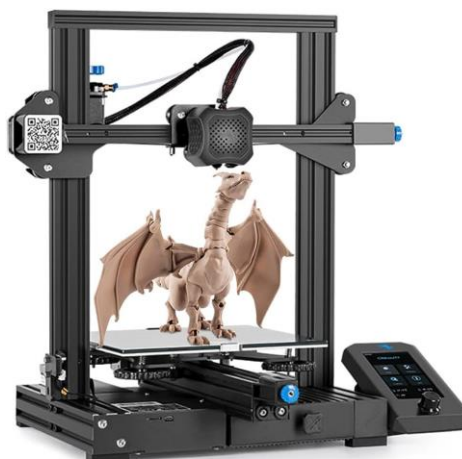
Figura 7 – Diferentes tipos de Extrusor



Fonte: Hausman e Horne (2014).

A mesa aquecida da impressora 3D pode ser feita a partir de qualquer um de diversos materiais. Porque muitas impressoras 3D movem a placa de construção para trás e para frente no eixo Y, é desejável fazer a placa de construção e quaisquer elementos de aquecimento o mais leve possível, para o eixo Y poder mover e acelerar rapidamente (HAUSMAN e HORNE, 2014). A placa de construção é normalmente uma superfície plana, podendo ser de vidro, alumínio ou aço. Também são necessários isolamento térmico e um modo para nivelar a mesa aquecida mecanicamente. Uma demonstração de uma impressora 3D, pode ser vista na Figura 8. (HAUSMAN e HORNE, 2014).

Figura 8 – Ilustração Impressora 3D



2.7 Parâmetros de impressão

Para a realização de uma impressão 3D, torna-se necessária uma configuração prévia, no software fatiado, como ajustes de parâmetros específicos que resultarão nas características finais deste da peça ou componente a ser impresso, uma vez que estes parâmetros têm potencial para alterar a dimensão e o comportamento mecânico da peça final. (SILVA,2022)

2.7.1 Porcentagem de Preenchimento

A porcentagem ou densidade de preenchimento refere-se à quantidade de material impresso que a peça terá no seu interior. É medido em porcentagem, podendo variar de 0% a 100%, sendo que, este segundo corresponde a uma peça completamente sólida, e o primeiro, diz respeito a uma peça apenas com contorno. À medida que a porcentagem de preenchimento for aumentada, o objeto impresso se tornará mais pesado e resistente. Em contrapartida, o tempo e custo (gasto com material), será maior (Casagrande, 2018; ALL3DP, 2019).

2.7.2 Velocidade de Impressão

A velocidade de impressão caracteriza-se pela velocidade que o bico extrusor se movimentará durante todo o período de impressão (Sood et al., 2011 APUD SILVA 2022). Segundo 32 Silva et al., (2020), é indicado mantê-la moderada, para um melhor acabamento e qualidade, sendo que usualmente este valor é de 60mm/s, podendo chegar a 40 mm/s quando se buscar uma qualidade superficial melhor.

2.7.3 Orientação de Impressão

A orientação de impressão é a posição da peça na mesa de construção e relação aos eixos X, Y e Z (Sood et al., 2011 APUD SILVA 2022). Este parâmetro deve ser analisado considerando a geometria da peça, o tempo para impressão e o acabamento que se espera. Além disso, certas orientações farão com que haja a necessidade da criação de suportes (Gibson et al., 2010 APUD SILVA 2022).

2.7.4 Orientação dos Filamentos

A orientação da deposição dos filamentos é a maneira como os filamentos são depositados, camada a camada 0°, 90° ou 45°, X, Y e Z respectivamente. Esta escolha fornece à peça diferentes comportamentos diante dos esforços a que ela será submetida. Para tanto, deve ser escolhido conforme a finalidade da peça (Sood et al., 2011 APUD SILVA 2022).

2.7.5 Espessura da Camada

A espessura da camada é a dimensão da altura da camada medida na direção do eixo Z do modelo. É definida pelo diâmetro do bico extrusor, sendo que o mais comumente utilizado são dimensões entre 0,1mm e 0,3mm dependendo da qualidade

pretendida e a finalidade da peça. Este parâmetro afeta qualidade, tempo de impressão, resistência entre outras características (ALL3DP, 2019; Araujo 2016).

2.8 Processos para realizar a Impressão 3D.

De acordo com Takagaki (2012) os processos de impressão 3D estão baseados em 5 passos, ou seja:

1) Desenho do objeto em um software de CAD 3D. Ex.: SolidWorks, AutoCAD 3D, Catia, Google SketchUp Pro etc. (TAKAGAKI, 2012, p. 31 APUD RITTER 2014).

2) Conversão do arquivo do software de CAD para formato STL, comum à impressora 3D. O formato STL descreve as superfícies, internas e externas, através do contorno da figura 3D através de um conjunto de superfícies triangulares de diversas dimensões e formas. Quanto maior o número de superfícies triangulares utilizadas, maior a precisão da figura. O arquivo STL pode ser binário ou ASCII e ele basicamente descreve os 3 vértices de cada triângulo, através das suas coordenadas x,y,z ortogonais e algum atributo específico da superfície, em questão. O arquivo STL é genérico para qualquer impressora 3D (TAKAGAKI, 2012, p. 31 APUD RITTER 2014).

3) Escolha do plano de referência e fatiamento da figura. Para ser impresso, deverá ser escolhido um plano de referência do arquivo STL e a figura deverá ser fatiada em diversas superfícies, sempre paralela a um plano de referência. A espessura do fatiamento será definida pela precisão da tecnologia de impressão utilizada. Quanto mais preciso, mais delgado será o fatiamento. A figura fatiada é geralmente descrita em um arquivo de formato SGM (TAKAGAKI, 2012, p. 31 APUD RITTER 2014).

4) Criação dos códigos para os comandos no equipamento. Cada uma dessas superfícies obtidas, através do fatiamento da figura original, é descrita, geralmente, em uma linguagem criada em tecnologias de CNC (controle numérico) denominada Gcode. O Gcode descreve cada superfície horizontal através de comandos utilizados em máquinas de controle numérico, tais como: caminhe a uma velocidade de X m/s das coordenadas A até B com o laser cabeça de impressão ligada. Isso fará com que a impressora 3D, imprima uma linha sólida de espessura definida pela tecnologia, no plano definido pelas coordenadas A e B. A impressão de diversas linhas sólidas num determinado plano, definirá a impressão da superfície desejada. O arquivo Gcode descreve todas as superfícies fatiadas em um único arquivo que é interpretado pela maioria das impressoras 3D. A linguagem Gcode tem diversos dialetos para cada tipo de aplicação 23 específica E.G. se é possível imprimir com atributo cores, há um adendo na linguagem para a escolha da cor (TAKAGAKI, 2012, p. 31 APUD RITTER 2014).

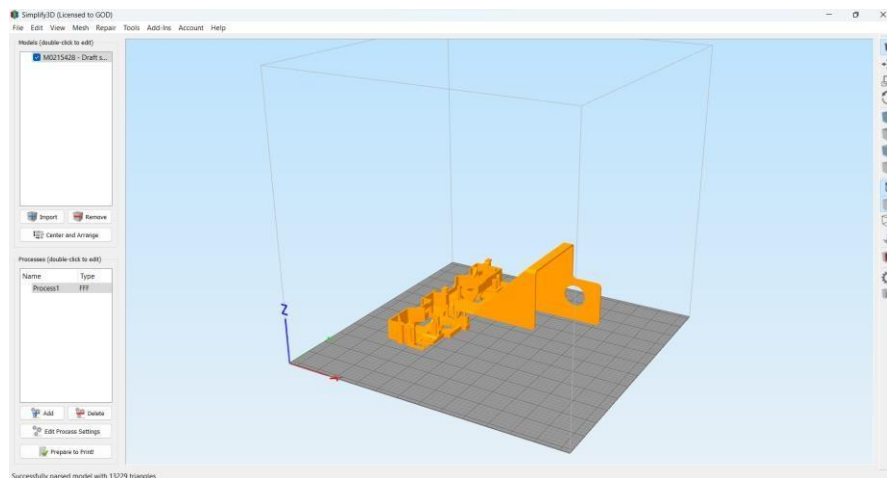
5) Impressão. É nesta etapa que a impressora interpreta a linguagem Gcode, que

a instrui a imprimir linha a linha, superfície a superfície, até obter o objeto desejado. (TAKAGAKI, 2012, p. 31 APUD RITTER 2014).

2.9 Software fatiador

Uma aplicação fatiadora, segundo Evans (2012), cria os comandos necessários para a impressora 3D a partir do modelo em 3D(STL), que resulta em um arquivo GCode. O GCode é uma linguagem que foi criada juntamente com a tecnologia CNC mencionada anteriormente, e é composta por uma série de comandos que executam atividades diferentes na impressão 3D. Também existem alguns formatos de GCode que são proprietários, ou seja, somente alguns fatiadores e impressoras 3D conseguem gerar e interpretar esse tipo de arquivo. Existem diversos programas fatiadores, os principais são o Simplify3D(Figura 9) que é, um fatiador proprietário, e o Cura11, desenvolvido pela Ultimaker que é distribuído como open-source. (SILVA ,2019)

Figura 9 – Software de fatiamento, Simplify 3D



Fonte – Próprio Autor

2.10 Tipos de filamentos

2.10.1 PLA

O ácido polilático (PLA), é o principal filamento utilizados nas impressoras 3D. Segundo Brito et al. “o poli (ácido láctico) – PLA é um poliéster alifático, termoplástico, semicristalino ou amorfo, bi compatível e biodegradável, sintetizado a partir do ácido láctico obtido de fontes renováveis”. As fontes renováveis de onde é derivado o PLA são oriundas do amido de milho, cana-de-açúcar, raízes de tapioca e amido de batata. (BESKO, 2017).

Não é tóxico, e por ser um termoplástico biodegradável, o torna mais ecológico do que a maioria dos filamentos de impressoras 3D, como dito por Allthat3d “este filamento de impressão 3D é mais amigo do ambiente em comparação com outros materiais plásticos” (BESKO, 2017).

O PLA é quebradiço, portanto, deve-se evitar de usá-lo em peças que requer

resistência mecânica, e em peças com exposições a temperaturas em torno de 60°C ou mais. Têm maior facilidade para entupir o bico do extrusor e seu armazenamento requer um cuidado maior devido ao fato do PLA absorver facilmente umidade do ar. (BESKO, 2017).

2.10.2 ABS

O segundo filamento mais utilizado em impressão 3D é o ABS, “o polímero ABS é um copolímero obtido a partir de reações de três monômeros diferentes, sendo eles acrilonitrilo, butadieno e estireno [...]” (Francisco, 2016, p. 16), sua impressão requer mais conhecimento técnico e necessita de mesa aquecida. (BESKO, 2017).

O ABS é superior ao PLA em relação às suas propriedades mecânicas, é durável, forte e é considerado leve. Suporta temperaturas mais elevadas, é ligeiramente flexível e sua maior vantagem em relação ao PLA, deve-se ao fato de ser o termoplástico mais barato no mercado de filamentos para impressão 3D. (BESKO, 2017, p.22).

Posto isto, o acrilonitrilo, butadieno e estireno trata-se de um material utilizado na manufatura aditiva com maior resistência à altas temperaturas e maior durabilidade podendo ser utilizado para os mesmos princípios que o PLA, porém com maior tenacidade.

A desvantagem do ABS é uma pequena geração de fumaça durante o processo de impressão e esta é considerada tóxica, por isso, deve-se operar a impressora 3D em uma área ventilada. O ABS é derivado de petróleo e conseqüentemente não é um material biodegradável assim como o PLA. Necessita de maior temperatura para atingir seu ponto de fusão, e pode deformar durante e depois do processo de impressão, por isso é indicado mesa de aquecimento e o uso em impressoras fechadas. (BESKO, 2017).

2.11 KPI nas indústrias

Qualquer estratégia de produção torna imperativo o conhecimento dos resultados obtidos, relativamente às metas estabelecidas para, assim, proceder ao ajuste de ações de curto e longo prazo. O controle contínuo de processos, bem como a identificação dos aspectos que contribuem para uma melhor interpretação de dados históricos e, portanto, para a percepção das melhores reações operacionais, confirmam os Indicadores de Desempenho - KPI - como ferramentas de acompanhamento de resultados que promovem o aumento da qualidade e a redução de custos associados aos processos. (FERREIRA, 2019)

A utilização de KPI como ferramenta de Gestão tem vindo a tornar-se cada vez mais comum nas organizações, e surge como base da análise de investimentos e/ou estratégias empresariais. Portanto, entender como se concebem e aplicam indicadores

nos processos é mais do que apenas medir o desempenho. É saber qual o tipo de desempenho que se observa, por que e como observá-lo de maneira que as informações sejam, de facto, úteis à organização. (FERREIRA, 2019).

2.11.1 Lead Time de Fabricação

Este indicativo serve para validar o tempo dos processos, seja de um serviço ou uma operação, levam para serem completamente executados, considerando desde sua solicitação até a sua efetiva entrega. Este indicador também é muito utilizado na implementação de projetos Lean.

2.11.2 Causa das paradas na linha de produção

O indicador serve para registrar quais são e quando ocorreram as anormalidades ao longo do processo de produção. Desta forma auxilia a empresa a analisar os problemas e realizar as melhorias em seu processo.

2.11.3 Monitoramento da operação gargalo

O registro serve para indicar tempos e anormalidades de todo e qualquer obstáculo que tenha surgido de modo a interferir no processo produtivo da sua empresa, afetando a lucratividade do negócio. Assim é possível verificar a determinada operação que está sem o gargalo do processo, tratar ela de forma isolada, facilitando sua solução.

2.11.4 Monitoramento de retrabalho dos produtos

O registo de retrabalho dos produtos serve para analisarmos a qualidade do processo, componentes e do produto em si. Esse indicador auxilia na verificação de eficiência e qualidade do produto, orientando a empresa em quais problemas ela deve focar em solucionar.

$$\text{Índice de retrabalho} = \frac{\text{Produtos retrabalhados}}{\text{Produtos Produzidos}} \quad (1.1)$$

2.11.5 ROI

ROI, abreviação para Retorno sobre o Investimento, é uma métrica muito utilizada no universo do empreendedorismo. Como o próprio nome sugere, esse indicador permite entender o lucro ou prejuízo obtido a partir de cada investimento realizado pelo negócio. Assim, é possível identificar as estratégias com o melhor desempenho e aquelas que precisam ser aprimoradas.

O ROI é uma métrica muito popular devido à sua versatilidade e à simplicidade do seu cálculo, possibilitando que um empreendimento tome decisões mais assertivas e baseadas em dados, sendo eles a receita obtida a partir do investimento e o próprio valor do investimento.

$$\text{ROI}(\%) = \frac{\text{Receita} - \text{Custo do Investimento}}{\text{Custo do Investimento}} \times 100 \quad (1.1)$$

3. METODOLOGIA

Quanto a metodologia do trabalho foi pesquisa aplicada, que teve como objetivo a realização de uma pesquisa metodológica realizada em campo, utilizando os procedimentos técnicos de estudo de caso. Foi utilizada a abordagem hipotético-dedutivo para testar a ocorrência dos fenômenos mencionados pela hipótese e método de procedimento monográfico para realização do trabalho. A Coleta de dados realizou-se a observação direta extensiva cuja análise e interpretação dos dados de forma qualitativa de maneira global.

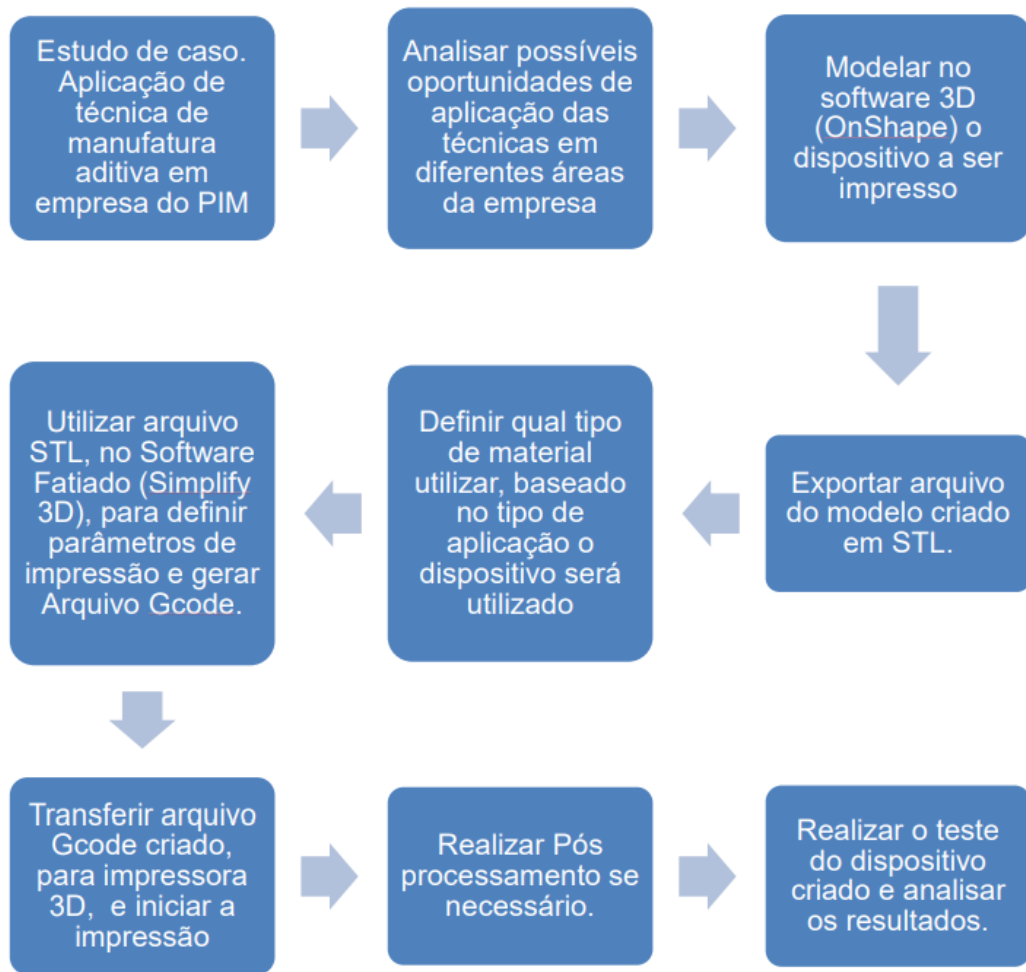
Realizou-se uma análise na literatura de Modelagem digital 3D, para realização de desenhos dos protótipos criados utilizando a Manufatura aditiva. Por sua vez, também sendo revisado a características dos filamentos utilizando em impressão 3D, para definir qual o melhor material para cada tipo de aplicação.

