



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANDRÉ JEFERSON DOS SANTOS COSTA

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO DE INSPEÇÃO PARA JUNTAS
SOLDADAS DESTINADO À INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.**

JOÃO PESSOA - PB

2019

ANDRÉ JEFERSON DOS SANTOS COSTA

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO DE INSPEÇÃO PARA JUNTAS SOLDADAS
DESTINADO À INDÚSTRIA DO PETRÓLEO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Dr. Marcelo Cavalcanti Rodrigues

JOÃO PESSOA - PB

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C837p Costa, Andre Jeferson Dos Santos.

Projeto de um Dispositivo de Inspeção Para Juntas Soldadas Destinado à Indústria do Petróleo / Andre Jeferson Dos Santos Costa. - João Pessoa, 2019.
102 f. : il.

Orientação: Marcelo Cavalcanti Rodrigues.
Monografia (Graduação) - UFPB/TECNOLOGIA.

1. Dispositivo de Inspeção de Solda. I. Rodrigues, Marcelo Cavalcanti. II. Título.

UFPB/BC

ANDRÉ JEFERSON DOS SANTOS COSTA

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO DE INSPEÇÃO PARA JUNTAS SOLDADAS
DESTINADO À INDÚSTRIA DO PETRÓLEO**

Trabalho de Conclusão de Curso - T.C.C., apresentado pelo acadêmico **ANDRÉ JEFERSON DOS SANTOS COSTA**, do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, tendo obtido o conceito _____, conforme a apreciação da Banca Examinadora:

Aprovado em _____ de maio de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Cavalcanti Rodrigues
Orientador (Universidade Federal da Paraíba - UFPB)

João Vitor Lira de Carvalho Firmino
Mestrando (Universidade Federal da Paraíba - UFPB)

Genilton de França Barros Filho
Mestrando (Universidade Federal da Paraíba - UFPB)

Dedico este trabalho a Deus por sua infinita misericórdia, aos meus pais por ter me dado a vida, aos meus irmãos e amigos pela força dada diante das adversidades e a minha noiva pela paciência e compreensão ao longo do curso.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a **Deus** pelo dom da vida, por sua infinita misericórdia e por me proteger e guiar em todos os caminhos.

Aos meus pais **João e Antonina** pelo amor, esforço e dedicação. A eles devo todas as conquistas adquiridas.

A minha noiva **Thayná Italyne** pelo apoio, amor e sabedoria que têm demonstrado ao longo desses anos.

Ao meu orientador Prof. Dr. **Marcelo Cavalcanti** que muito ajudou ao longo do cursoe especialmente durante a especialização.

Ao Técnico em Eletromecânica do LabII - UFPB **Gilsivan Cartaxo** pelo auxílio, disponibilidade e por todo o conhecimento passado sempre que solicitado.

Aos Técnicos da Oficina Mecânica **Romoaldo e Fábio** por fabricarem todas as peças do protótipo. Assim como, pelas dicas nos momentos de dúvidas e pelos materiais fornecidos.

Aos amigos, **Francinaldo, Ledson, Rene, Samuel e Wagner** e aos demais amigos, pela vivência e apoio ao longo do curso.

*“Não havendo bois o estábulo fica limpo, mas pela força do boi há
abundância de colheita”*

Provérbios 14:4

RESUMO

O uso da técnica ultrassônica TOFD (*Time Of Flight Diffraction*) para identificação e dimensionamento de trincas internas às soldas, é um método eficiente e mundialmente utilizado. Na Indústria do Petróleo e do Gás Natural muitas estruturas como navios e plataformas são empregados nos seus ciclos produtivos. Sendo assim, a integridade destas é fundamental para a segurança das instalações, dos trabalhadores e do ecossistema. Nesse contexto, foi desenvolvido o **Dispositivo Automático de Inspeção Ultrassônica Para Chapas Soldadas**. Ele foi criado com a finalidade de avaliar, de forma prática e confiável, a integridade de soldas planas, de topo, existentes em placas metálicas de grandes dimensões. Outra característica do protótipo é sua simplicidade e baixo custo de fabricação. Ele é composto por carrinho e módulo de inspeção. Os quais se deslocam sobre o cordão de solda, realizando uma varredura completa e enviando, para os instrumentos externos, os dados para interpretação. Seu projeto foi desenvolvido no Laboratório de Integridade e Inspeção da Universidade Federal da Paraíba, LabII –UFPB e sua fabricação ocorreu na Oficina Mecânica da UFPB. O protótipo está em fase de montagem e ajustes. O dispositivo de inspeção também será utilizado para fins educativos. Servindo de bancada de estudos para estudantes de Engenharia da instituição. No projeto do protótipo foram realizadas as etapas de dimensionamento, desenho das peças, escolha e compra de materiais, usinagem e montagem do conjunto. Ao longo deste trabalho serão apresentados os detalhes relativos as etapas que levaram a sua criação.

Palavras Chave: Integridade da Solda, Técnica TOFD, Dispositivo de Inspeção Ultrassônico.

ABSTRACT

The use of the TOFD (Time of Flight Diffraction) Ultrasonic Technique for identification and dimensioning of internal cracks in welds is an efficient and worldwide method. In the Oil and Natural Gas Industry many structures such as ships and platforms are applied in their production cycles. Therefore, their integrity is fundamental to the safety of installations, crew and the ecosystem. In this context, the Automatic Ultrasonic Inspection Device for Soldered Plates was developed. It was created with the purpose of practically and reliably evaluating the integrity of flat top-level welds on large metal plates. Another feature of the prototype is its simplicity and low manufacturing cost. It consists of trolley and inspection module. They move over the weld bead, performing a complete scan and sending the data for interpretation to external instruments. Its project was developed in the Laboratory of Integrity and Inspection of the Federal University of Paraíba, LabII - UFPB and its manufacture took place in the Mechanic Workshop of the UFPB. The prototype is in the process of being assembled and adjusted. The inspection device will also be used for educational purposes. It will be used as a study bench for engineering students of the institution. The design of the prototype were carried out the steps of sizing, design of the pieces, choice and purchase of materials, machining and assembly of the set. Throughout, this work will be presented the details regarding the stages that led to its creation.