Para a realização do estudo de caso houve investigações de possíveis aplicações de técnicas de manufatura aditiva em uma empresa produtora de eletrodomésticos do polo industrial de Manaus. Assim que identificados, foi proposto uma possível solução, utilizando uma impressora 3D DDDROP LEADER, para confecção de dispositivos que auxiliaram na solução do problema. Desta forma, foi realizado a modelagem em 3D do item solução, utilizando um software CAD, chamado OnShape, em seguida o arquivo da modelagem foi exportado em formato STL para um software fatiador compatível com a impressora 3D disponível na empresa, o software fatiador utilizado é o Simplify 3D, então nele criou-se um arquivo em formato Gcode, para a impressora 3D, para enfim realizar a manufatura dos protótipos.

Com os protótipos impressos, realizou-se o pós-processamento das peças, e em seguida foi feito o teste do protótipo criado. Desta forma, avaliando-se todos os resultados obtidos com o protótipo em questão da sua natureza e objetivo, caso for identificado alguma anomalia ou erro, o mesmo foi corrigido para ser modificado na versão final da solução, caso o protótipo desempenhasse sua função corretamente, o desenho e padrão utilizado para sua confecção foi replicado na versão definitiva do item, na Figura 10, pode ser observado um fluxograma de cada passo a ser realizado em cada estudo de caso.

Nesse estudo de caso, teve como enfoque a utilização da manufatura aditiva para realização da prototipagem de projetos, melhoria de processo, controle de qualidade em empresa produtora de eletrodomésticos do PIM.

Figura 10 – Fluxo Metodológico



Fonte – Próprio autor

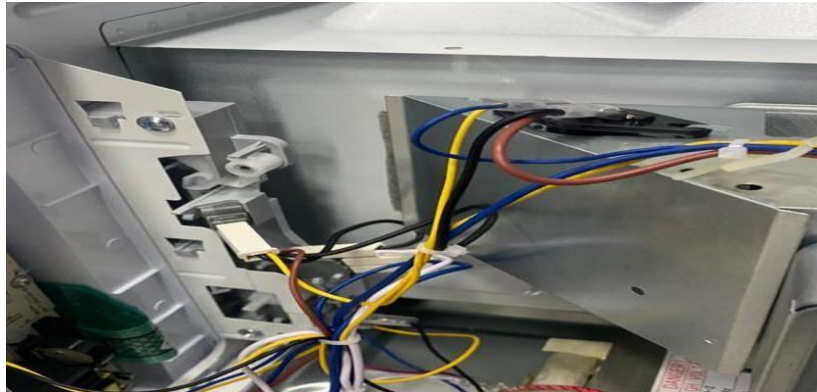
4 ESTUDOS DE CASOS

Com a metodologia definida, foi analisado oportunidades na empresa produtora de eletrodoméstico, onde era possível a aplicação da manufatura aditiva, as aplicações poderiam causar melhoria no processo de fabricação, auxiliar na verificação da qualidade de produtos manufaturados e no desenvolvimento de protótipos de projetos. Desta forma foi demonstrado as aplicações da manufatura aditiva, as etapas do desenvolvimento de cada aplicação, parâmetros de impressão e resultados obtidos.

4.1 Caso 1 - Protótipo base das chaves com guia de ar.

Com intuito de realizar um projeto de redução de custo, a equipe de engenharia de produto necessitava realizar prototipagem de seu projeto, onde o mesmo integrará dois componentes do forno micro-ondas, base das chaves e guia de ar, por meio de injeção plástica. Porém para confecção de protótipo pelos meios convencionais, necessitaria de um molde de injeção plástica modificado para a aplicação ou algum outro tipo de protótipo que se simula o componente proposto pelo projeto. Na Figura 11 é possível observar os componentes do micro-ondas mencionado.

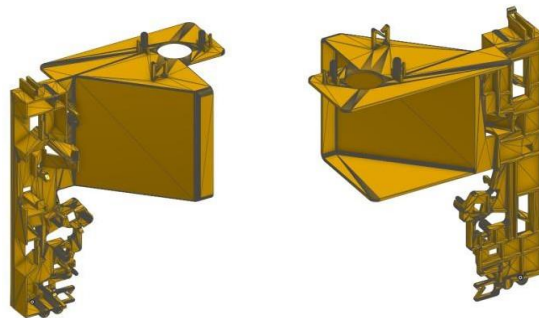
Figura 11 – Parte interna do micro-ondas.



Fonte - Autor próprio

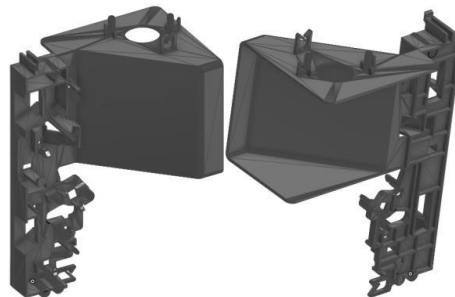
Visto a dificuldade de realizar a prototipagem utilizando os convencionais, foi proposto a utilização da manufatura aditiva por meio de uma impressora 3D. Desta forma a equipe de desenvolvimento de produto realizou o desenho tridimensional das peças desejadas. Em seguida foi enviado o arquivo do desenho em formato STL, onde o mesmo foi utilizado no software fatiador Simplify 3D, para ser definido os parâmetros de impressão (Tabela 1), na Figura 12 e 13 é possível observar a modelagem 3D dos protótipos desejados, e na Figura 14, o arquivo STL do modelo, no software fatiador.

Figura 12 – Desenho da primeira proposta de união da base das chaves com guia de ar do forno micro-ondas.



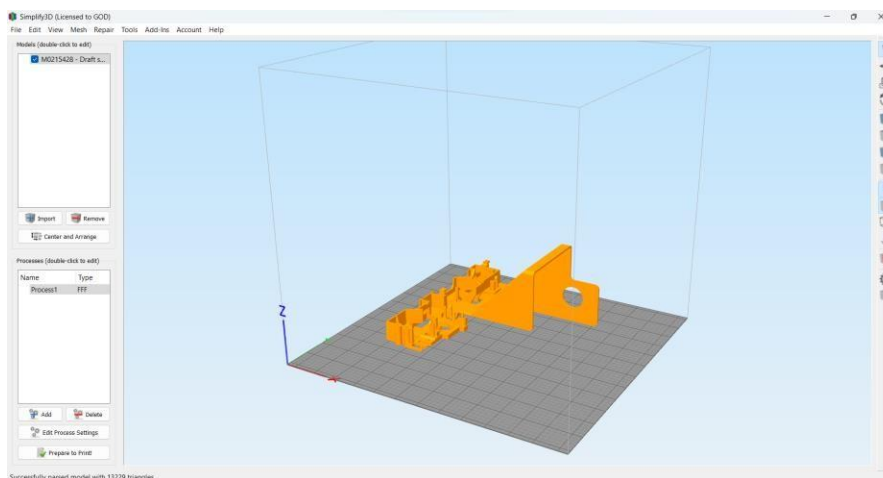
Fonte - Autor próprio

Figura 13 – Desenho da segunda proposta de união da base das chaves com guia de ar do forno micro-ondas.



Fonte - Autor próprio

Figura 14 – Segunda proposta de união da base das chaves com guia de ar do forno micro-ondas, importada no software fatiado Simplify 3D



Fonte - Autor próprio

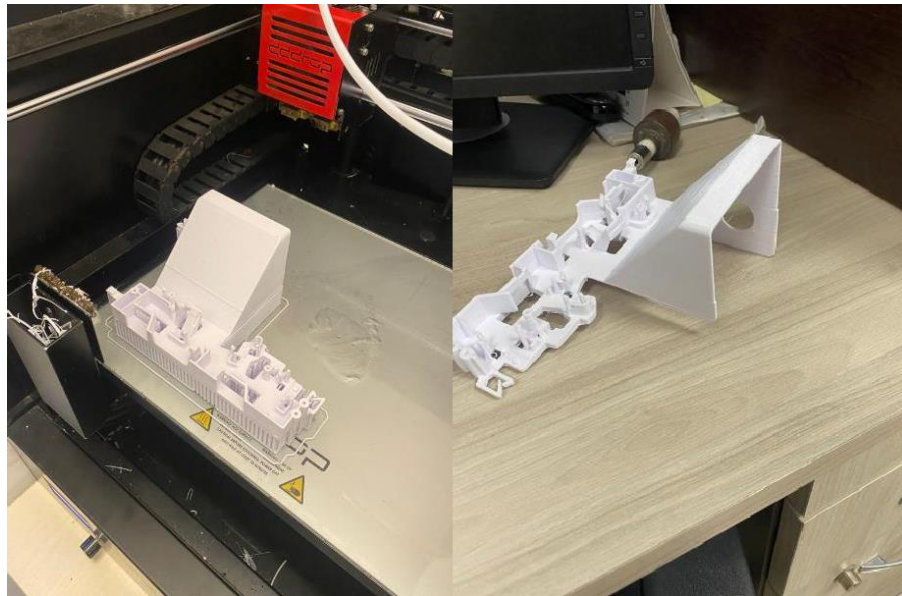
Tabela 1 – Parâmetros utilizados para realização da impressão Caso 1 com filamento PLA.

Impressora 3D DDDROP LEADER	1 unidade
Paquímetro 300mm	1 unidade
Tipo de Filamento Utilizado	PLA
Tempo de impressão	10 horas e 40 minutos
Peso	169,80 gramas
Preenchimento	100%
Temperatura extrusor	210°C
Temperatura da mesa aquecida	60°C
Diâmetro do bico extrusor	0,4mm
Custo de material	R\$16,98

Fonte - Autor próprio

Com os parâmetros de impressão definidos no software fatiador, o próximo passo era a geração de um arquivo GCode, onde o mesmo contém os parâmetros definidos e dados dos movimentos que a impressora 3D teve que realizar para confecção da peça. Com o arquivo gerado, foi importado o mesmo para impressora via Pen Drive e em seguida, foi selecionado o arquivo na impressora e a manufatura da peça foi executada. A Figura 15 mostra a peça criada utilizando a manufatura aditiva.

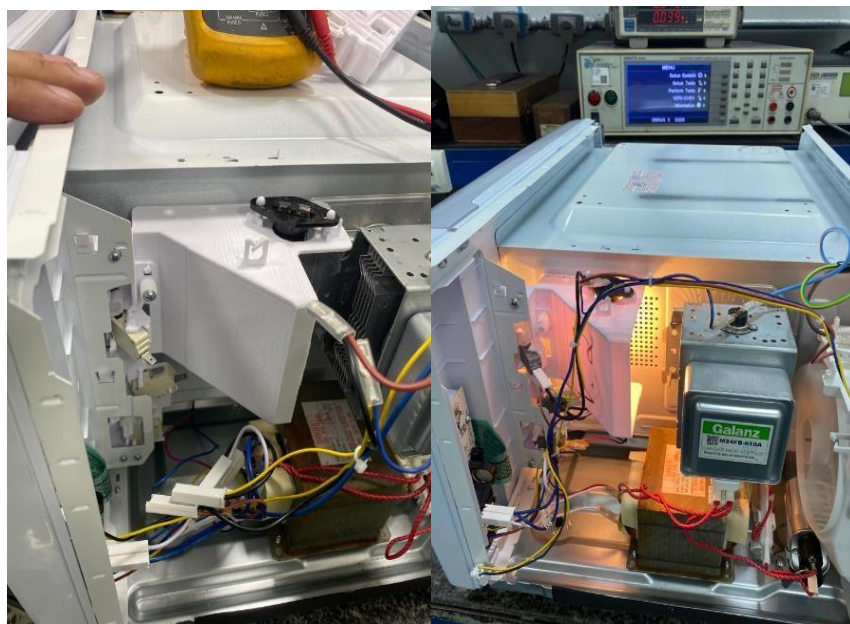
Figura 15 – Protótipo do guia de ar com base das chaves feito em impressora 3D com material PLA.



Fonte - Autor próprio

Após a impressão, o protótipo foi montado no produto, onde foi colocado as microchaves, acionadores da porta e lâmpada. Em seguida protótipo foi montado no produto para realização dos testes de qualidade, teste de funcionamento (Figura 16), teste de ruído e teste de vida.

Figura 16 – Utilização do protótipo do guia de ar com base das chaves em forno micro-ondas para realização de testes de qualidade.



Fonte - Autor próprio

O protótipo foi aprovado no teste de funcionamento e teste de ruído, porém no teste de vida onde o produto fica ligado por 99 minutos, o protótipo empenou devido a

exposição a alta temperatura. Visto que a temperatura que o protótipo ficou exposto foi de 76°C, foi confeccionado outro protótipo utilizando o filamento ABS, pois o mesmo começa a ter variações de temperatura a partir de 110°C. Na Tabela 2, pode ser visto os novos parâmetros de impressão

Tabela 2 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do Caso 1 com filamento ABS.

Impressora 3D DDDROP LEADER	1 unidade
Paquímetro 300mm	1 unidade
Tipo de Filamento Utilizado	ABS
Tempo de Impressão	11 horas e 23 minutos
Peso	219,80 gramas
Preenchimento	100%
Temperatura extrusor	240°C
Temperatura da mesa	115°C
Diâmetro do bico	0,4mm
Custo de material	R\$32,97

Fonte - Autor próprio

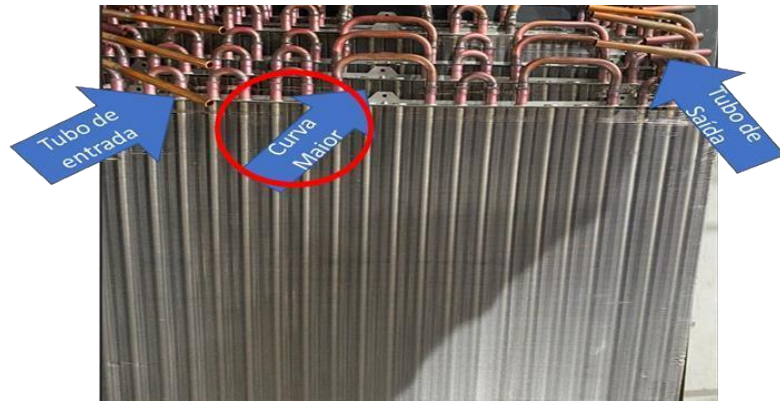
Após a impressão do novo protótipo utilizando o material ABS, que possui melhor resistência a temperatura, foi possível realizar o teste de potência do produto sem empenamentos no material. O protótipo se mostrou viável para os testes, porém foi possível perceber alguns erros de projeto, onde a base da chave integrada com o guia de ar estava muito grande e encostando no produto, podendo causar ruídos. Desta forma a presente proposta evitou o gasto de confecção de um molde de injeção plástica para realizar a prototipagem do projeto, e auxiliou a identificar um possível erro no projeto, antes da confecção de um molde de injeção plástica definitiva, evitando assim um gasto de no mínimo R\$20.000,00 na confecção e alteração de um molde de injeção e também mais rápido, já que em média a confecção de um molde varia de no mínimo 2 meses, dependendo da complexidade.

4.2 Caso 2 - Matriz de Dobra para Tubos de Cobre

Durante período de alta produtividade do produto ar-condicionado, foi observado um “gargalo”, na produção do item condensador. Para a manufatura do condensador do ar condicionado é necessário a utilização de curvas maiores, para conectar uma serpentina de cobre com outra. Essa curva maior, era feita em uma máquina CNC de dobra de tubos de cobre, onde leva 26 segundos para serem feitas enquanto a linha de montagem produz em 21 segundos, por conta disso foi observado que essa máquina precisava produzir 1 turno a mais que as demais, por conta da alta cadência da

manufatura desse item, causando aumento no custo de produção do produto. Na Figura 17, é possível observar os 3 tubos de cobre produzidos na mesma máquina CNC de dobra de tubos.

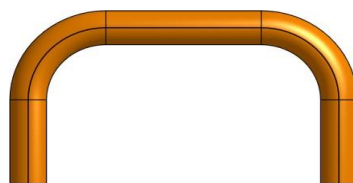
Figura 17 – Tubos que são confeccionados em máquina de dobra CNC, para condensador de ar condicionado.



Fonte - Autor próprio

Para solucionar esse problema, foram realizadas reuniões para discutir sobre a possível causa raiz desse problema, onde foi visto, que o design do tubo, era ineficiente para manufatura na máquina, pois o mesmo necessitava de duas dobras para sua confecção em máquina CNC, realizando assim excesso de operações, atrasando sua produção (Figura 18). Analisando sua produção, foi visto que a necessidade de realizar duas dobras, é por que a matriz de dobra existente tem raio de 15mm, desta forma necessitando realização de duas dobras para fazer a união entre as serpentinas.

Figura 18 – Desenho do tubo de cobre, Curva Maior, com duas dobras



Fonte - Autor próprio

Visto isso, foi analisado o desenho técnico da curva de retorno, e projetado em software CAD um novo design de curva de retorno, que necessitasse apenas de 1 dobra (Figura 19), utilizando uma matriz com raio de 30mm. Desta forma a curva que será manufaturada terá distância de 60mm entre o centro de uma ponta e outra, assim realizando a união entre as serpentinas.

Figura 19 – Tubo de cobre, Curva Maior, com uma dobra

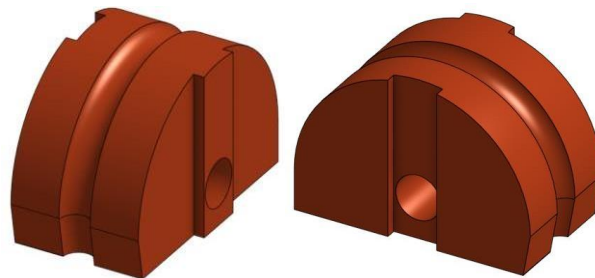


Fonte - Autor próprio

Para desenvolvimento do projeto, se faz necessário a realização de prototipagem, para verificação da ideia proposta. Para realização da dobra do tubo de cobre, é preciso uma matriz de dobra com raio de 30mm, para ser colocada em máquina CNC, para realização da dobra. Foi visto que a produção de uma matriz de dobra aço custaria para empresa R\$ 4000,00, com entrega em 11 dias úteis.

Devido ao custo e tempo de entrega, foi proposto a utilização de manufatura aditiva para prototipagem da matriz de dobra. Desta forma foi feito o desenho da matriz de dobra com as dimensões desejadas (Figura 20). Tomando como referência a matriz de dobra existente de raio 15mm, foi projetado uma com raio de 30mm, seguindo o mesmo design para sua fixação na máquina CNC.