Keywords: Weld Integrity, TOFD Technique, Ultrasonic Inspection Device.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: tipos de junta.....	17
Figura 2: posições de soldagem.....	18
Figura 3: trinca na ZT.....	19
Figura 4: inspeção visual.....	20
Figura 5: aplicação do líquido penetrante.....	21
Figura 6: visualização após aplicação do revelador.	21
Figura 7: inspeção por partículas magnéticas.....	22
Figura 8: cristal piezoelétrico.	24
Figura 9: Efeito piezoelétrico.....	24
Figura 10: atenuação sônica.....	25
Figura 11: representação da divergência do feixe sônico.....	27
Figura 12: Reflexão e transmissão de ondas sônicas.....	28
Figura 13: Representação da Técnica TOFD.....	30
Figura 14: inspeção automática em tubos.....	32
Figura 15: Escâner ToFD HST-Lite da Olympus.....	33
Figura 16: Fresadora.....	37
Figura 17: Torno mecânico.	37
Figura 18: tipos de engrenagens.....	38
Figura 19: elementos da engrenagem cilíndrica de dentes retos.....	39
Figura 20: relação de transmissão em engrenagem.	41
Figura 21: relação de transmissão em fusos.	42
Figura 22: sapatas angulares.	43

Figura 23: Placa de Controle Arduino Uno.	44
Figura 24:Módulo Drive Ponte H L298N.	45
Figura 25: bateria 9 V	45
Figura 26: Motor CC.	46
Figura 27: Potenciômetro	46
Figura 28: transdutor piezoelétrico.	47
Figura 29: concepção do dispositivo 1.0.	48
Figura 30: concepção do dispositivo 2.0.	49
Figura 31: concepção do dispositivo 3.0.	49
Figura 32: concepção do dispositivo 4.0.	50
Figura 33: concepção do dispositivo 5.0.	52
Figura 34: conjunto de engrenagem I.	54
Figura 35: conjunto de engrenagem II.	54
Figura 36: transmissão para os fusos.	55
Figura 37: Materiais	57
Figura 38: Aplicação do dispositivo.	61
Figura 39: plataforma com estacionamento de helicóptero.	61
Figura 40: Estaleiro.	62
Figura 41: engrenagens do fuso.	62
Figura 42: Sapata de nylon com anel.	63
Figura 43: Broca quebrada, Peça 22.	64
Figura 44: Peças 9 e 10.	64
Figura 45: Rodinhas dianteira e traseira.	64
Figura 46: Eixo traseiro	65

Figura 47: Mancais.....	66
Figura 48: Montagem I.	66
Figura 49: Montagem 2	67
Figura 50: Montagem3.	67
Figura 51: Montagem4.	67
Figura 52: Montagem 5	68
Figura 53: transdutor para aplicação TOFD.	69
Figura 54: osciloscópio.....	70
Figura 55: gerador de ondas.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: propriedades acústicas dos materiais.	31
Tabela 2: massa específica de alguns materiais.....	35
Tabela 3: descrição dos componentes mecânicos do dispositivo.	50
Tabela 4: descrição dos componentes elétricos.	52
Tabela 5: Elementos de fixação.....	53
Tabela 6: engrenagens.	54
Tabela 7: custo dos materiais das peças.....	57
Tabela 8: custo de usinagem das engrenagens.....	58
Tabela 9: Custo dos componentes elétricos e de fixação.	59
Tabela 10: custo total	60

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	15
2.OBJETIVOS.....	16
2.1.Objetivos Gerais	16
2.2.Objetivos Específicos.....	16
3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1. Soldagem.....	16
3.1.1. Definição de Soldagem.....	16
3.1.2. Classificação de soldagem	17
3.1.3. Falhas Presentes em Soldas	18
3.2. Métodos de inspeção de solda.....	19
3.2.1. Inspeção Visual /Dimensional	19
3.2.2. Inspeção Com Líquido Penetrante	20
3.2.3. Partículas magnéticas	22
3.2.4. Inspeção por Ultrassom	22
3.2.4.1. Características das Ondas.....	23
3.2.4.2 Efeito Piezoelétrico.....	23
3.2.4.3. Atenuação Sônica.....	25
3.2.4.4. Dispersão ou Espalhamento.....	26
3.2.4.5. Absorção	26
3.2.4.6. Divergência Do Feixe Sônico.....	26
3.2.4.7. Impedância Acústica	27
3.2.4.8. Técnica TOFD.....	29
3.3. Dispositivos De Inspeção Ultrassônicos.....	32
3.3.1. Sistema de Inspeção Automático de Soldas em Tubulação	32
3.3.2. Sistema De Inspeção Manual Por TOFD	33

3.4. Projeto do Dispositivo de Inspeção	33
3.4.1. Usinabilidade e Propriedades Dos Materiais Utilizados.	34
3.4.1.2. Massa Específica	34
3.4.1.3. Resistência a Corrosão	35
3.4.2. Máquinas Ferramentas	36
3.4.2.1. Fresadora	36
3.4.2.2. Torno Mecânico	37
3.4.3. Componentes Mecânicos	38
3.4.3.1. Engrenagem	38
3.4.3.1.1. Razão de Transmissão de Engrenagens	41
3.4.3.2. Fuso	42
3.4.3.3. Sapatas	43
3.4.4. Componentes Elétricos	43
3.4.4.1. Placas de comando Arduino e Módulo Drive Ponte H	44
3.4.4.2. Bateria	45
3.4.4.3. Motores CC	45
3.4.4.4. Potenciômetro	46
3.4.4.5. Transdutor piezoelétrico	47
4. RESULTADOS	47
4.1. Dispositivo de Inspeção	48
4.1.1. Dimensionamento	53
4.1.1.1. Engrenagens e Fusos	54
4.1.1.2. Motores	55
4.1.2. Desenhos das Peças	56
4.1.3. Escolha dos Materiais e Seus Custos	56
4.1.3.1. Custo dos Materiais Usinados	57
4.1.3.2. Custo Da Usinagem Dos Dentes Das Engrenagens	58

4.1.3.3. Custo dos Componentes Comprados	58
4.1.3.4. Custo Total	59
4.1.4. Aplicação Industrial	60
4.2. Fabricação.....	62
4.3. Montagem.....	66
4.4. Equipamentos Para Aplicação Da Técnica TOFD	68
4.4.1. Transdutores Piezelétricos para TOFD	69
4.4.2. Osciloscópio.....	69
4.4.3. Pulser Receiver	70
4.4.4. Acoplante	70
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
6. REFERÊNCIAS.....	72
7. APÊNDICES	73
7.1. APÊNDICE A: vistas das peças do protótipo.....	73
7.2. APÊNDICE B: documentação feita para o pedido de patente.....	96

1.INTRODUÇÃO

Entre os processos industriais existentes atualmente, a soldagem se apresenta como o mais importante método de união de peças metálicas. A soldagem é utilizada nos mais diversos segmentos do mercado. Seja na fabricação de eletrodomésticos ou de navios, a soldagem é de fundamental importância. Por esse motivo, a qualidade e a garantia da integridade da junta soldada são, em geral, parâmetros fundamentais. Nesse sentido, ao longo dos anos, vêm sendo desenvolvidos os mais diversos métodos de verificação e análise da integridade das juntas soldadas.

Equipamentos de inspeção de solda têm por finalidade básica a identificação de discontinuidades presentes no interior ou na superfície do cordão. Segundo **Modenesi (2001)** “o termo descontinuidade em soldagem pode ser definido como a interrupção na continuidade ou a falta de homogeneidade nas características mecânicas, físicas ou metalúrgicas da solda”.

A falta de continuidade, como a presença de pequenas trincas, não implica na ocorrência de solda defeituosa. Desse modo, serão consideradas soldas defeituosas aquelas que não satisfazem as especificações estabelecidas em normas regulamentadoras.

Na indústria do petróleo são utilizadas embarcações e estruturas metálicas para dar suporte a produção e transporte dos produtos. Elas estão submetidas a diversas tensões que podem danificar as suas estruturas. A ocorrência de falhas nessas estruturas poderia causar acidentes gravíssimos.

Nesse sentido, muitos métodos são utilizados na avaliação da integridade das soldas. Dentre eles se destacam os Ensaio Não Destrutivos (END). Estes são indispensáveis na avaliação da integridade dessas uniões. Nesse campo se destaca o método de inspeção por **Ultrassom**. Este é aplicado na indústria moderna, principalmente nas áreas de caldeiraria e estruturas marítimas.

Estão disponíveis no mercado diversos dispositivos de inspeção que utilizam o ultrassom. Sendo aplicados principalmente na inspeção de soldas em tubos. Esses equipamentos têm um custo bem elevado. Nessa linha, visando oferecer uma alternativa mais econômica, foi desenvolvido o **Dispositivo Automático de**

Inspeção Ultrassônica para Chapas Soldadas, o qual, será apresentado nesse trabalho.

2.OBJETIVOS

2.1.Objetivos Gerais

O objetivo desse Trabalho de Conclusão de Curso é apresentar como foi a concepção, o desenvolvimento e a fabricação do protótipo do **Dispositivo Automático De Inspeção Ultrassônica Para Chapas Soldadas**. Deve este, apresentar baixo custo de fabricação e confiabilidade nos dados por ele coletados.

2.2.Objetivos Específicos

- ✓ Descrever os princípios de funcionamento do protótipo;
- ✓ Detalhar os custos de fabricação do dispositivo de inspeção;
- ✓ Mostrar onde aplicar e as vantagens de sua utilização;
- ✓ Apresentar as atividades que levaram a patente do dispositivo.

3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Soldagem

3.1.1. Definição de Soldagem

Na literatura encontram-se algumas definições para o termo soldagem. A Associação Americana de Soldagem (*American Welding Society – AWS*) define soldagem como:

"Processo de união de materiais usados para obter a coalescência localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a aplicação de pressão e/ou de material de adição."

O conceito a cima não engloba as novas aplicações da soldagem. Como ocorre na recuperação de peças desgastadas ou quando o objetivo é a formação de

um revestimento com características especiais. Ambos são obtidos pela adição de material fundido na superfície da peça.

Outra definição encontrada associa-se ao conceito de continuidade das propriedades físicas e químicas na região soldada. Sendo está escrita da seguinte forma:

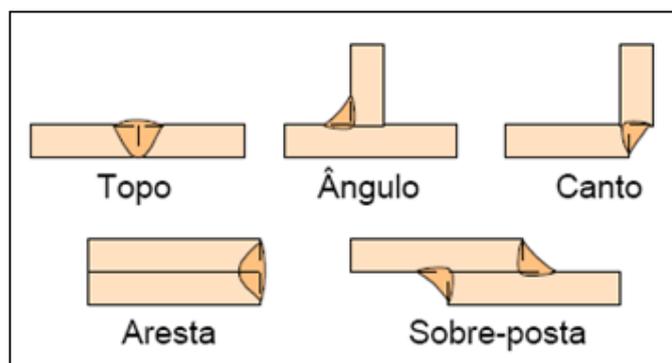
“Operação que visa a união de duas ou mais peças, assegurando na junta, a continuidade das propriedades físicas e químicas.”

3.1.2. Classificação de soldagem

A soldagem é dividida em dois grupos. Dependendo do método utilizado para promover a união dos componentes ele pode ser classificado como um processo de soldagem por pressão ou por fusão. Sendo o último o mais empregado na indústria.

Nas definições anteriores foi mencionado o termo “junta”. Esta representa a região na qual é realizada a união dos componentes. O posicionamento que estes podem assumir determina o tipo de junta. Como mostra a figura 1.

Figura 1: tipos de junta.

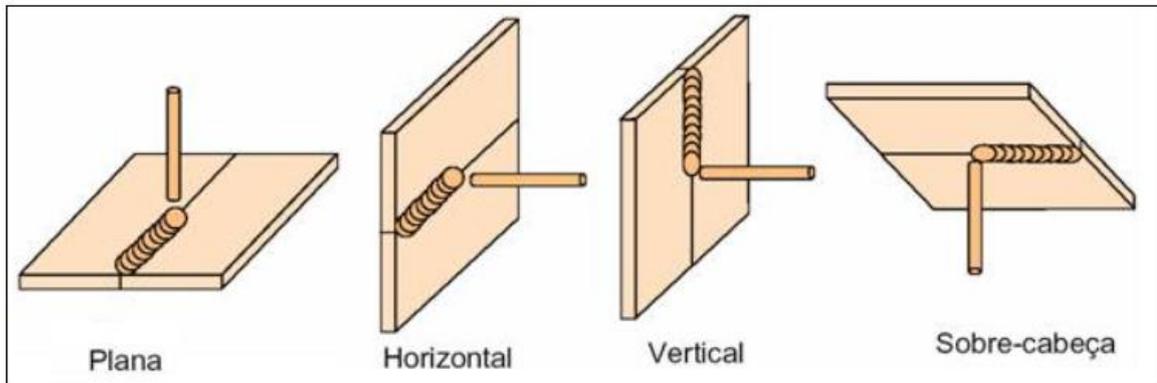


Extraído de: <http://principo.org/definico-de-soldagem.html>.

Acesso: 25/04/2018.

Quanto à posição que a soldagem pode ser realizada, ela pode ser: plana, horizontal, vertical e sobre cabeça. Como mostra a figura 2.

Figura 2: posições de soldagem.



Extraído de: <http://principio.org/definico-de-soldagem.html>.

Acesso: 25/04/2018.

3.1.3. Falhas Presentes em Soldas

Como mencionado, admite-se como defeito de soldagem a falha que comprometa o uso, as especificações estabelecidas e a função dos componentes nos quais foi executada a soldagem. Entre os defeitos que podem ocorrer nesse processo, destacam-se:

- ✓ Existência de porosidade;
- ✓ Falta de penetração e de fusão;
- ✓ Surgimento de trincas, sendo este o mais recorrente.

Estas discontinuidades são decorrentes de:

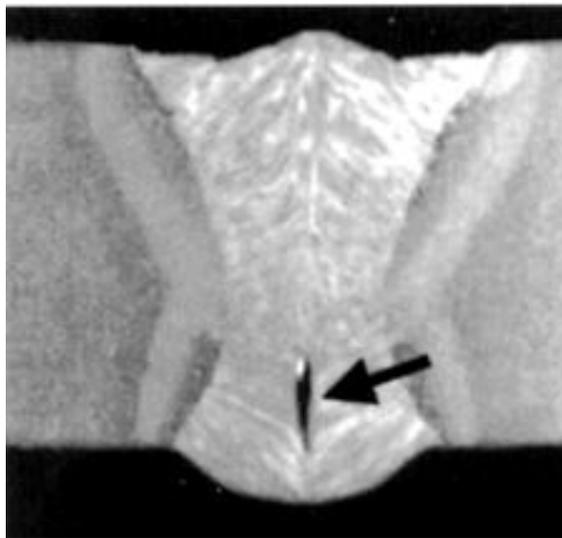
- ✓ Uso incorreto de materiais durante o processo;
- ✓ Falha ou descuido do soldador;
- ✓ Escolha incorreta da técnica de soldagem;
- ✓ Outros.