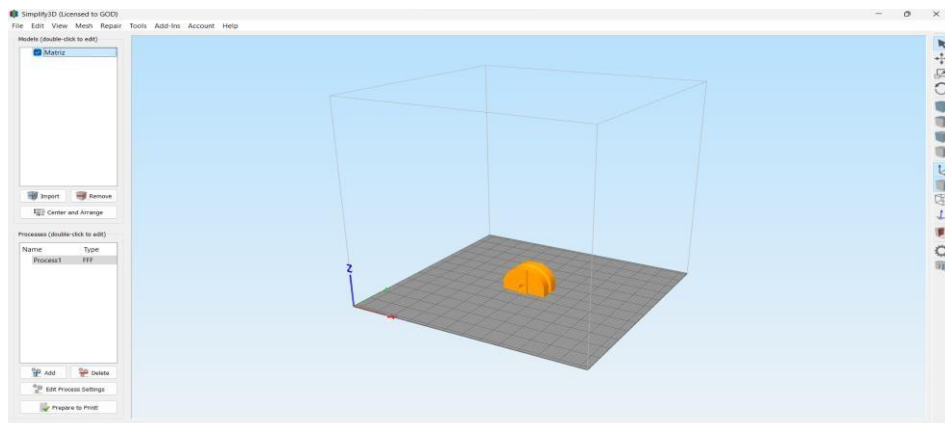
Figura 20 – Desenho matriz de dobra com raio 30mm, para máquina CNC de dobra



Fonte - Autor próprio

Com o desenho a matriz realizado, é necessário exportar o arquivo do desenho em forma STL, para encaminhá-lo ao software fatiador. Tendo o arquivo STL, da peça a ser manufatura, importei o mesmo para o software fatiador (Figura 21), para definir os parâmetros de impressão que sejam compatíveis (Tabela 3), com a impressora 3D que será utilizada, compatível com o filamento a ser utilizado (PLA), e quantidade de preenchimento que desejo para peça (Figura 22). Em seguida arquivo é importado para impressora 3D, para realização da manufatura aditiva (Figura 23)

Figura 21 – Matriz curva maior em software fatiador



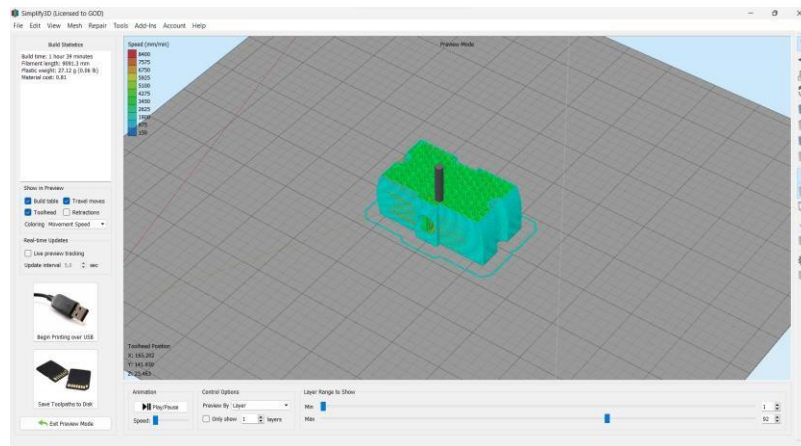
Fonte - Autor próprio

Tabela 3 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 2.

Impressora 3D DDDROP LEADER	1 unidade
Paquímetro 300mm	1 unidade
Horas de modelagem	1 hora e 20 minutos
Tipo de Filamento Utilizado	PLA
Tempo de Impressão	1 horas e 39 minutos
Peso	0,81 gramas
Preenchimento	25%
Temperatura extrusor	210°C
Temperatura da mesa	60°C
Diâmetro do bico	0,4mm
Custo de Material	R\$0,08

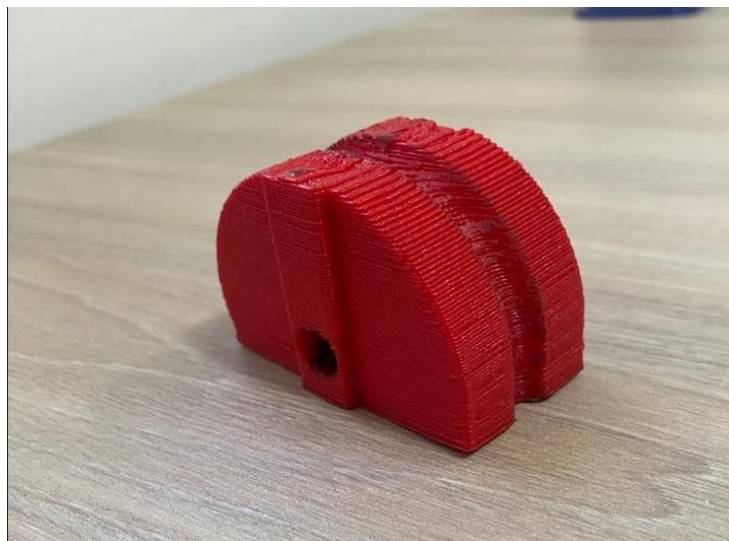
Fonte - Autor próprio

Figura 22 – Processo de impressão visto pelo software Simplify 3D



Fonte - Autor próprio

Figura 23 – Matriz de dobra de raio 30mm confeccionado em impressora 3D.



Fonte - Autor próprio

Após a confecção da peça, é realizado um pós-processamento, retirando qualquer tipo de rebarba ou suporte gerado durante a impressão, em seguida peça está pronta para teste.

Para a realização do teste da matriz protótipo é necessário criar um programa na máquina CNC, para confeccionar o novo tubo. Desta forma, é colocado no programa, tamanho do tubo e ângulo de dobra. Na Figura 24 podemos observar a matriz de dobra impressa em 3D em máquina CNC.

Figura 24 – Teste do protótipo em máquina CNC



Fonte - Autor próprio

Após a realização do teste foi visto que o processo de produção do novo design da curva ficou 30% mais rápida, obtendo um aumento de produção de 44%, contribuindo também para redução de consumo de matéria prima em 6mm de cobre. Na Figura 25 podemos observar a curva antes e a nova curva proposta pelo projeto.

Figura 25 - Curva maior feita em matriz de dobra 3D ao lado da Curva maior antiga com duas dobras.

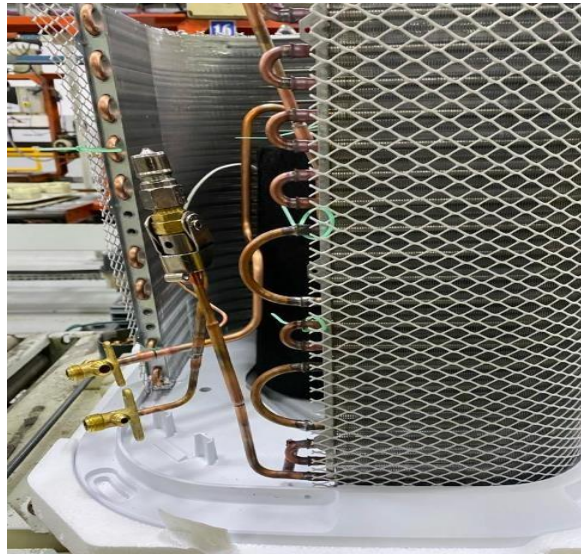


Fonte - Autor próprio

Após a confecção das novas curvas maiores utilizando a matriz de dobra 3D, as

curvas foram utilizadas em produtos na linha de montagem para verificação de impactos na linha e verificação de qualidade em laboratório (Figura 26). Foi visto que as curvas passaram nos testes de qualidade e não geraram nenhum impacto na linha de montagem.

Figura 26 - Curva maior feita em matriz de dobra 3D em Unidade Externa do Ar-condicionado.



Fonte - Autor próprio

Desta forma a utilização da manufatura aditiva na prototipagem de uma matriz de dobra se mostrou eficiente. Com a aprovação do protótipo, foi solicitado a confecção de uma nova matriz de dobra de aço utilizando o mesmo padrão da impressa em 3D, levando 11 dias para ficar pronta, custando R\$4000,00 para empresa.

A manufatura aditiva possibilitou de forma rápida, testar a ideia proposta com um baixo custo para a empresa, custando apenas R\$0,08 de custo de material ficando, protótipo ficando finalizando em aproximadamente 3 horas, contando com modelagem e impressão e em seguida foi testado a ideia.

4.3 Caso 3 - Bloco de setup para máquina de dobra de gabinete de forno micro-ondas

Foi evidenciado na linha de produção da forno micro-ondas, uma grande quantidade de sucata gerada na máquina de dobrar gabinete (Figura 27). Essa sucata era gerada quando o gabinete era dobrado de forma errada, por conta de mal posicionamento do gabinete na máquina, quando isso ocorre, o operador solicita a parada de linha para realizar ajustes na máquina, de forma que ele encontre uma boa regulagem na máquina para realizar a dobra corretamente.

Figura 27 – Máquina de dobrar gabinete micro-ondas



Fonte - Próprio autor

Por conta disso, foi analisado essa dificuldade de realizar o setup da máquina durante a troca de modelos, pois se o setup fosse realizado de forma incorreta, geraria a sucata. Então foi proposto a utilização de um bloco limitador na máquina que contivesse a distância ideal para cada modelo de micro-ondas, servindo assim como um gabarito para a máquina.

Foi feito o desenho da peça, onde nela contém a distância ideal para posicionar o gabinete antes de dobrá-lo para cada modelos (Figura 28), em seu centro possui furos, que serve para fixação da peça na máquina e para definir o modelo utilizado.

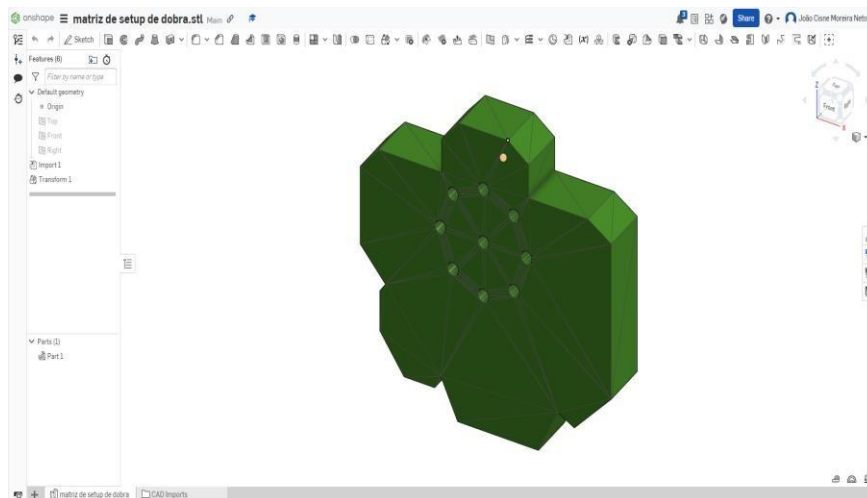
Com o desenho pronto, antes de realizar a confecção da peça, será realizado a prototipagem para verificar se todas as medidas estão corretas e validar a ideia. Desta forma foi exportado o arquivo em STL, o mesmo aberto no software fatiador, foi definido os parâmetros de impressão (Tabela 4), exportado o arquivo em GCode e realizado a impressão 3D (Figura 29).

Tabela 4 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 3.

Impressora 3D DDDROP LEADER	1 unidade
Paquímetro 300mm	1 unidade
Horas de modelagem	2 horas e 40 minutos
Tipo de Filamento Utilizado	PLA
Tempo de impressão	6 horas e 56 minutos
Peso	143,02 gramas
Preenchimento	25%
Temperatura extrusor	210°C
Temperatura da mesa	60°C
Diâmetro do bico	0,4mm
Custo de Material	R\$14,30

Fonte - Autor próprio

Figura 28 – Desenho matriz de setup, máquina de dobra de gabinete



Fonte - Autor próprio

Figura 29 – Matriz de Setup feita em impressão 3D em máquina de dobra de gabinete com todos os modelos identificados



Fonte - Autor próprio

Com peça finalizada mesma foi posta na máquina para teste, assim atendendo todos os requisitos e validando a peça para uso. Foi possível perceber também com a aplicação do projeto, a diminuiu da quantidade de sucata gerada pela máquina em 20% e aumentou a disponibilidade da máquina em 2 horas por mês, pois quando o problema ocorria, era necessário para a linha de montagem para realizar ajustes manuais na máquina até atender os requisitos de qualidade. Desta forma a peça funcionou durante 1 semana, enquanto o bloco definitivo estava sendo confeccionado, mostrando assim que a velocidade de produção por manufatura aditiva sendo maior que pelos métodos convencionais.

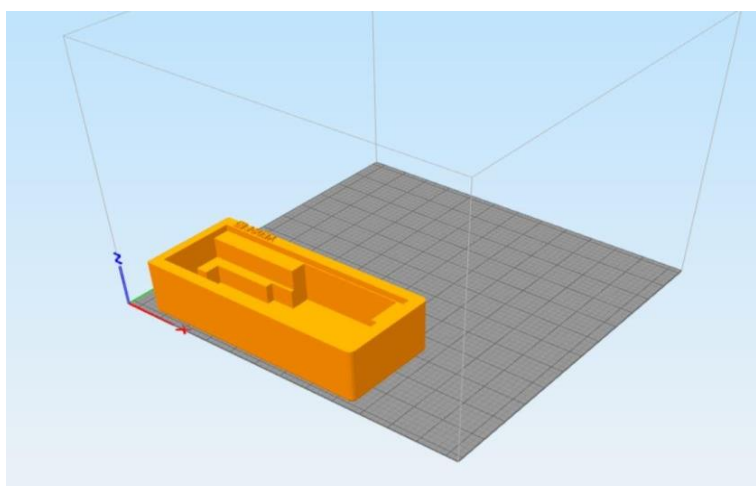
4.4 Caso 4 - Suporte para placa PCB de ar-condicionado em Linha de montagem

Com um novo modelo de ar-condicionado entrando em produção foi possível

perceber dificuldades para os operadores, para montar a placa PCB do ar-condicionado. Sua dificuldade era a inexistência de um apoio para placa, pois o operador necessita fazer conexões na placa, apenas com uma mão, pois com a outra ele tem que segurar a placa, pela ausência de apoio, desta forma tornando o processo complicado.

Foram utilizados 6 tipos de caixa elétrica PCB, um para cada modelo de ar-condicionado, para realizar do desenho em software CAD para confecção de suportes para as mesmas. Com o Desenho dos suportes para cada modelos prontos, eles foram enviados para software fatiador (Figura 30), software de impressão para definir seus parâmetros(Tabela 5) e realizada a impressão de cada um deles (Figura 31).

Figura 30 – Suporte placa PCB em software fatiador ,



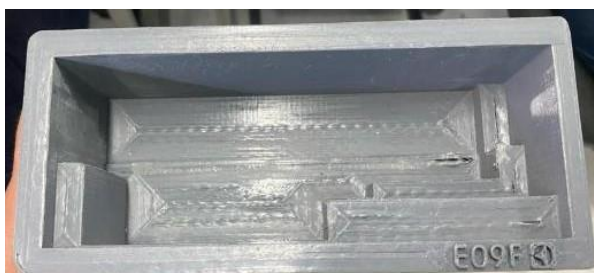
Fonte – Autor próprio

Tabela 5 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 4.

Impressora 3D DDDROP LEADER	1 unidade
Paquímetro 300mm	1 unidade
Horas de modelagem	3 horas e 10 minutos
Tipo de Filamento Utilizado	PLA
Tempo de impressão	10 horas e 36 minutos
Tempo Total para 6 unidades	61 horas e 32 minutos
Peso unitário	302,47 gramas
Preenchimento	25%
Temperatura extrusor	210°C
Temperatura da mesa	60°C
Diâmetro do bico	0,4mm
Custo de Material 1 unidade	R\$30,25
Custo de Material Total	R\$181,50

Fonte - Autor próprio

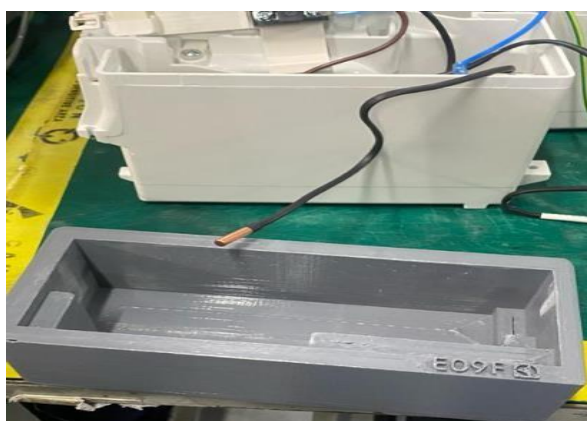
Figura 31 – Suporte placa PCB feito em impressora 3D



Fonte: Autor próprio

Após a impressão, os suportes foram encaminhados para linha de montagem, para teste. Os operadores colocam a placa PCB, dentro do suporte, impedindo de o mesmo cair, e utilizam as duas mãos para realizar a montagem da placa, assim melhorando o processo para o operador. Foi analisado uma melhora no tempo de ciclo da operação de 2 segundos, e não foi mais evidenciado casos de placas PCB caindo, o que causava perda no tempo de montagem. Desta forma o posto em questão consegue montar mais placas PCB sendo montadas em 18 segundos, enquanto a linha de montagem tem seu tempo de ritmo de 21 segundos, assim o posto consegue disponibilizar mais placas, e deixou de ser um possível gargalo.

Figura 32 – Suporte placa PCB feito em impressora 3D, sendo utilizado em linha de montagem



Fonte: Autor próprio

4.5 Caso 5 - Modificação em Gabaritos de solda de tubos de cobre.

Foi constatado na linha de produção do ar-condicionado, durante a produção do modelo novo, que o tubo de sucção que transposta o gás refrigerante da evaporadora para o compressor, teve sua válvula soldada de forma errada, causando a torção do tubo durante a montagem. Visto isso, foi realizado uma investigação na área tecnológica onde o mesmo foi soldado, e pode ser analisado que os gabaritos de solda do modelo novo apresentavam variações, onde o tubo estava sendo posicionado de forma errada durante a solda, causando não conformidade na linha de montagem.

Por conta disso, foi revisado todos os gabaritos de solda desse modelo, para

encontrar uma solução eficiente. Para realizar a correção dos gabaritos de solda de tubos, pelo método convencional seria necessário o custo de R\$4000,00 em material e mão de obra e 15 dias para serem feitos novos com as modificações necessárias.

Devido ao custo elevado e o alto tempo para confeccionar, foi proposto a utilização da manufatura aditiva para confecção de suportes para adaptar os gabaritos já existente, visto que os mesmos ficariam longe das chamas da solda. Foram confeccionados 3 tipos de suportes, um para cada modelo de tubo de cobre. Onde cada tipo de suporte será confeccionado 5, num total de 15 suportes para adaptar os gabaritos já existentes de forma eficiente.

Desta forma, foi modelado em 3D os modelos de suporte, definido seus parâmetros de impressão (Tabela 6), impressos na impressora 3D, e levados para teste e tiveram um bom resultado, conforme a Figura 33. Os suportes projetos tem em sua extremidade um berço, com o mesmo diâmetro dos tubos a serem utilizando, os deixando bem fixos e sem folga, deixando o tubo estável para a solda ser realizada, também na outra extremidade possui 3 pontos de ajuste de comprimento, permitindo assim o auxiliar técnico ajustar a posição de acordo com o necessário para o processo.