O processo de soldagem por fusão é caracterizado pelo intenso aquecimento da região da junta. A porção de material aquecida tende a se dilatar. Essa expansão é limitada pelas regiões adjacentes que se encontram em temperaturas mais baixas.

Esse fato leva ao aparecimento de deformações elásticas e, eventualmente, plásticas na região da junta. Como resultado, ao final da soldagem, tensões internas (tensões residuais) e mudanças permanentes de forma e de dimensões (distorções) se desenvolvem na junta. **(VILLANI; MODENESI; BRACARENSE, 2011)**

Na figura 3 é mostrada uma trinca interna a solda, mais especificamente na Zona Fundida (ZT). No entanto, também é possível o seu surgimento na zona termicamente afetada (ZTA).

Figura 3: trinca na ZT.



Extraído de: Kobelco Welding.

Acesso: 26/04/2018.

3.2. Métodos de inspeção de solda

Muitos são os métodos de análise da integridade da solda. Nesse trabalho serão citados alguns deles e detalhado o ultrassom. Método usado pelo protótipo.

3.2.1. Inspeção Visual /Dimensional

O ensaio de inspeção visual é o mais simples dos métodos de inspeção não destrutiva que se pode realizar em uma solda. Podendo ser único ou parte de outros exames e testes não destrutivos para controle de qualidade. Existem diversas

normas, a depender da aplicação, com diferentes critérios de aceitação de descontinuidades presentes na solda.

Este método de inspeção é realizado antes, durante e após a soldagem. Sua realização se inicia com as verificações dos documentos e das especificações da solda, segue com a análise dos materiais envolvidos, com a verificação dos parâmetros da soldagem como tensão e velocidade, finalizando, com o acompanhamento da retirada de escória e da análise dimensional da solda (fig. 4).

Figura 4: inspeção visual.



Extraído de:www.poliend.com.br/inspecao-de-componentes-eolicos.

Acesso: 26/04/2018.

3.2.2. Inspeção Com Líquido Penetrante

O ensaio por líquidos penetrantes é um método desenvolvido para a detecção de descontinuidades essencialmente superficiais. Esse ensaio consiste em aplicar o líquido (figura 5) na superfície da peça e observar a coloração após a remoção do excesso de líquido e da aplicação do revelador (figura 6).

Figura 5: aplicação do líquido penetrante.



Extraído de: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2016/03/31/a-qualificacao-para-o-ensaio-por-liquido-penetrante/>. Acesso: 26/04/2018.

O ensaio por líquido penetrante pode revelar trincas extremamente finas, da ordem de 0,001 mm de abertura. A sua grande vantagem é a simplicidade. Sendo este de fácil aplicação e interpretação.

Figura 6: visualização após aplicação do revelador.

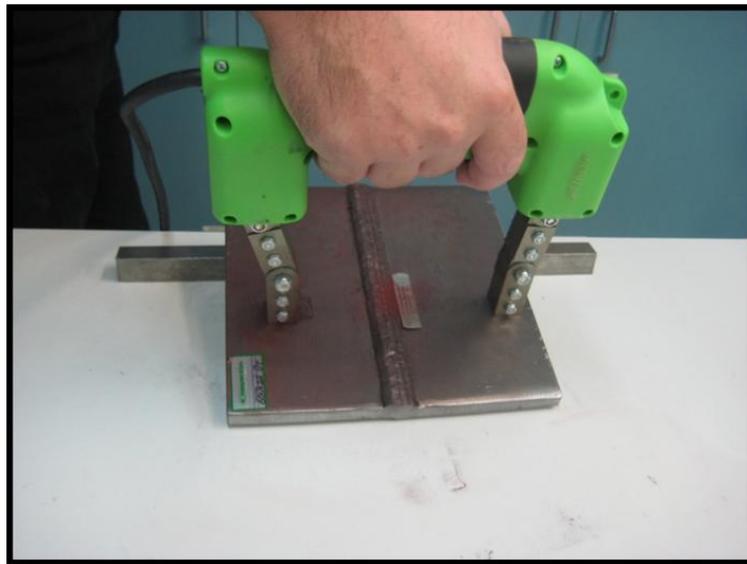


Extraído de: <https://www.youtube.com/watch?v=7HDleKzQm10>. Acesso: 24/04/2018.

3.2.3. Partículas magnéticas

Este tipo de ensaio consiste em submeter uma peça a um campo magnético. Na região magnetizada da peça, as descontinuidades irão causar um campo de fuga do fluxo magnético (figura 7). Com a aplicação das partículas ferromagnéticas sobre a peça ocorrerá uma aglomeração destas nos campos de fuga. Esta indicará o contorno (formato e extensão) do campo de fuga, que vem a ser igual ao da trinca.

Figura 7: inspeção por partículas magnéticas.



Extraído de:<http://bcend.com.br/inspecao-de-engrenagens-utilizando-eddy-current-array-2/>.

Acesso: 26/04/2018.

3.2.4. Inspeção por Ultrassom

O ensaio por ultrassom é caracterizado por se enquadrar nos Ensaio Não Destrutivos –END. Ele tem o objetivo de detectar descontinuidades internas, presentes em diversos tipos de materiais, sejam estes ferrosos ou não ferrosos. Seu funcionamento baseia-se na reflexão sofrida pela **onda sonora** ao incidir num obstáculo.

Desse modo, a onda sonora ou ultrassônica é o elemento que possibilita a execução da Inspeção por Ultrassom. Dada sua relevância, no tópico seguinte serão abordados algumas de suas características.

3.2.4.1. Características das Ondas

A onda é caracterizada por: tipo, velocidade “v”, frequência “f”, período “T” e comprimento “λ”. Estas são dadas em “m/s”, “Hz”, “s” e “mm”, respectivamente. Essas entidades se relacionam conforme as equações (1) e (2).

$$V = \lambda f \quad (1)$$

$$f = 1/T \quad (2)$$

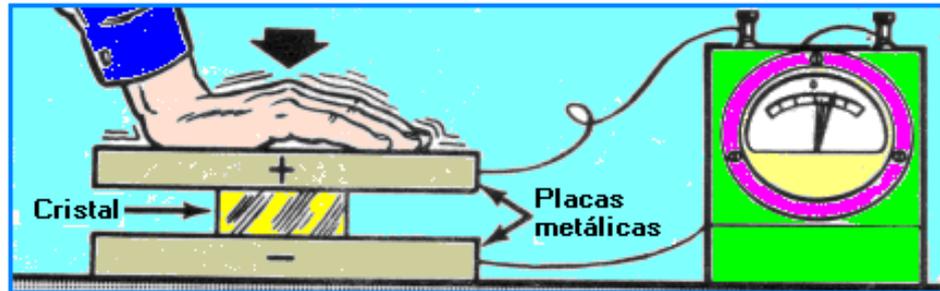
O som pode ser classificado em infrassom, som audível e ultrassom. As ondas sonoras audíveis são aquelas cujas suas frequências se situam na faixa de 20 Hz a 20.000 Hz. As ondas ultrassônicas são aquelas com frequência superior a 20 KHz, já as ondas com frequência inferior a 20 Hz são denominadas de infrassom e, para frequência acima de 1GHz, usualmente, tem-se utilizado o nome de hiperssom. **(SANTIM, 2003)**

Já foi descrito algumas das características das ondas. Agora será explicado como as ondas ultrassônicas são geradas e o que é o **Efeito Piezoelétrico**.

3.2.4.2 Efeito Piezoelétrico

É o nome dado a geração de ondas ultrassônicas a partir de um cristal piezoelétrico e pulsos periódicos de corrente. Basicamente, ao se aplicar uma diferença de potencial (DDP) nas paredes de um desses cristais ele sofrerá uma deformação. Semelhantemente, ao ser comprimido um cristal desse tipo, em suas paredes surgirá uma DDP (figura 8).

Figura 8: cristal piezoelétrico.

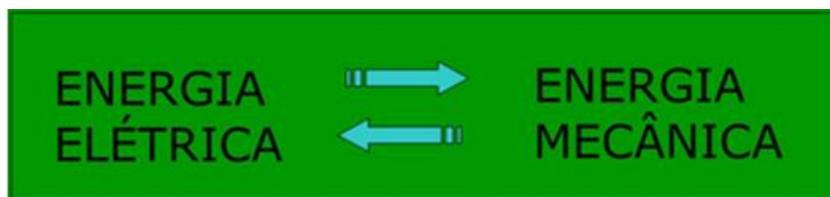


Extraído de: blog.recursosterapeuticos.com.br/2013/04/voce-sabe-o-que-e-efeito-piezoelétrico.html, acesso: 26/04/2018.

Esse cristal é parte integrante dos transdutores piezoelétricos, os quais serão mostrados na seção 3.4.4.5. No momento, é suficiente saber que:

- ✓ Ondas ultrassônicas são introduzidas no material por um **transdutor emissor**. O qual transforma a energia elétrica alternada em energia mecânica (ondas mecânicas geradas na compressão do cristal), figura 9.
- ✓ Os **transdutores receptores** recebem as ondas mecânicas, reverberantes do material e as transformam em sinais elétricos a serem interpretados.

Figura 9: Efeito piezoelétrico.



Extraído de: arquivo pessoal.

Uma vez entendido os conceitos de Ondas e de Efeito piezoelétrico, nos próximos tópicos serão tratados os fatores que influenciam o ensaio por ultrassom. Eles estão relacionados com a diminuição da energia do pulso. São eles: atenuação, espalhamento, absorção, e divergência do feixe sônico. Além destes

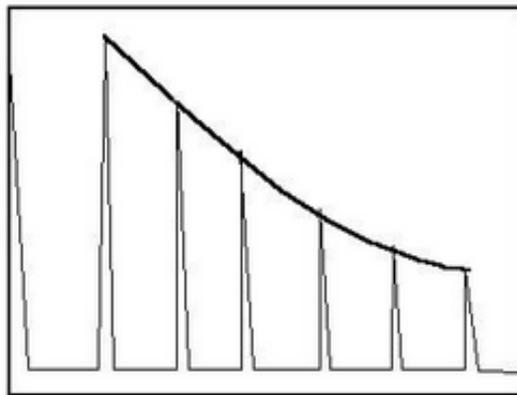
fenômenos podemos citar também a impedância acústica como um importante fator de atenuação. (CAETANO, 2003)

3.2.4.3. Atenuação Sônica

A atenuação sônica pode ser definida como a redução da energia da onda emitida quando esta percorre um material. Segundo **SANTIM (2003, p. 31)**, “a intensidade do feixe sônico recebida por um transdutor é consideravelmente menor que a intensidade inicial de transmissão”.

Na prática, este fenômeno pode ser visualizado na tela do aparelho de ultrassom, quando se observam vários ecos de reflexão de fundo provenientes de uma peça com superfícies paralelas. As alturas dos ecos diminuem com a distância percorrida pela onda. Como é mostrado na figura 10. (**INFOSOLDA, 2018**)

Figura 10: atenuação sônica



Extraído de: <http://slideplayer.com.br/slide/3214667/>.

Acesso: 26/04/2018.

3.2.4.4. Dispersão ou Espalhamento

A dispersão do feixe sônico deve-se ao fato da matéria não ser totalmente homogênea e conter interfaces naturais de sua própria estrutura ou que são provocadas pelo processo de fabricação. (INFOSOLDA, 2018)

“Descontinuidades cristalinas, tais como contorno de grão e inclusões não metálicas tendem a desviar pequenas quantidades de energia ultrassônica para fora do feixe sônico”. (SANTIM, 2003, p.33)

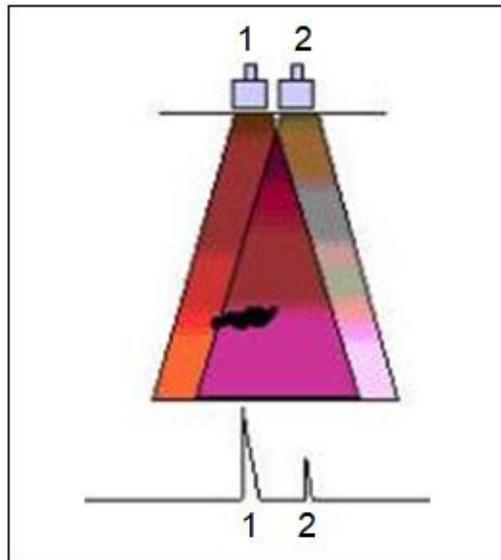
3.2.4.5. Absorção

SANTIM (2003, p. 32) afirma que “O fenômeno de absorção ocorre fundamentalmente pela conversão da energia mecânica da onda em energia térmica”. Segundo este autor a absorção representa a ação de frenagem no movimento oscilatório das partículas. Este efeito é mais intenso quando as frequências das oscilações são mais elevadas.