Tabela 6 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 5

Impressora 3D DDDROP LEADER	1 unidade
Paquímetro 300mm	1 unidade
Horas de modelagem para os 3 tipos de suporte	3 horas e 10 minutos
Tipo de Filamento Utilizado	PLA
Tempo de impressão de 15 itens	16 horas e 36 minutos
Peso	372,69
Preenchimento	25%
Temperatura extrusor	210°C
Temperatura da mesa	60°C
Diâmetro do bico	0,4mm
Custo de material	R\$37,27

Fonte - Autor próprio

Figura 33 – Suporte para tubos de cobre utilizados em carrossel de solda



Fonte: Autor próprio

4.6 Caso 6 - Gabaritos para verificação Dimensional de tubos de cobre do ar-condicionado.

Com o novo modelo de ar-condicionado em produção, foi relatado pelo técnico de qualidade, dificuldades para verificar e o dimensionamento dos tubos manufaturados pelas máquinas CNC está de acordo com o desenho técnico.

Ao analisar a dificuldade de verificação, foi proposto da confecção de gabaritos de verificação feitos em impressão 3D, onde os mesmos teriam como finalidade alojar os tubos que forem produzindo, se está conforme, eles irão encaixar perfeitamente, se houver não conformidade na dobra ou em seu dimensional, o tubo não encaixaria.

Desta forma foi modelado em 3D 32 tubos diferentes sendo eles tubos de sucção e descarga para cada modelo de ar-condicionado, exportado os arquivos em STL para o software fatiador, para definir seus parâmetros (Tabela 7) e foi realizado as impressões (Figura 34). Os gabaritos apresentam algumas elevações para facilitar a verificação através de instrumentos de medição.

Tabela 7– Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 6.

Impressora 3D DDDROP LEADER	1 unidade
Paquímetro 300mm	1 unidade
Horas de modelagem para os 32 gabaritos	45 horas
Tipo de Filamento Utilizado	PLA
Quantidade	32
Tempo de impressão	190 horas e 15 minutos
Peso	3,8Kg
Preenchimento	25%
Temperatura extrusor	210°C
Temperatura da mesa	60°C
Diâmetro do bico	0,4mm
Custo de Material	R\$380,00

Fonte: Autor próprio

Figura 34 – Gabaritos de verificação dimensional de tubos de cobre feitos na impressora 3D



Fonte – Autor próprio

A verificação dimensional antes era realizada em média 5 minutos para verificar a cota do tubo com o auxílio de um paquímetro, porém era impreciso devido os ângulos de dobra do tubo, com a utilização dos gabaritos é possível verificar todas as cotas, em 10 segundos, apenas posicionando o tubo no gabarito visto que é possível verificar variação de angulação dos tubos através dos gabaritos. Com a finalização de todos os gabaritos pode ser visto uma economia de 272.000,00 para empresa, caso o mesmo fosse confeccionado externamente, além de uma verificação de qualidade mais confiável do que a feita com o paquímetro manualmente, mostrando assim a flexibilidade da utilização da impressora 3D em verificação de qualidade.

4.7 Caso 7 - Gabarito para montagem de ventoinha no ar-condicionado

Para a montagem da unidade interna do ar-condicionado, é necessário a colocação do moto-ventilador no eixo da ventoinha. Durante essa fixação, alguns cuidados devem ser tomados, um deles é que a ventoinha deve se manter centralizado no produto, tendo um gap de 5mm na esquerda e 5mm na direita. Foi visto que no processo de manufatura que para garantir esse distanciamento os operadores utilizam a ponta da parafusadeira para manter a distância de 5mm, e em seguida eles realizam a fixação. Tal instabilidade de processo causa a não conformidade de travamento da ventoinha, deixando o produto com baixa eficiência.

Visto isso, foi projetado em software CAD um dispositivo que irá acoplar na

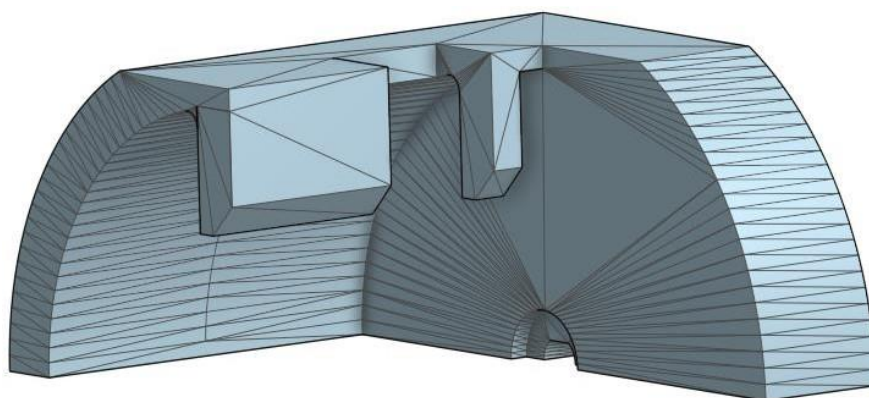
ventoinha na da unidade interna do ar-condicionado, com intuito de garantir a centralização da ventoinha (Figura 35). Com essa centralização é possível realizar a fixação da ventoinha com o moto-ventilador garantindo a qualidade do produto, evitando o travamento do mesmo. Na Tabela 8 pode ser observar os parâmetros de impressão do dispositivo.

Tabela 8 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 7.

Impressora 3D DDDROP LEADER	1 unidade
Paquímetro 300mm	1 unidade
Horas de modelagem	3 horas
Tipo de Filamento Utilizado	PLA
Quantidade	1
Tempo	2 horas e 34 minutos
Peso	41,89g
Preenchimento	25%
Temperatura extrusor	210°C
Temperatura da mesa	60°C
Diâmetro do bico	0,4mm
Custo de Material	R\$4,19

Fonte – Autor próprio.

Figura 35 – Gabaritos de centralização da ventoinha da unidade interna do ar-condicionado.



Fonte – Autor próprio

Com a implementação do dispositivo foi possível verificar a redução de 60% número de casos de travamento de ventoinha que eram apontados no indicador de qualidade, reduzindo a quantidade de retrabalho.

4.8 Caso 8 - JIG de teste de potência para lâmpadas de micro-ondas.

Realizando análises das maiores não conformidades que ocorreram durante o ano

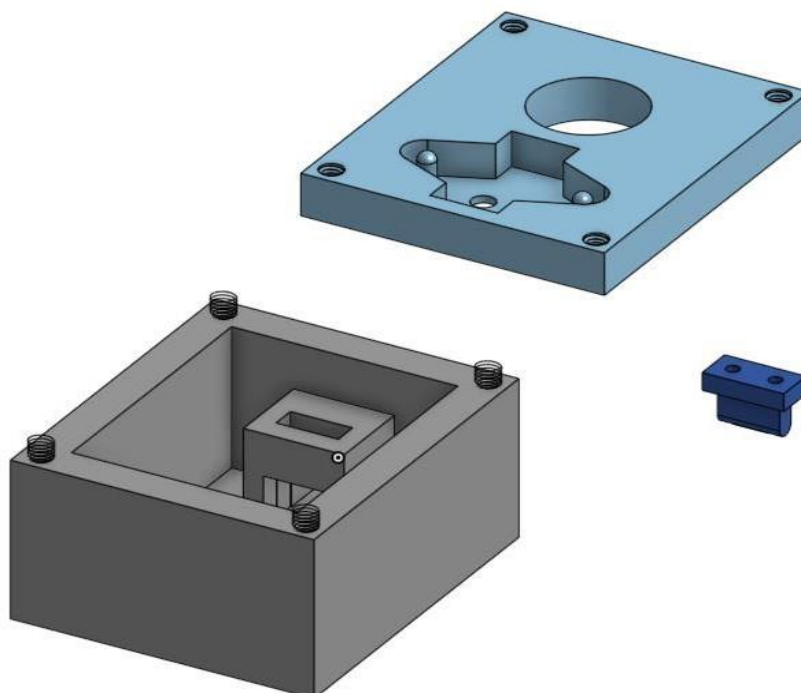
de 2022 na linha de montagem do forno micro-ondas, foi identificado grande casos da lâmpada do forno micro-ondas com filamento rompido ou não funcionando. Tal não conformidade impacta diretamente o indicador de qualidade da empresa.

A lâmpada do micro-ondas é ofertada por fornecedor externos, e assim que chega na fábrica é enviado da linha de montagem, só é possível verificar sua qualidade durante teste de funcionalidades presentes na linha, assim gerando não conformidades no indicador.

Visto a ausência de um teste das lâmpadas antes de serem montadas no produto, foi proposto a criação de um JIG de teste de potência, para verificar, a funcionalidade, e a potência da lâmpada, para saber se está dentro do especificado e funcional. Desta forma, foi visto a possibilidade da fabricação do jig de teste de potênciada lâmpada internamente, utilizando a manufatura aditiva, onde o mesmo sendo realizado externamente custaria em torno de R\$15.000,00.

Desta forma foram realizados alguns protótipos para encontrar a melhor solução eficiente e segura para o processo. O primeiro protótipo foi feito para teste de apenas uma lâmpada, o JIG consiste em 3 peças que utilizam a manufatura aditiva, sendo ele a **Tampa Superior**, onde tem o alojamento de fixação da lâmpada, furos para passagem de agulhas de teste elétrico e LED para informar se JIG está energizado. **Tampa Inferior**, onde fica armazenado a fiação, passagem de cabo de força e base para receptáculo. **Receptáculo**, nele fica alojado agulhas as agulhas de teste, que iram alimentar a lâmpada para realizar o teste, conforme mostrado na Figura 36. Na Tabela 9 é possível ver os parâmetros de impressão do conjunto do dispositivo de teste.

Figura 36 – Desenho das peças do JIG de teste para uma lâmpada em software CAD.



Fonte: Autor próprio

Tabela 9 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 8, JIG de teste de potência para uma lâmpada.

Impressora 3D DDDROP LEADER	1 unidade
Paquímetro 300mm	1 unidade
Horas de modelagem	4 horas
Tipo de Filamento Utilizado	PLA
Quantidade	1
Tempo	4 horas e 26 minutos
Peso	144,57g
Preenchimento	25%
Temperatura extrusor	210°C
Temperatura da mesa	60°C
Diâmetro do bico	0,4mm
Custo do Material	R\$14,46

Fonte: Autor próprio

Depois de impresso, foi realizado a montagem e ligação elétricas do mesmo. Os conectores de fase em cada uma das agulhas, pois quando a lâmpada for posicionada no alojamento ela irá fechar o circuito e acenderá, o LED, foi ligado em paralelo, com em relação as agulhas, para ser energizado assim que o JIG for ligado, e um interruptor foi conectado em serie com uma das fases, para impedir a alimentação do JIG caso o interruptor esteja aberto, conforme mostrado na Figura 37.

Figura 37 – JIG de teste para uma lâmpada do forno micro-ondas

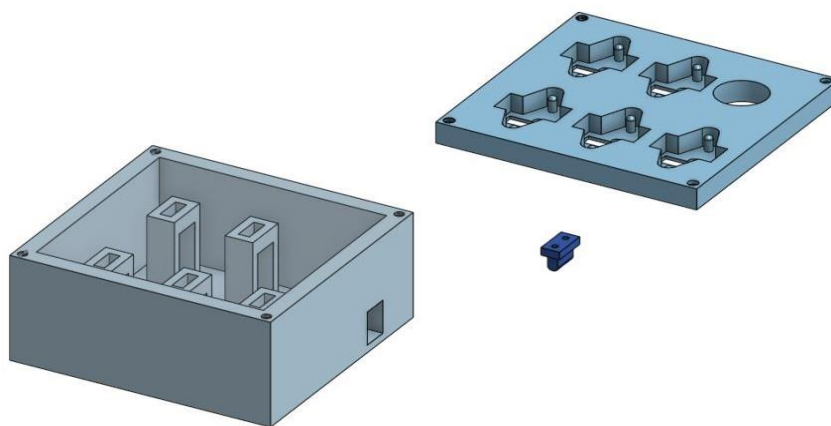


Fonte: Autor próprio

Com o JIG montado, foi realizado um teste em laboratório, o mesmo foi ligado em uma fonte que realiza a alimentação do JIG, podendo ser de 127V e 220V, e também faz a leitura da potência que está sendo enviada. Desta forma, foi colocado a lâmpada no alojamento do JIG, e o mesmo foi ligado, assim verificando se estava conforme ou não.

Com o JIG funcionando corretamente, um novo JIG foi projetado em CAD, para realizar teste de 5 lâmpadas ao mesmo tempo (Figura 38 e Figura 39). Seguindo o mesmo princípio do JIG anterior, porém com existência de 5 pares de agulhas, ligadas em paralelas entre si. Os parâmetros de impressão se encontram na Tabela 10.

Figura 38 – Desenho das peças do JIG de teste para cinco lâmpadas em software CAD



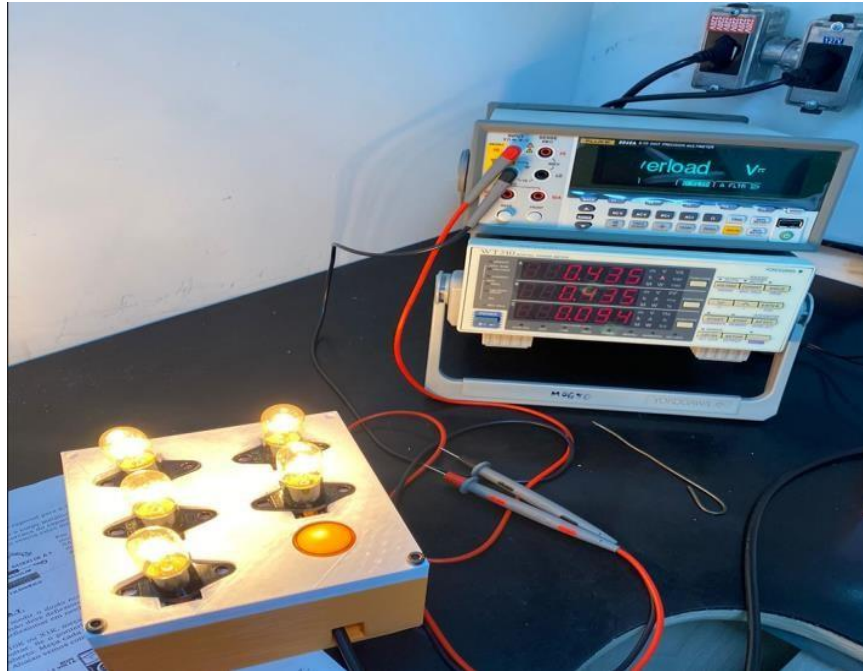
Fonte: Autor próprio

Tabela 10 – Parâmetros utilizados para realização da impressão do caso 8, JIG de teste de potência para 5 lâmpadas.

Impressora 3D DDDROP LEADER	1 unidade
Paquímetro 300mm	1 unidade
Horas de modelagem	6 horas
Tipo de Filamento Utilizado	PLA
Quantidade	1
Tempo	17 horas e 28 minutos
Peso	306,1g
Preenchimento	25%
Temperatura extrusor	210°C
Temperatura da mesa	60°C
Diâmetro do bico	0,4mm
Custo Material	30,61

Fonte – Autor próprio

Figura 39 – JIG de teste de cinco lâmpadas realizando verificação de potência



Fonte: Autor próprio

Com o JIG testado e validado, o mesmo foi encaminhado para a equipe de qualidade que faz a verificação dos materiais no recebimento, para realizar a verificação da funcionalidade das lâmpadas, de forma amostral, onde o técnico de qualidade seleciona, de forma aleatória, as lâmpadas enviadas pelo fornecedor para verificar se sua potência está de acordo com as normas estabelecidas.

Após a aplicação do JIG de potência, foi possível analisar no indicador de não conformidade na linha de montagem uma redução de 60% dos casos em linha, e um aumento de 73% de lâmpadas não conformes no recebimento do material, pelos técnicos de qualidade. Desta forma foi possível ganhar produtividade na linha de montagem, e melhorar o filtro de lâmpadas não conformes antes dela chegarem até a linha de montagem. Baseado nesses dados, a equipe de Engenheiros da Qualidade que tratam com fornecedores, entram em contato com o Fornecedor do item, para investigarem esses casos do item não conforme, comprovando assim a utilidade do JIG, para a melhoria da qualidade da empresa.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve intuito de demonstrar a versatilidade da utilização da manufatura aditiva na indústria, facilitando a prototipagem e desenvolvimento de dispositivos.

Diante da necessidade de estamos constante melhoria, um projetista se depara com vários desafios para concretizar sua ideia, seja ele alto custo de mão de obra, alto custo de material, custo logístico de material e equipamento, viabilização do conceito de sua ideia, dificuldade de manufatura de peças devido a design complexos e alto tempo de confecção de peças. Porém, como foi demonstrado através dos 8 estudos de casos realizados, foi possível realizar prototipagem rápida de forma barata, que poderia levar meses para ser confeccionado pelos métodos convencionais de criação de molde, obtendo redução de custo de material, mão de obra e tempo. Foi possível aumentar a confiabilidade e qualidade dos processos que são realizados na indústria através de gabaritos e suportes com geometria complexas, que poderia ter um alto tempo de confecção se fossem feitos pelos métodos convencionais de usinagem reduzindo o tempo de confecção e de custo de material utilizado. Utilizando a manufatura aditiva, foram confeccionados dispositivos que conseguiram melhorar a ergonomia e o processo de trabalho dos operadores, trazendo ganho de tempo no processo, e redução nos indicadores de qualidade da empresa.

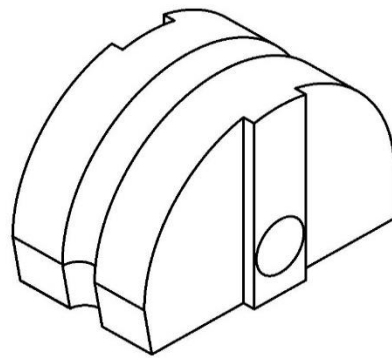
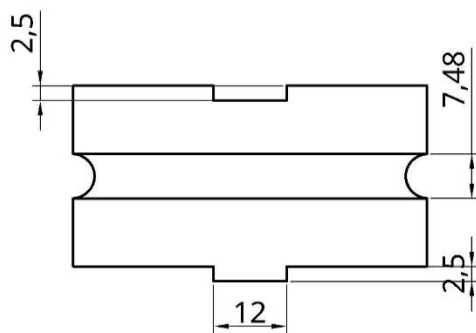
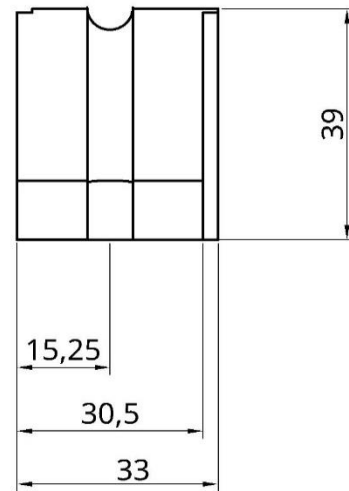
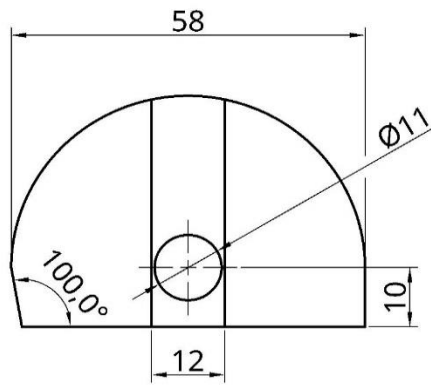
Após a aplicação dos 8 estudos de casos, foi possível analisar que se os mesmos se fossem realizados pelos métodos convencionais, teriam um custo de aproximadamente R\$315.000,00 em material e mão de obra, e tempo de confecção de 1 semana até 3 meses, dependendo dos dispositivos a serem confeccionados. Porém através da manufatura aditiva houve apenas investimento de aproximadamente de R\$715,00 em filamento PLA, R\$20.000,00 em uma impressora 3D DDDROP LEADER e algumas horas de modelação 3D, resultando num ROI de 1420% e tempo de confecção de 1 hora até 14 horas dependendo do dispositivo.