3.2.4.6. Divergência Do Feixe Sônico

A divergência é um fenômeno físico responsável pela perda de parte da intensidade ou energia da onda sônica. Ela se pronuncia à medida que a fonte emissora é afastada da trinca. Tal fenômeno pode ser observado ao detectar um defeito pequeno com o feixe ultrassônico central do transdutor. Nesta condição, a amplitude do eco na tela do aparelho é máxima. No entanto, quando o transdutor é afastado lateralmente ao defeito, a amplitude diminui, indicando uma **queda na sensibilidade de detecção do mesmo defeito** (fig. 11). A diferença de sensibilidade ou altura do eco de reflexão entre a detecção do defeito com o feixe ultrassônico central e a detecção do mesmo defeito com a borda do feixe ultrassônico é considerável. (INFOSOLDA, 2018)

Figura 11: representação da divergência do feixe sônico.

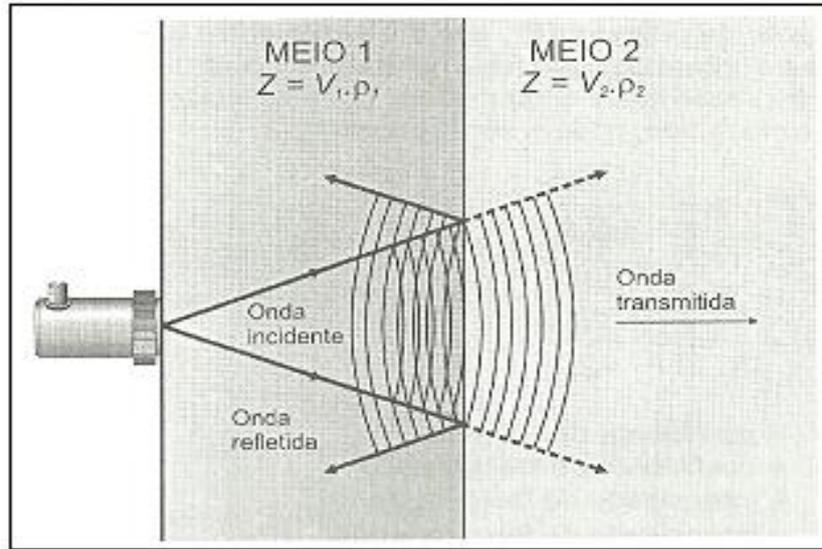


Extraído de: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAenDMAI/ensaios-não-destrutivosporultrasom?part=4>. Acesso: 24/04/2018.

3.2.4.7. Impedância Acústica

“Quando um feixe de ondas sônicas que percorre um material atinge a interface com um segundo material, parte da energia acústica incidente é refletida de volta para o primeiro meio e a energia restante é transmitida para o segundo meio. A característica que determina a quantidade de energia refletida ou transmitida é a impedância acústica dos materiais que compõem a interface”.
(SANTIM, 2003, p.19)

Figura 12: Reflexão e transmissão de ondas sônicas.



Extraído de: SANTIN, 2003.

A impedância acústica, “ Z ”, pode ser entendida como o produto da massa específica “ ρ ” pela velocidade da onda sônica no material “ V ”, como está expresso na equação (1).

$$Z = \rho V \quad (3)$$

Onde:

Z = dada em Kg/m^2s

ρ = dada em Kg/m^3

V = em m/s

Os coeficientes de reflexão “ R ” e transmissão “ T ” da intensidade sônica do feixe de ondas, quando esse incide com ângulo de 0° , são dados respectivamente pelas equações 4 e 5.

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad (4)$$

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4(Z_2 \times Z_1)^1}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad (5)$$

Onde:

R = Coeficiente de reflexão

T = Coeficiente de transmissão

I_i = Intensidade do feixe incidente

I_r = Intensidade do feixe refletido

I_t = Intensidade do feixe transmitido

Z_1 = Impedância acústica do meio 1, Kg/m^2s

Z_2 = Impedância acústica do meio 2, Kg/m^2s

Pela definição e com auxílio das equações é fácil concluir que a transmissão será maior à medida que os valores das impedâncias dos materiais da interface se aproximam e menor a transmissão caso se afastem.

3.2.4.8. Técnica TOFD

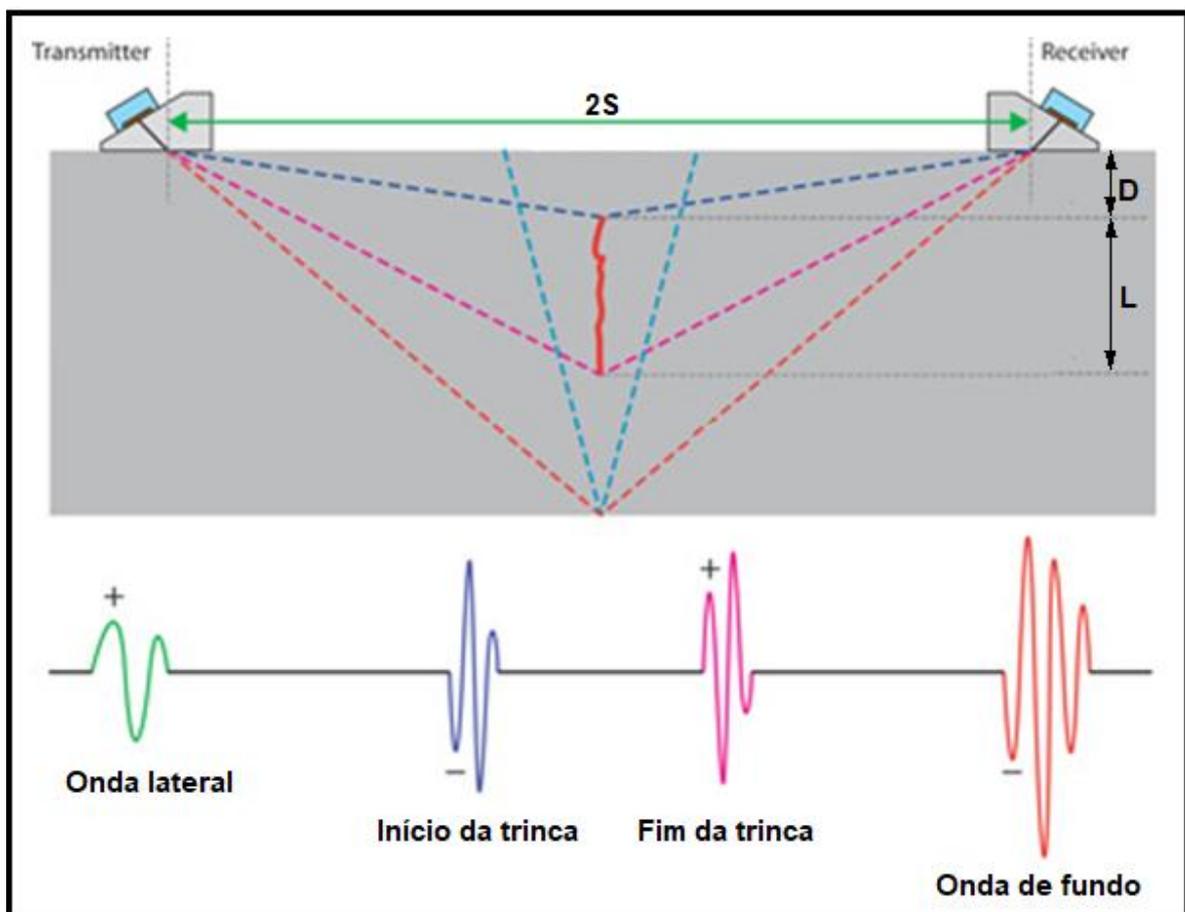
Como o próprio nome sugere, essa técnica se baseia no tempo de voo das ondas difratadas. As ondas ultrassônicas ao encontrarem uma trinca, por exemplo, sofrem difrações em suas extremidades. O feixe de ondas é introduzido no material por um **transdutor angular emissor** e as ondas difratadas são captadas pelo **transdutor receptor**.