Desta forma foi possível comprovar a versatilidade e utilidade da manufatura aditiva na indústria, através de diferentes estudos de casos, onde o projetista consegue superar obstáculos de forma rentável e rápida comparada aos métodos que são atualmente utilizados, sendo assim comprovando a hipótese proposta pelo trabalho de demonstrar as vantagens da utilização da manufatura aditiva em empresa do Polo Industrial de Manaus.

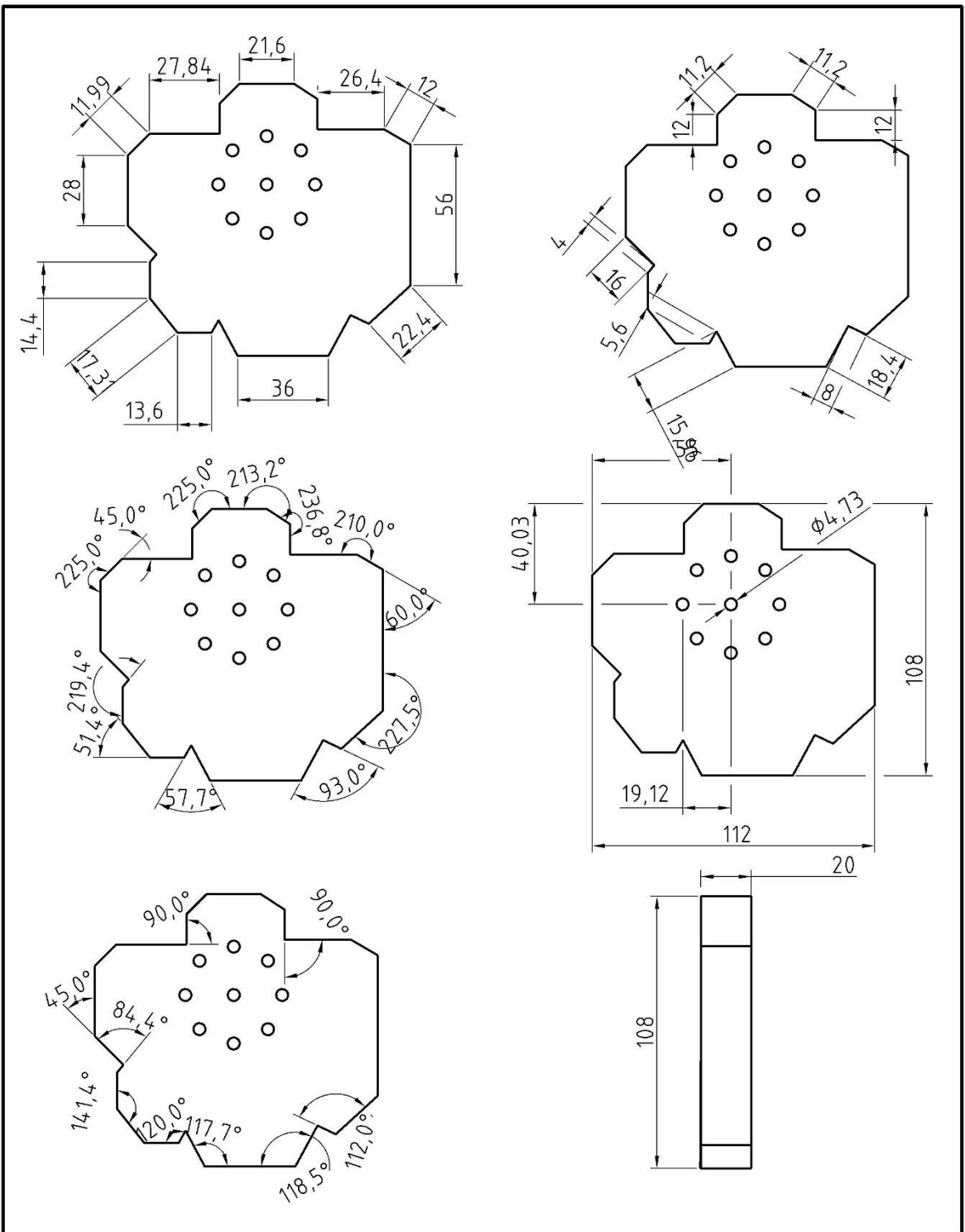
REFERÊNCIA

- ANTONELLI, Leonardo Alves. Impressora 3D de baixo custo. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- BESKO, Marcos; BILYK, Claudio; SIEBEN, Priscila Gritten. Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. *Gestão Tecnologia e Inovação*, v. 1, n. 3, p. 9-18, 2017.
- FERREIRA, Rafael Gomes. Definição e Monitorização de Indicadores Chave de Desempenho (KPI) para Controlo de Operações na Indústria Corticeira. 2019.
- FOGGIATTO, José Aguiomar; VOLPATO, Neri; BONTORIN, Ana Carolina Bueno. Recomendações para modelagem em sistemas CAD-3D. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. 2007. p. 91.
- FONTES, Eduardo Henrique Souza. Aplicação da manufatura aditiva na fabricação de protótipos e validação de peças da indústria automotiva de veículos comerciais. 2019.
- GOMES, João Francisco Bueno; WILTGEN, Filipe. Avanços na manufatura aditiva em metais: técnicas, materiais e máquinas. *Revista Tecnologia*, v. 41, n. 1, 2020.
- INÁCIO, Danilo et al. A importância da manufatura aditiva como tecnologia digital para a indústria 4.0: uma revisão sistemática. *Revista Competitividade e Sustentabilidade*, v. 7, n. 3, p. 653-667, 2020.
- OLIVEIRA, Diego Jucá de Lima. O uso da Prototipagem e Fabricação Digital no ambiente Fab lab. 2016.
- RAULINO, Bruno Ribeiro. Manufatura aditiva: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição). 2011.
- REDWOOD, Ben; SCHFFER, Filemon; GARRET, Brian. *The 3D printing handbook: technologies, design and applications*. 3D Hubs, 2017.
- RITTER, Gustavo Marques. Influência dos parâmetros de uma impressora 3D sobre a produção de peças. Trabalho de conclusão de curso–Faculdade Horizontina, Horizontina, 2014.
- SANTOS, Célio Monteiro; DE FIGUEIREDO BELÉM, José. Indústria 4.0 e Manufatura Aditiva: Um Estudo de Caso com os Consumidores de Calçados Produzidos nas Indústrias de Calçados de Juazeiro do Norte. ID on line. *Revista de psicologia*, v. 12, n. 42, p. 1059-1072, 2018.
- SILVA, Lays Rodrigues. *Atelier: printer host para impressão 3D embarcado*. 2019.
- SILVA, Milena Fontoura da et al. Relação dos parâmetros de impressão com propriedades mecânicas de peças poliméricas obtidas por impressão 3D pela técnica FDM. 2022.
- VOLPATO, Neri. *Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D*. Editora Blucher, 2021.

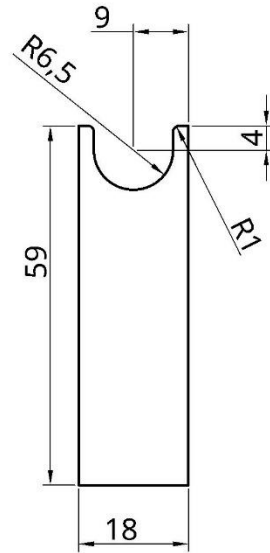
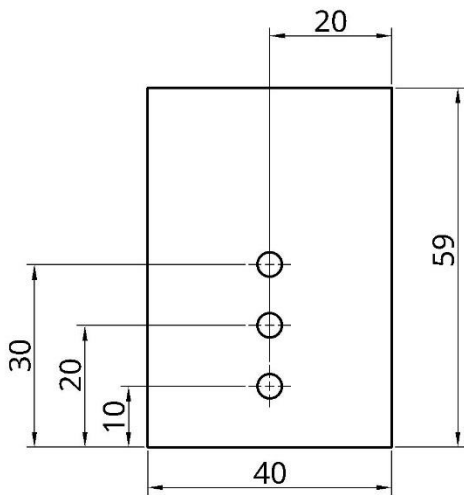
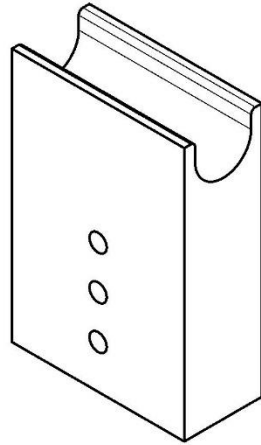
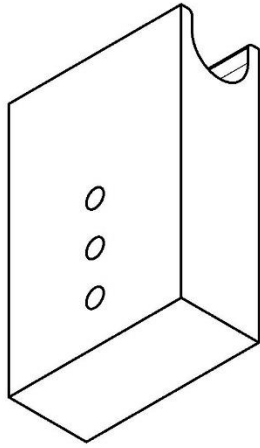
APÊNDICE



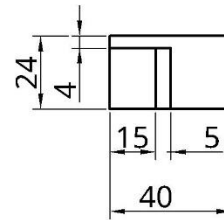
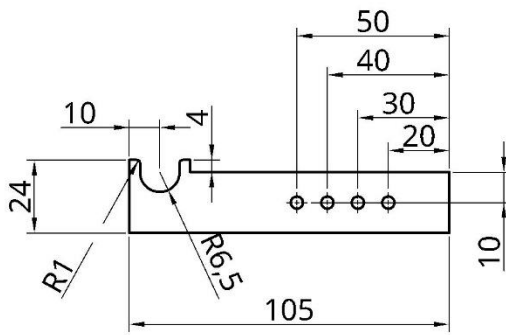
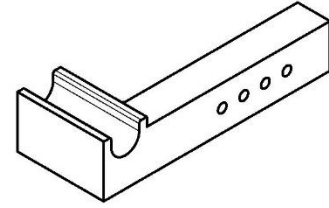
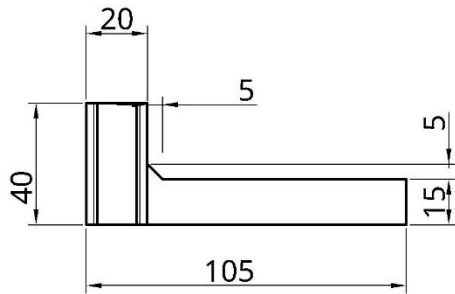
Titulo : Matriz de Dobra para tudo de cobre		Escala: 1:1
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de curso		



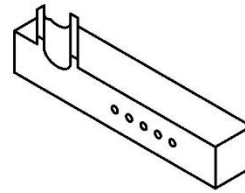
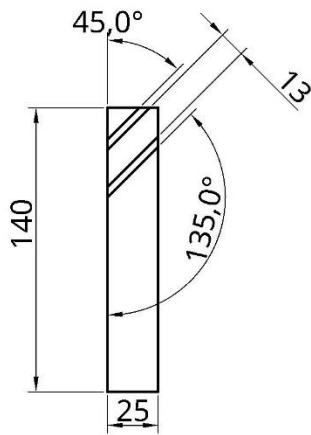
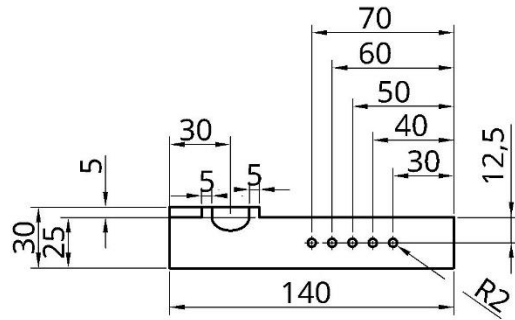
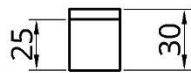
Titulo : Matriz de Setup Dobradeira de Gabinete	ESTUDO DE CASO: Caso 3	Escala: 1:2
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso		



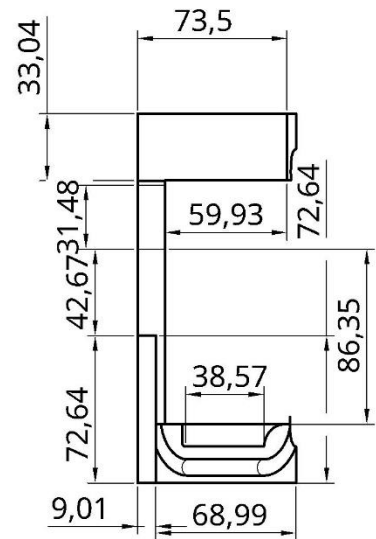
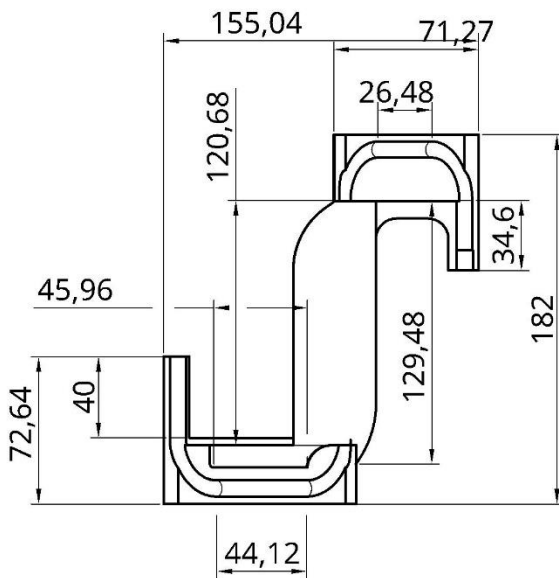
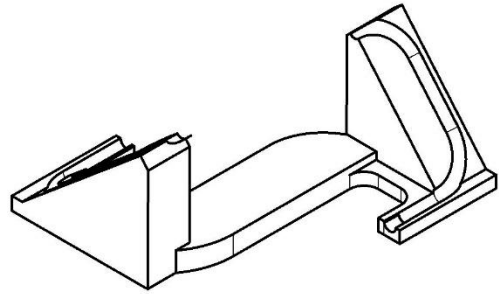
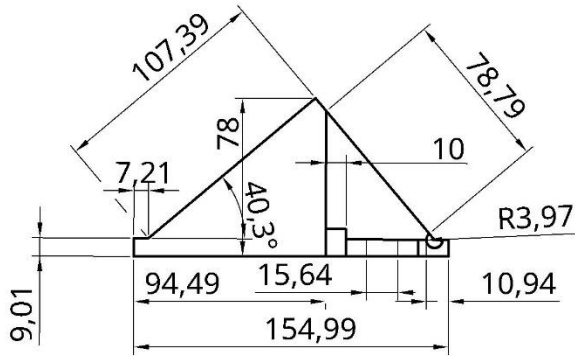
Título : Suporte para gabaritos de Solda de tubos de 13mm de diâmetro, Modelo 1	ESTUDO DE CASO: Caso 4	Escala: 1:1
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso		



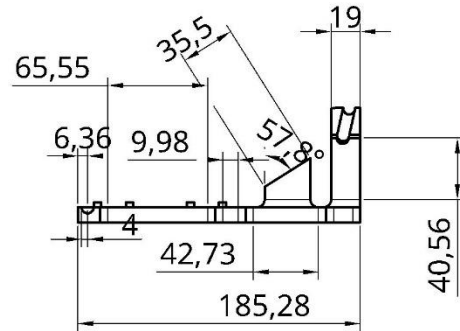
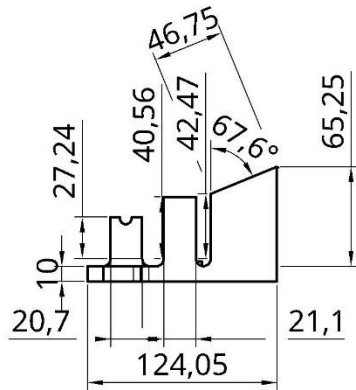
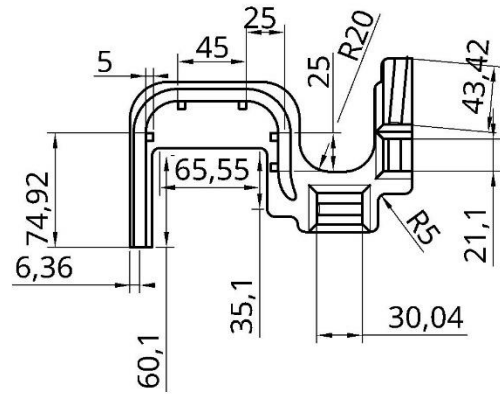
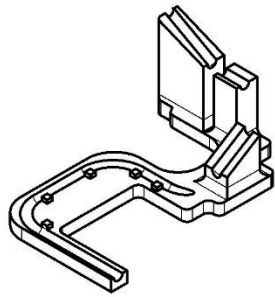
<p>Titulo : Suporte para gabaritos de Solda de tubos de 13mm de diâmetro, MODELO 2</p>	<p>ESTUDO DE CASO: Caso 4</p>	<p>Escala: 1:2</p>
<p>Nome: João Cisne Moreira Neto</p>	<p>Data: 24/01/2024</p>	<p>Turma: Engenharia Elétrica</p>
<p>Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso</p>		