Uma exigência dessa técnica é que o cordão de solda deve ser mantido equidistante aos transdutores. Essa distância, “ S ”, é calculada baseando-se na espessura, “ H ”, da chapa. Para isso, é usada a equação 6.

$$2S = \left[\left(H \times \frac{2}{3} \right) \times \operatorname{tg}\theta \right] \times 2 \quad (6)$$

Caso o material inspecionado apresente alguma trinca interna, o aparelho detectará quatro ecos, são eles: da onda lateral, do início e do fim da trinca e o de fundo do material (figura 13).

Figura 13: Representação da Técnica TOFD.



Extraído de: Adaptada do website da OLYMPUS.

Para calcular as dimensões, profundidade " D " e tamanho " L " da trinca, representadas na figura 13, são utilizadas as equações 7 e 8, respectivamente. Estas usam como parâmetros os tempos de trânsito entre os ecos difractados da parte superior " t_1 " e inferior " t_2 ". Nas equações, " v_l " é a velocidade da onda

longitudinal no interior do material dada em “m/s”. Este valor é próprio de cada material e pode ser consultado na tabela 1.

Tabela 1: propriedades acústicas dos materiais.

MATERIAL	Peso Específico kg/m ³	Velocidade Transversal m/s	Velocidade Longitudinal m/s	Impedância Acústica 10 ⁶ kg/m ² s
Aço carbono	7850	3250	5920	46,472
Aço baixa liga	7850	3250	5940	46,629
Aço inoxidável (tipo 304L)	7900	3070	5640	44,556
Aço inoxidável (tipo 410)	7670	2990	5390	41,341
Acrílico (perspex)	1180	1430	2730	3,221
Água (gelo)	900	1990	3980	3,582
Água (20°C)	1000	-	1480	1,480
Alumínio	2700	3130	6320	17,064
Alumínio (óxido)	3600	5500	9000	32,400
Bismuto	9800	1100	2180	21,364
Bronze	8100	2120	4430	35,883
Cádmio	8600	1500	2780	23,908
Chumbo	11400	700	2160	24,624
Cobre	8900	2250	4700	41,830
Concreto	2000	-	4600	9,200
Ferro fundido	6900	2200	5300	36,570
Ferro fundido cinzento	7200	2650	4600	33,120
Glicerina	1300	-	1920	2,496
Inconel	8500	3020	5820	49,470
Magnésio	1700	3050	5770	9,809
Molibdênio	10200	3350	6250	63,750
Níquel	8800	2960	5630	49,544
Nylon	1100	1080	2620	2,882
Óleo automotivo	870	-	1740	1,514
Ouro	19300	1200	3240	62,532
Platina	21400	1670	3960	84,744
Polietileno	940	925	2340	2,200
Porcelana	2400	3500	5600	13,440
Prata	10500	1590	3600	37,800
PVC	1400	1060	2395	3,353
Quartzo (natural)	2650	-	5760	15,264
Titânio	4540	3180	6230	28,284
Tungstênio	19100	2620	5460	104,286
Urânio	18700	-	3200	59,840
Vidro	3600	2560	4260	15,336
Zinco	7100	2410	4170	29,607

Extraído de: SANTIM, 2003, p. 18.

$$D = \frac{1}{2} \times \left(\sqrt{v_t^2 t_1^2 - S^2} \right) \quad (7)$$

$$L = \frac{1}{2} \times \left(\sqrt{v_t^2 t_2^2 - S^2} \right) - D \quad (8)$$

3.3. Dispositivos De Inspeção Ultrassônicos

Os sistemas de inspeção ultrassônicos atuais estão sendo utilizados tanto para inspecionar soldas em tubulações como para soldas planas de topo. A seguir serão mostrados dois desses produtos.

3.3.1. Sistema de Inspeção Automático de Soldas em Tubulação

Figura 14: inspeção automática em tubos.



Extraído de: <http://www.nei.com.br>

Acesso: 06/10/2017.

Características do equipamento (figura 14):

- ✓ Foi desenvolvido pela empresa WELDSTAR;
- ✓ Permite que a inspeção seja realizada em campo;
- ✓ Para tubos com diâmetros maiores que 8" (200 mm);
- ✓ Faixa de espessura de tubulação: 6 a 35 mm.

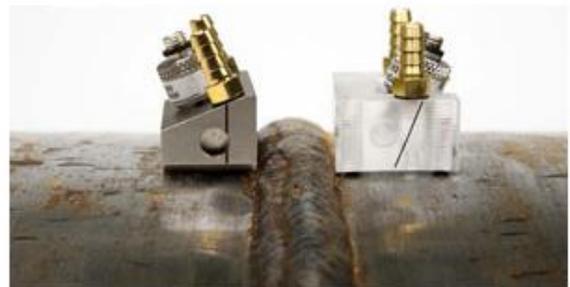
3.3.2. Sistema De Inspeção Manual Por TOFD

O escâner HST-Lite ® é uma ferramenta para realização de inspeção por TOFD desenvolvido pela OLYMPUS (figura 15). O equipamento possui:

- ✓ Rodas magnéticas;
- ✓ Suporte das sapatas são deslizantes;
- ✓ O escâner pode ser operado com apenas uma mão.

Devido às rodas magnéticas, o contato peça/transdutor não é perdido no caso de superfícies ferromagnéticas, ainda que seja inspeção de soldas sobre cabeça.

Figura 15: Escâner ToFD HST-Lite da Olympus.



Extraído de: <https://www.olympus-ims.com/pt/weld-solutions/tofd-solutions/>.

Acesso: 26/04/2018.

3.4. Projeto do Dispositivo de Inspeção

Nas próximas seções serão mostradas teorias relacionadas ao projeto do **Dispositivo Automático de Inspeção Ultrassônica para Chapas Soldadas**. Com ênfase àquelas ligadas a Engenharia Mecânica.

3.4.1. Usinabilidade e Propriedades Dos Materiais Utilizados.

Entende-se por usinabilidade a facilidade/ dificuldade com que o material pode ser cortado, torneado, fresado ou furado sem que isso prejudique suas propriedades mecânicas. A usinabilidade é uma espécie de indicador da capacidade dos materiais de se deixarem usinar.