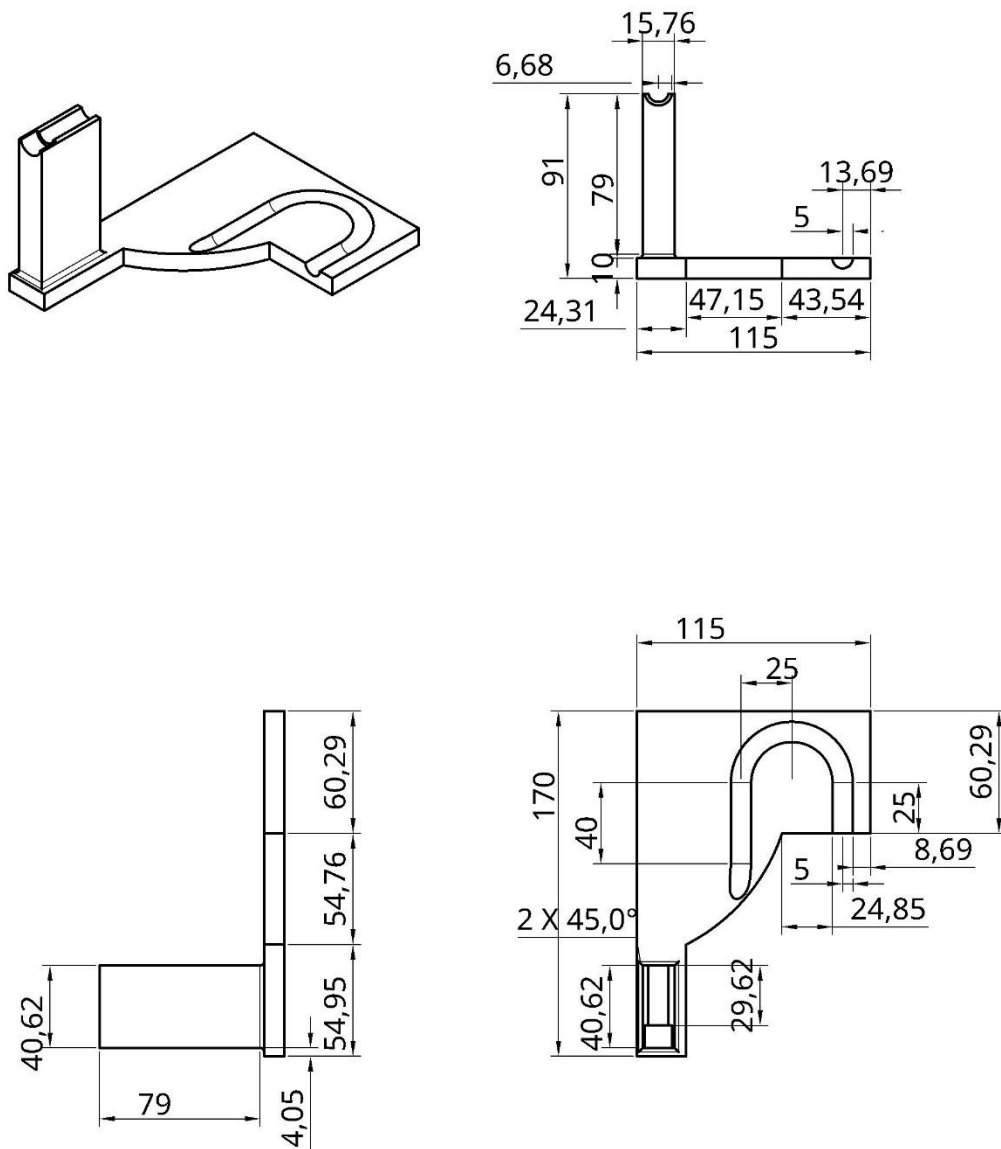
Titulo : Suporte para gabaritos de Solda de tubos de 13mm de diâmetro, Modelo 3	ESTUDO DE CASO: Caso 4	Escala: 1:3
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso		



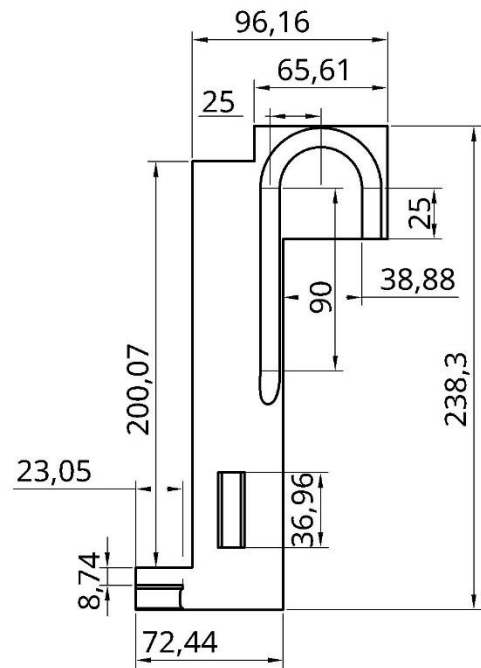
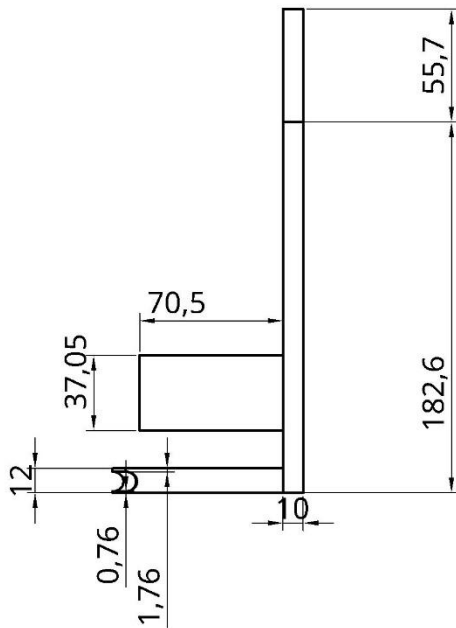
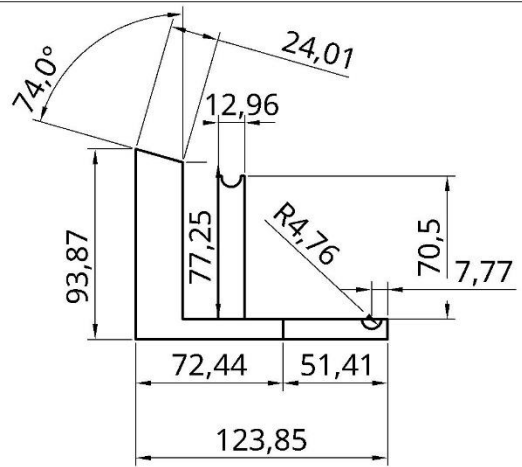
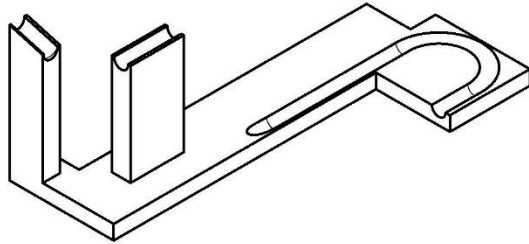
Titulo : Gabarito Tubo de descarga 18Kbtu	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:3
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	



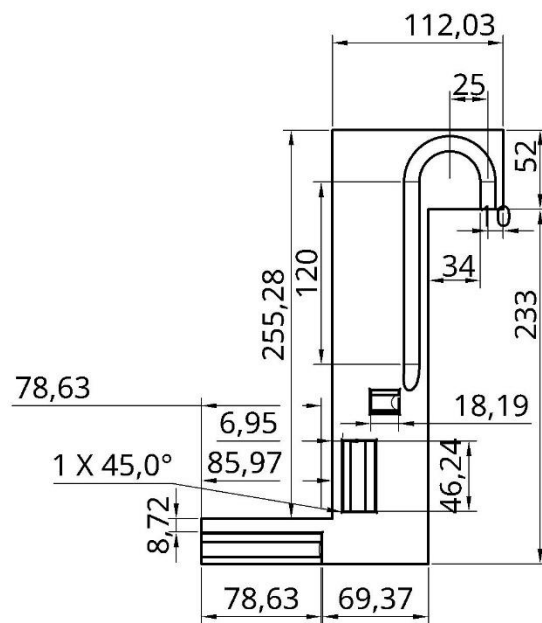
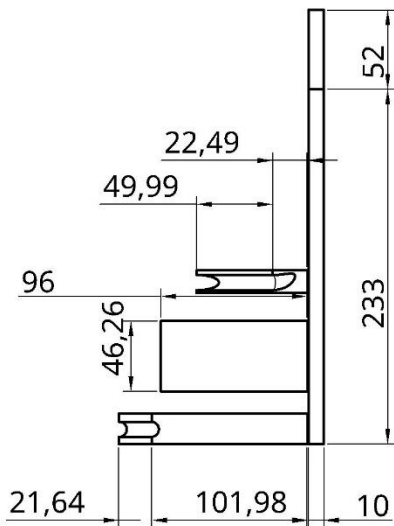
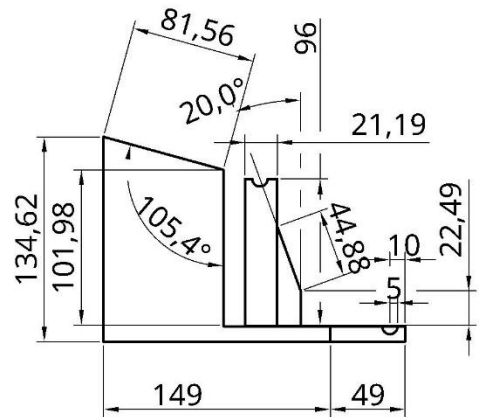
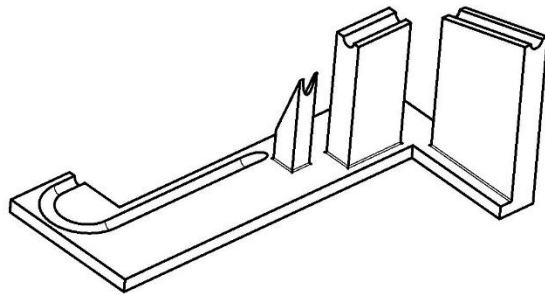
Titulo : Gabarito Tubo de descarga 12Kbtu inverter	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:4
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	Elétrica



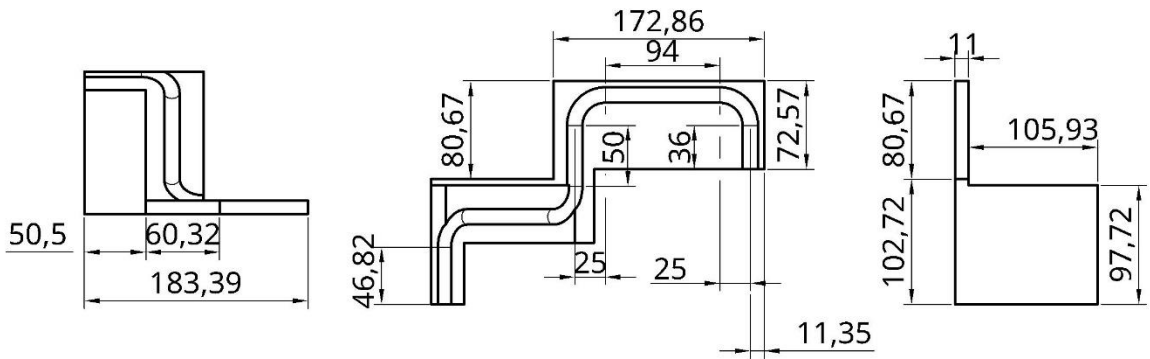
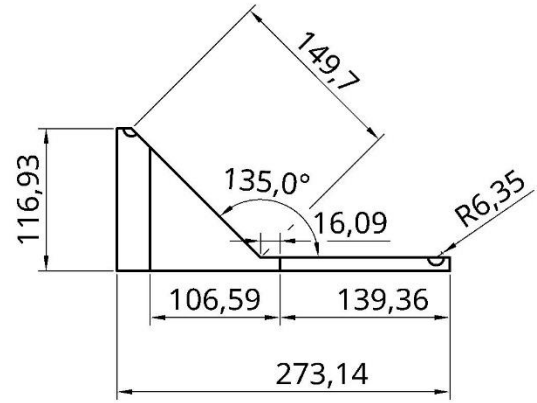
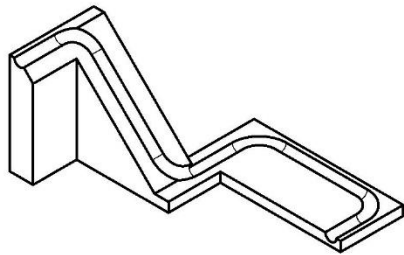
Titulo : Gabarito Tubo de sucção 12Kbtu	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:3
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	



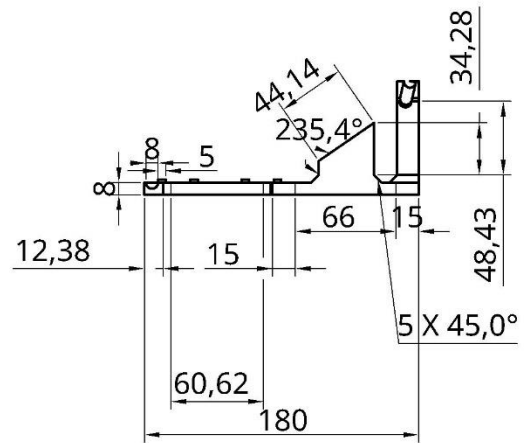
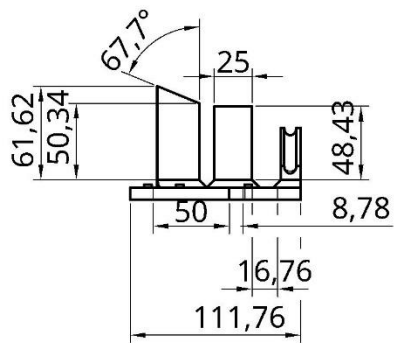
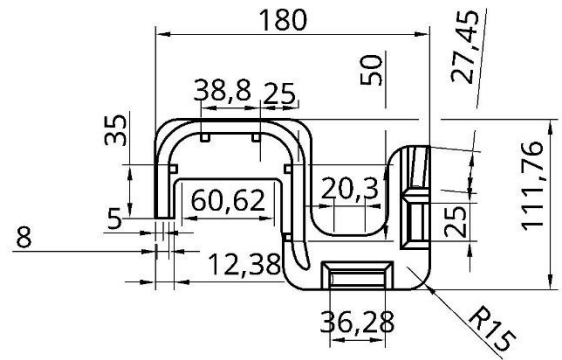
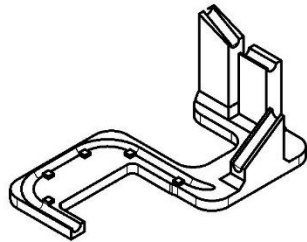
Titulo : Gabarito Tubo de sucção 09Kbtu	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:3
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	Elétrica



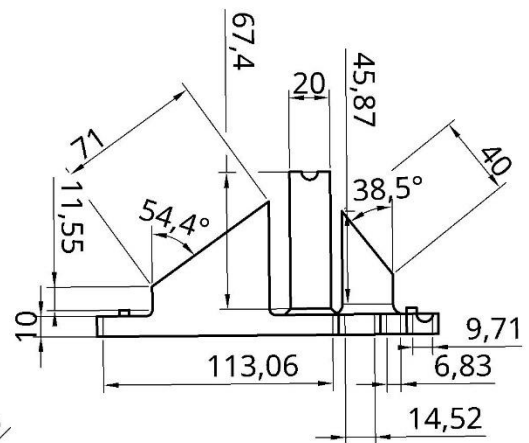
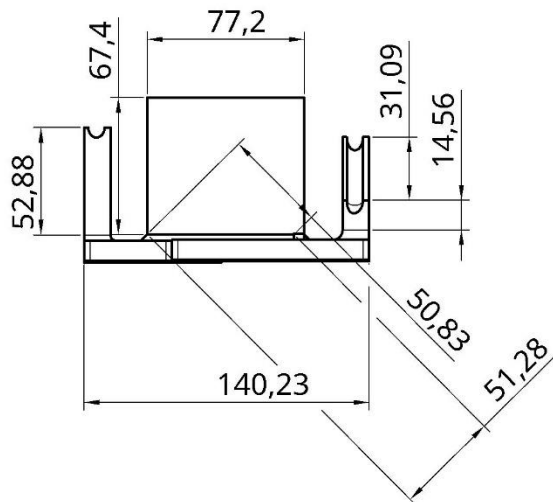
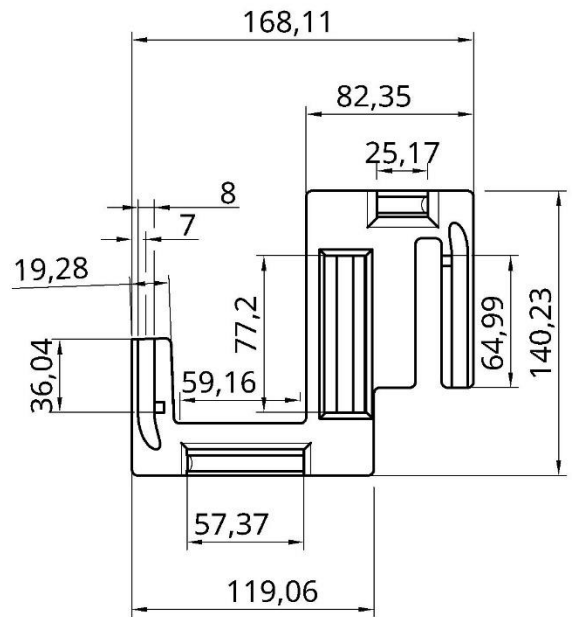
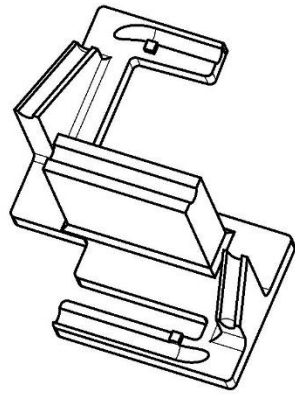
Titulo : Gabarito Tubo de sucção 9/12Kbtu inverter	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:4
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	Elétrica



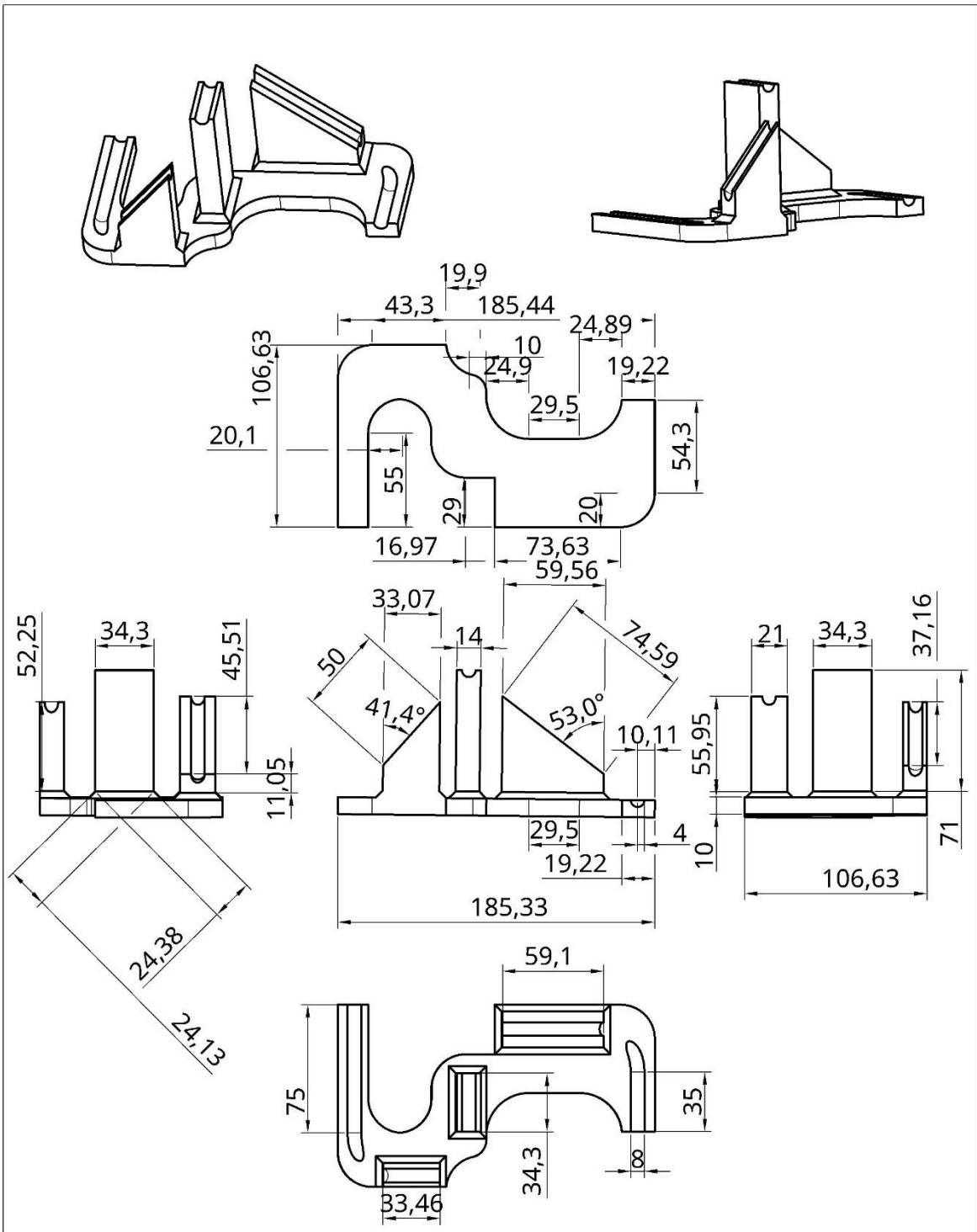
Titulo : Gabarito Tubo de sucção 18Kbtu	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:5
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso		



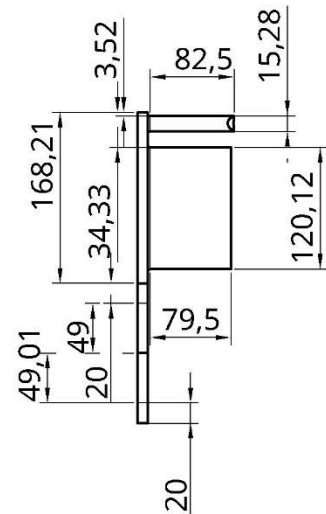
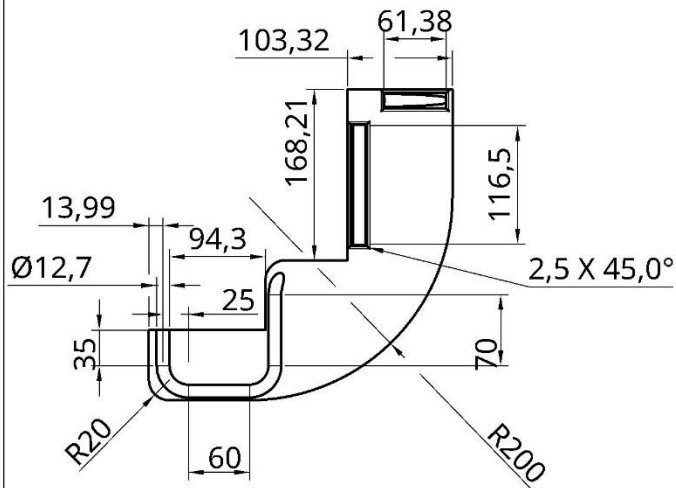
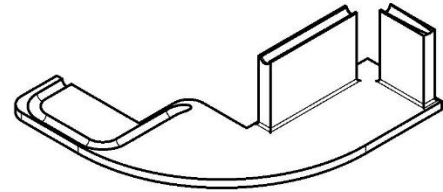
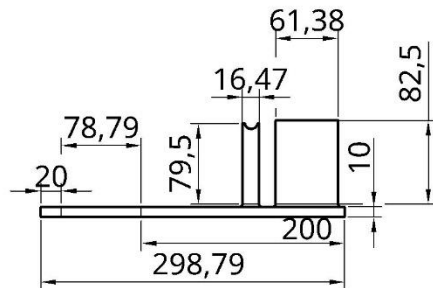
Titulo : Gabarito Tubo de descarga 09Kbtu inverter	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:4
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	Elétrica



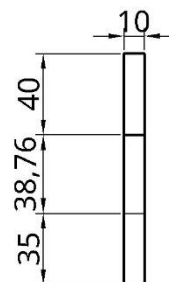
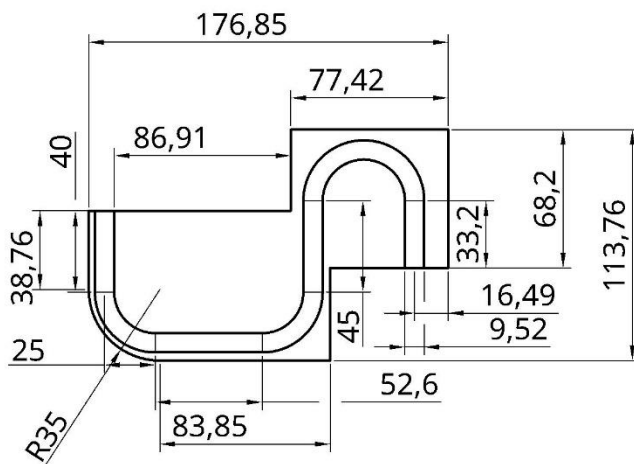
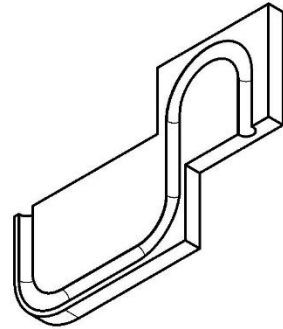
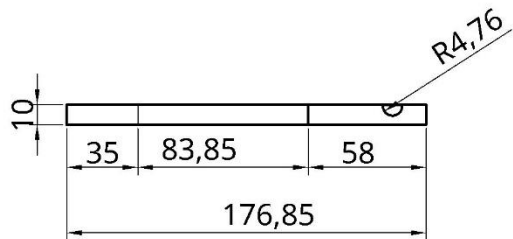
Titulo : Gabarito Tubo de descarga 18Kbtu inverter	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:3
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	Elétrica



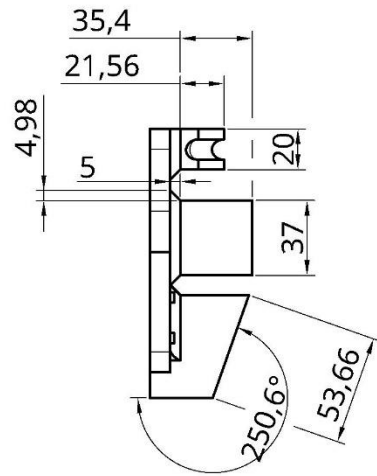
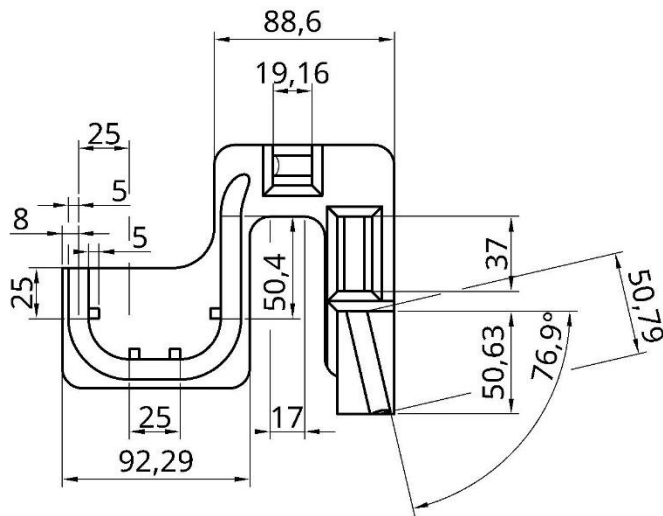
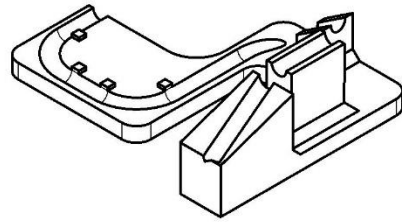
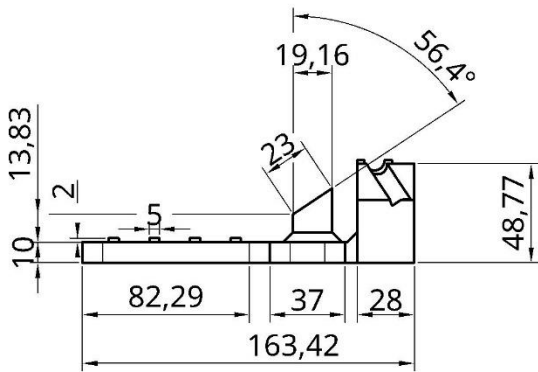
Titulo : Gabarito Tubo de descarga 24Kbtu inverter	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:3
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	



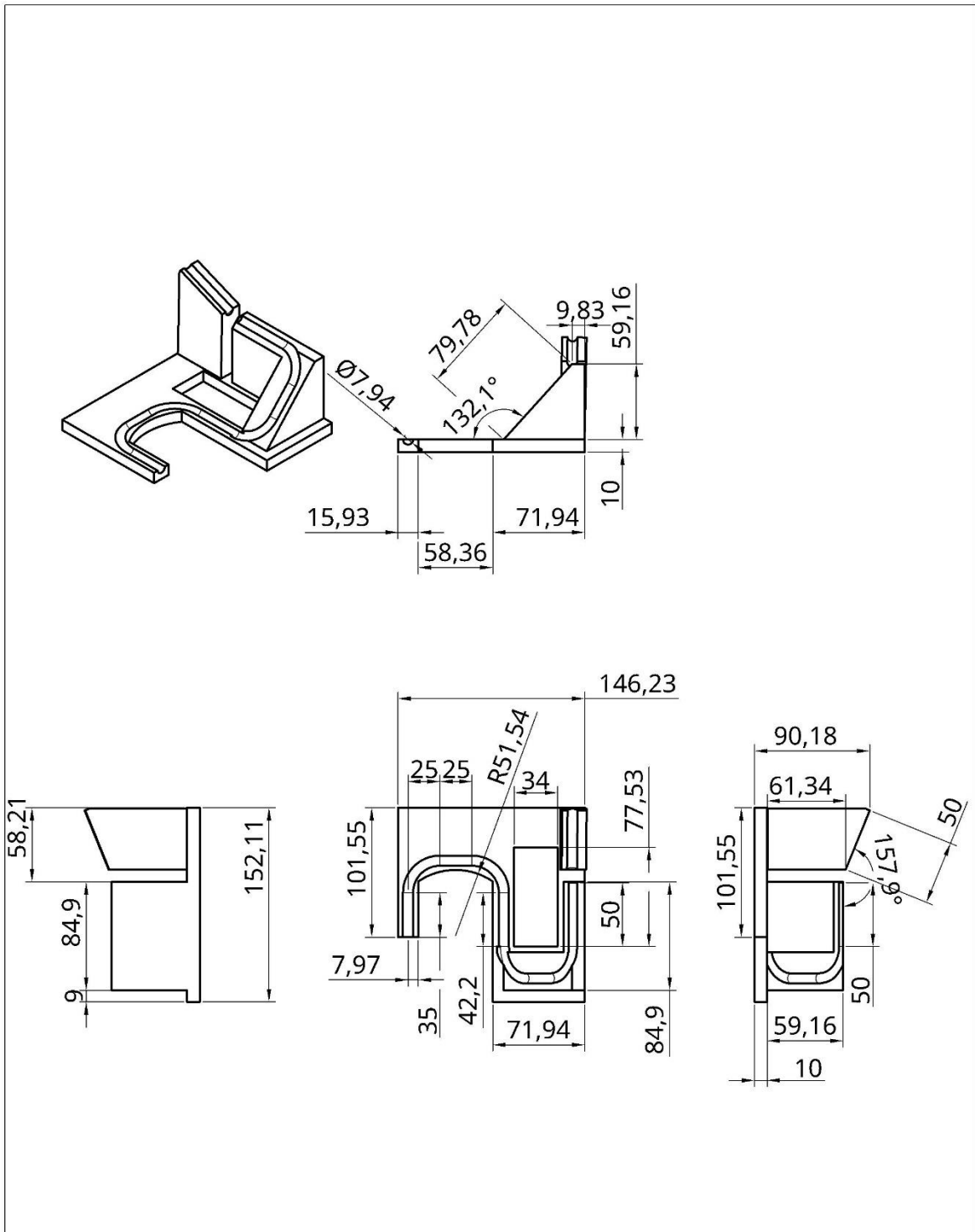
Titulo : Gabarito Tubo de descarga 24Kbtu	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:6
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	Elétrica



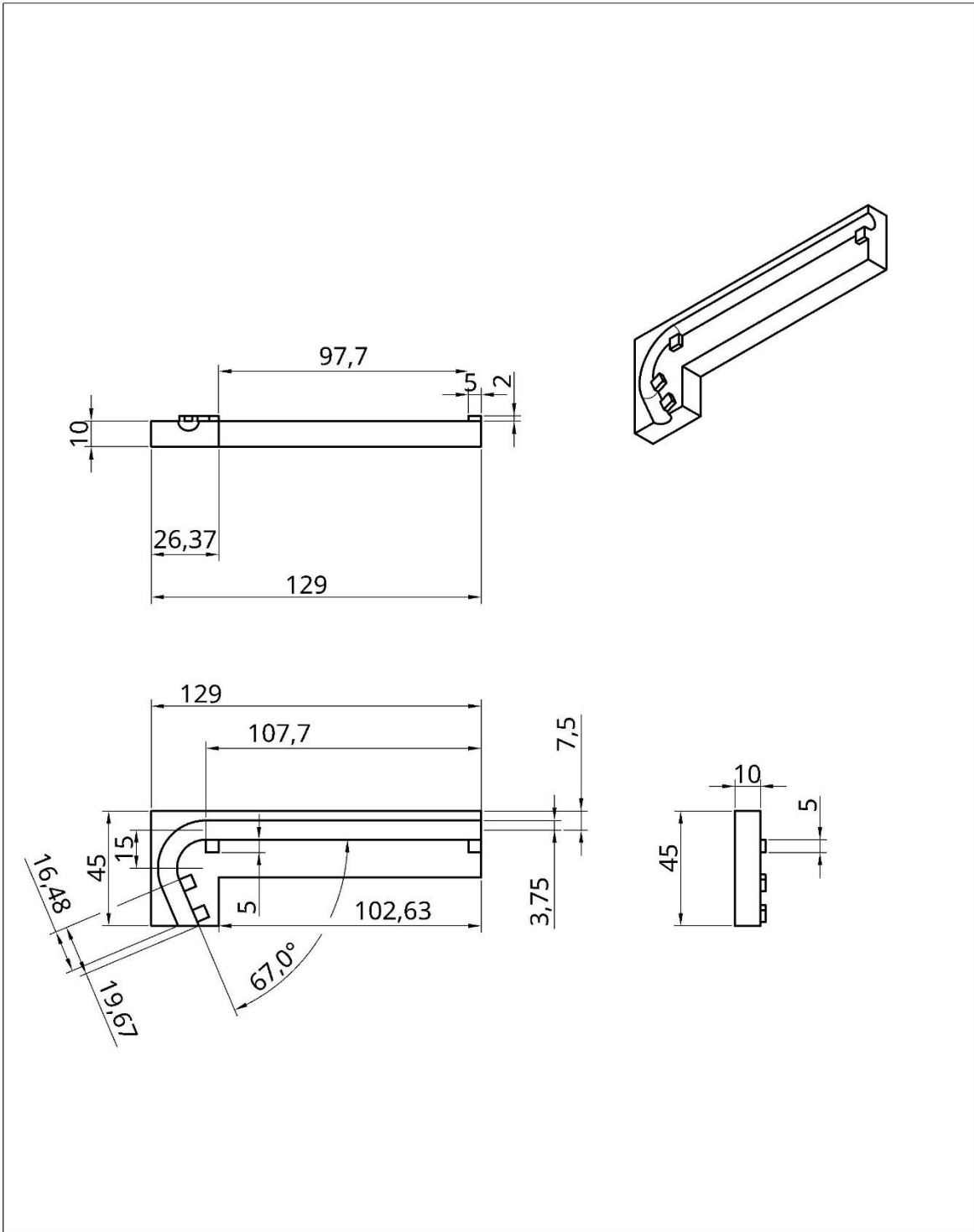
Titulo : Gabarito Tubo de descarga 24Kbtu	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:3
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	



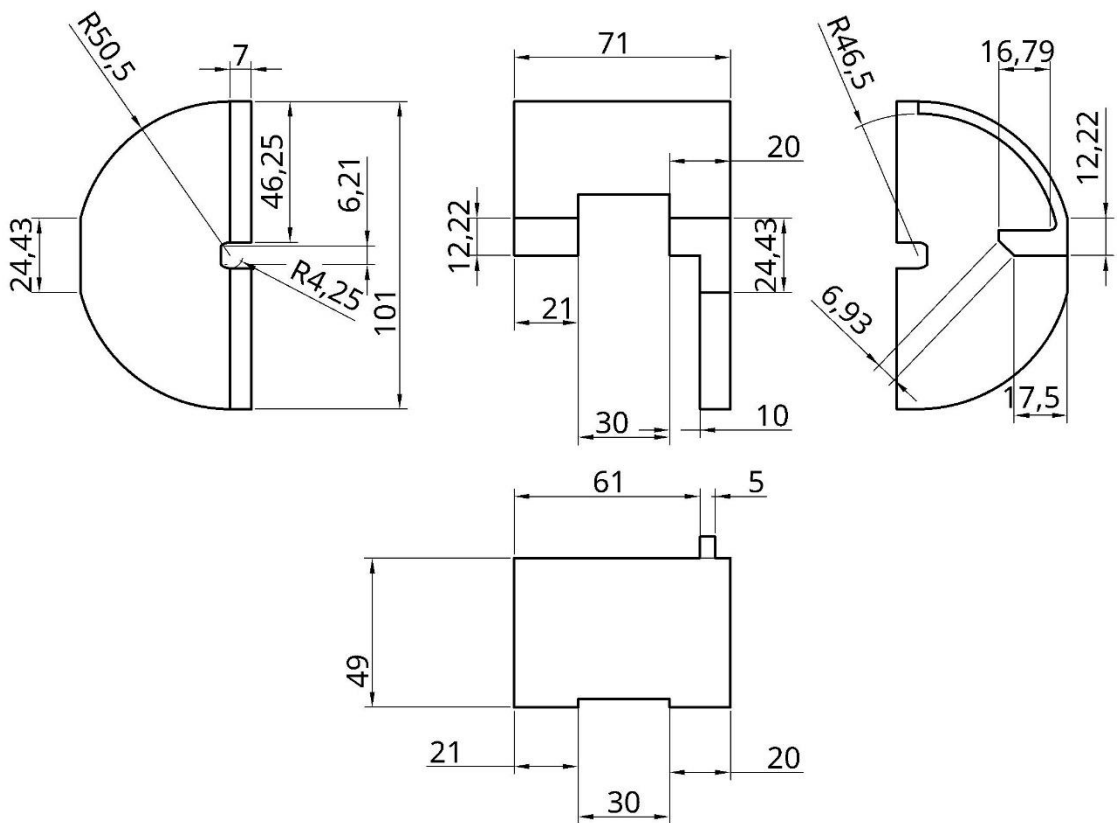
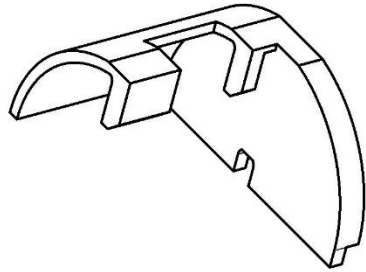
Titulo : Gabarito Tubo de descarga 09Kbtu	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:3
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	



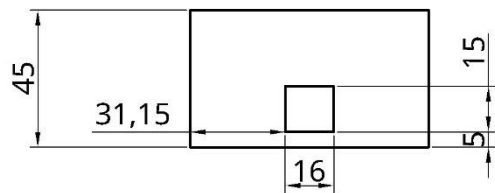
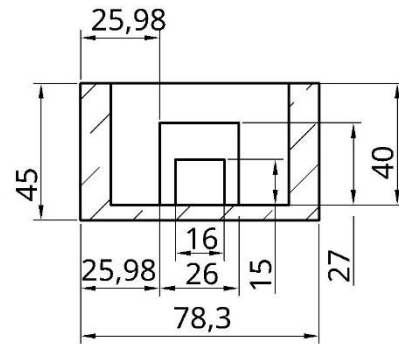
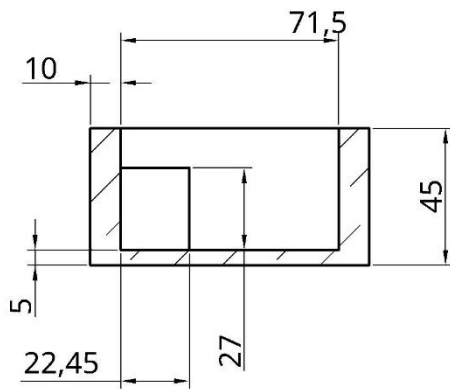
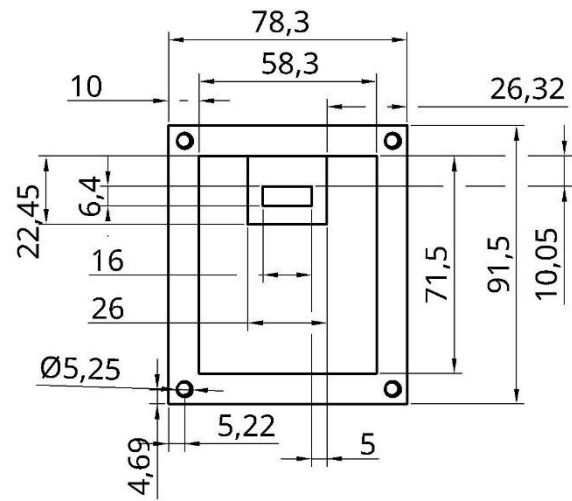
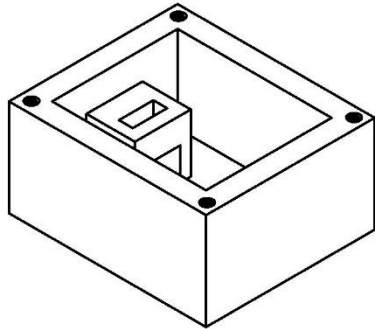
Titulo : Gabarito Tubo de descarga 12Kbtu	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:4
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	



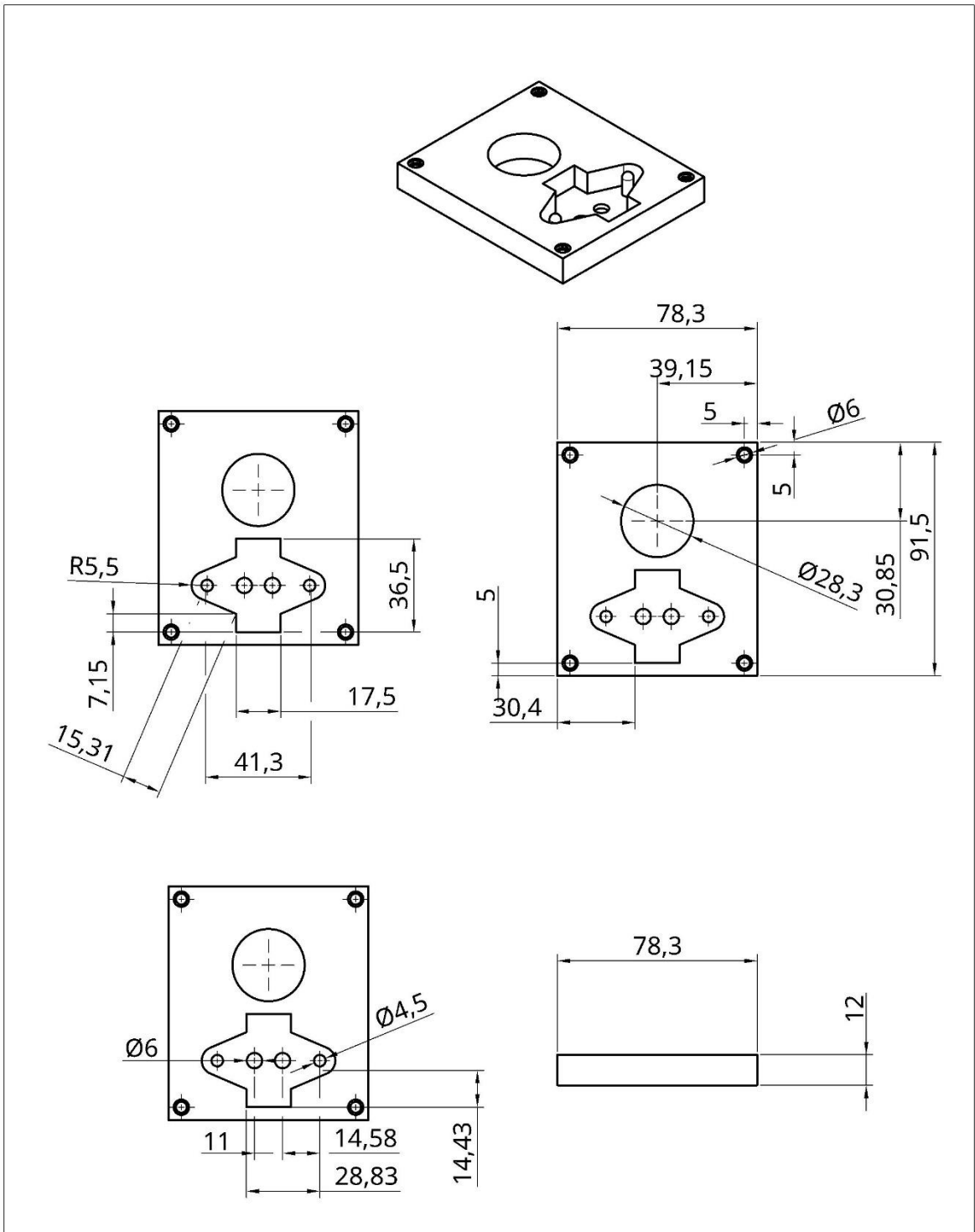
Titulo : Gabarito Tubo de entrada	ESTUDO DE CASO: Caso 6	Escala: 1:2
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	



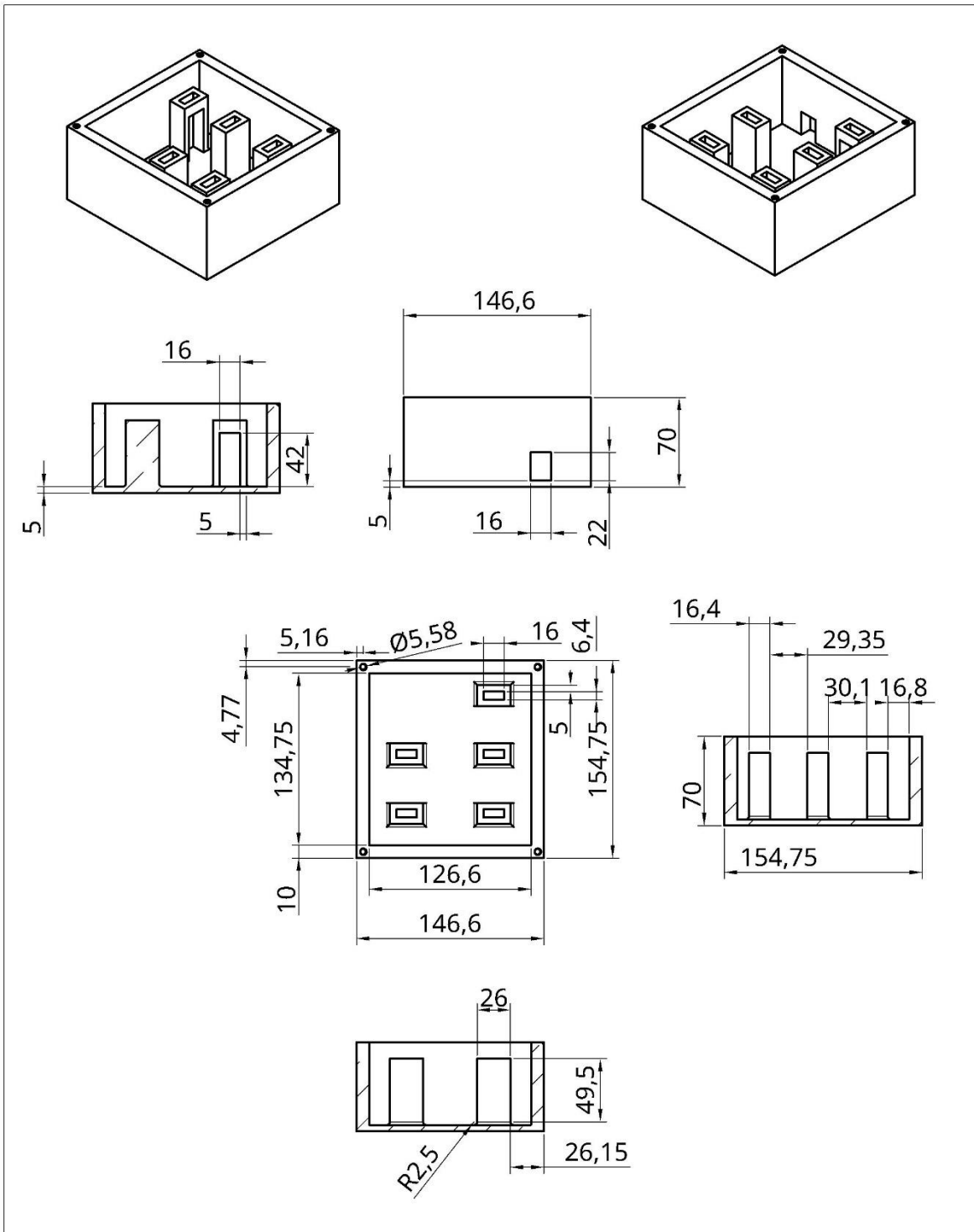
Titulo : Gabarito montagem Ventoinha	ESTUDO DE CASO: Caso 7	Escala: 1:2
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	



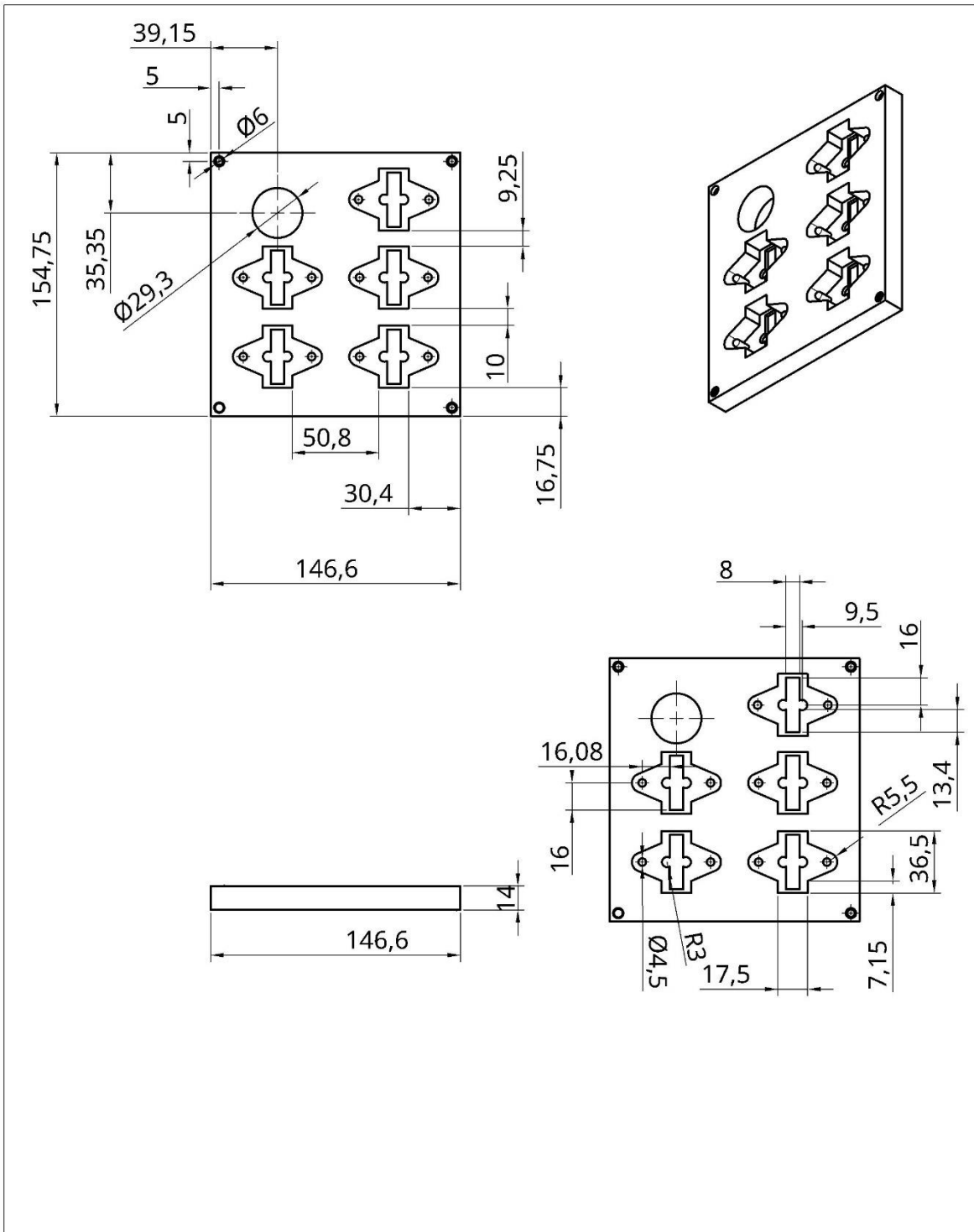
Título : Base Jig de potência para 1 lâmpada	ESTUDO DE CASO: Caso 8	Escala: 1:2
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	



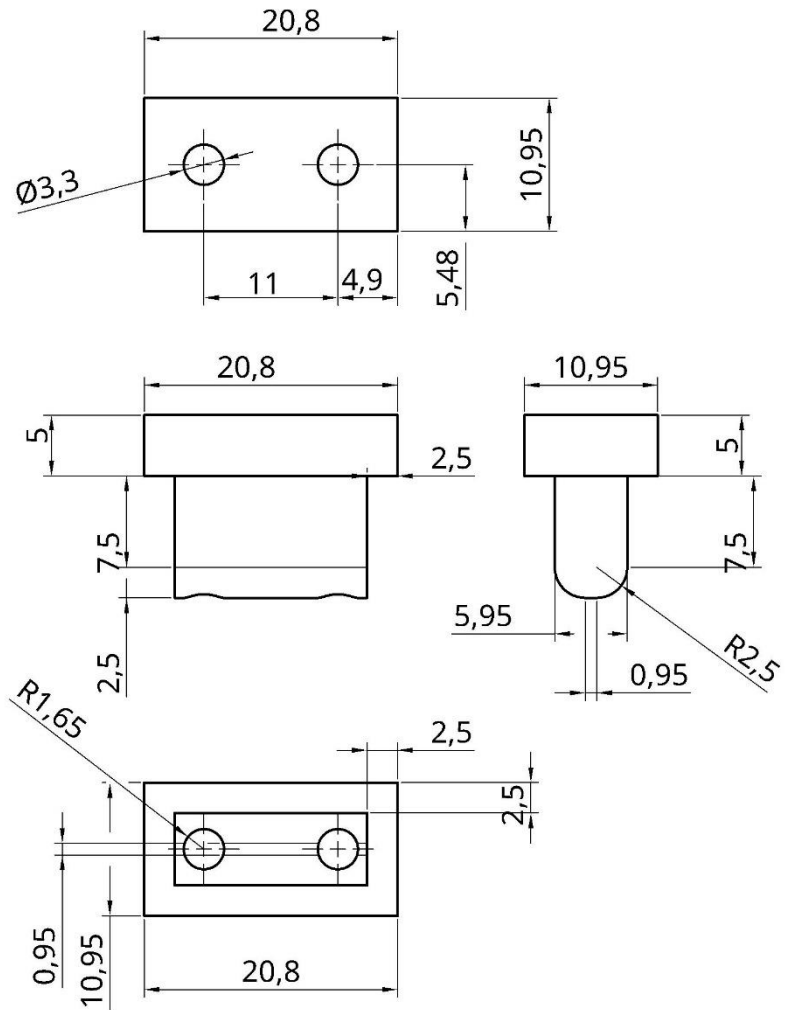
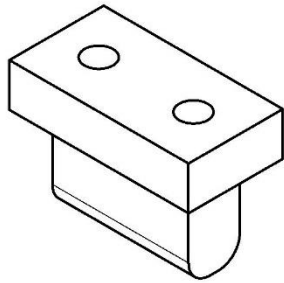
Titulo : Tamba Jig de potência para 1 lâmpada	ESTUDO DE CASO: Caso 8	Escala: 1:2
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	



Título : Base Jig de potência para 5 lâmpadas	ESTUDO DE CASO: Caso 8	Escala: 1:4
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	



Título : Tamba Jig de potência para 5 lâmpadas	ESTUDO DE CASO: Caso 8	Escala: 1:3
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	



Titulo : Receptaculo Jig de potência	ESTUDO DE CASO: Caso 8	Escala: 2:1
Nome: João Cisne Moreira Neto	Data: 24/01/2024	Turma: Engenharia Elétrica
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso	Unidade: mm	