A usinabilidade depende das propriedades mecânicas dos materiais, de sua composição química e ainda das operações pelas quais a peça fora submetida. Além disso, ela é dependente de outros fatores não intrínsecos aos materiais, como: rigidez do sistema máquina – dispositivo de fixação – peça – ferramenta, condições de refrigeração e de usinagem.

O nylon e o alumínio são exemplos de materiais com boa usinabilidade. Nesse caso o cuidado deve ser quanto a forma do cavaco, este pode enroscar e causar danos a peça e a ferramenta de corte.

3.4.1.2. Massa Específica

A massa específica, “ ρ ”, é representada pela razão entre a massa e o volume ocupado pelo corpo (equação 9).

$$\rho = M/V \quad (9)$$

Sendo:

ρ : dado em [g/cm^3];

M: dado em [g];

V: dado em [cm^3].

São exibidos, na tabela 2, os valores para “ ρ ” dos materiais utilizados na fabricação do protótipo.

Tabela 2: massa específica de alguns materiais.

Material	Densidade (g/cm ³)
aço fundido	7,50
aço Inox	7,85
alumínio	2,70
alumínio fundido	2,56
acrilonitrila	0,80
ferro	7,87
latão recozido	8,40
latão laminado	8,50
poliamida (Nylon)	1,14

Adaptada de: <ftp://ftp.feq.ufu.br/claudio/densidade2.pdf>.

Acesso: 26/04/2018.

3.4.1.3. Resistência a Corrosão

Conceitualmente, resistência a corrosão é tida como a capacidade de um material suportar a ação de agentes corrosivos (oxidantes) quando em serviço, com pouco ou nenhum prejuízo funcional, dimensional, visual ou mecânico.

O alumínio é um material extremamente reativo, o qual, em contato com o ar, reage instantaneamente formando uma película de óxido sobre sua superfície. No entanto, apesar de extremamente reativo, o alumínio apresenta uma elevada resistência à corrosão devido a um fenômeno chamado passivação. Basicamente, o alumínio fica mais nobre (menor atividade) por ação desta película. Esta tem boa aderência com a superfície e evita que uma porção maior do material seja corroído.

Entre as propriedades do **alumínio** que o torna atrativo, podem ser citadas:

- ✓ **Boa aparência;**
- ✓ **Boa usinabilidade;**
- ✓ **Resistência à corrosão;**
- ✓ **Densidade relativamente baixa;**
- ✓ **Elevada relação resistência/ peso.**

O **Nylon** é um material do tipo termoplástico obtido a partir da poliamida, cujas excelentes propriedades mecânicas, elétricas e térmicas permitem as mais variadas aplicações, nos mais diversos ramos da indústria mecânica. Em virtude disso, ele tem substituído os metais em muitas aplicações. São características que o torna atrativo:

- ✓ **Leveza;**
- ✓ **Baixo coeficiente de atrito;**
- ✓ **Bom isolante elétrico;**
- ✓ **Boa resistência à fadiga e a agentes químicos.**

Na fabricação de engrenagens, as quais não trabalharão em condições severas de esforços, a utilização Nylon como material oferece a vantagem de ser **auto lubrificante**. Não é aconselhado o uso do Nylon em aplicações com atrito entre estes e ligas de cobre e alumínio, pois tal ocorrência eleva consideravelmente o nível de desgaste da peça.

3.4.2. Máquinas Ferramentas

As máquinas ferramentas desempenham um papel de fundamental importância na indústria. São elas as responsáveis por dar forma aos tarugos. Entre essas destacam-se a Fresadora e o Torno Mecânico.

3.4.2.1. Fresadora

Na fabricação de peças, uma das máquinas-ferramentas mais importantes é a fresadora. Basicamente ela é usada na fabricação de peças prismáticas. Em geral, as peças por ela confeccionada são metálicas, embora possa trabalhar com materiais não metálicos. Ela pode ser vertical (fig. 16) ou horizontal. Podendo ser usada para:

- ✓ Moldar superfícies planas ou irregulares;
- ✓ Perfurar;
- ✓ Perfilar dentes de engrenagens;
- ✓ Fazer ranhuras.

Figura 16: Fresadora.



Fonte: Autor (2019).

3.4.2.2. Torno Mecânico

O torno (fig. 17), por sua vez, confecciona peças de geometrias circulares. Isso se dá por meio de dois tipos de movimentos. O primeiro é o de rotação da peça e avanço da máquina e o outro de rotação da máquina sobre a peça parada. Nele pode ser feito:

- ✓ Roscas (internas ou externas);
- ✓ Furação;
- ✓ Alargamento;
- ✓ Recartilhado
- ✓

Figura 17: Torno mecânico.



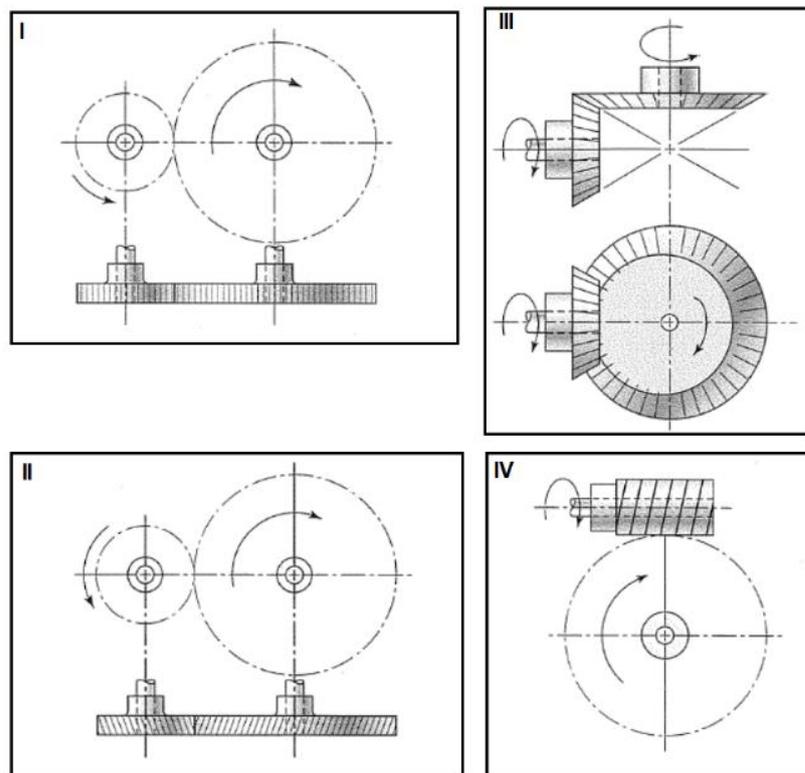
Fonte: Autor (2019).

3.4.3. Componentes Mecânicos

3.4.3.1. Engrenagem

As engrenagens são elementos utilizados para transmitir força e movimento. Elas são de quatro tipos: cilíndricas de dentes retos (I), helicoidais (II), cônicas (III) e sem fim (IV). Eles são mostrados na figura 18.

Figura 18: tipos de engrenagens.



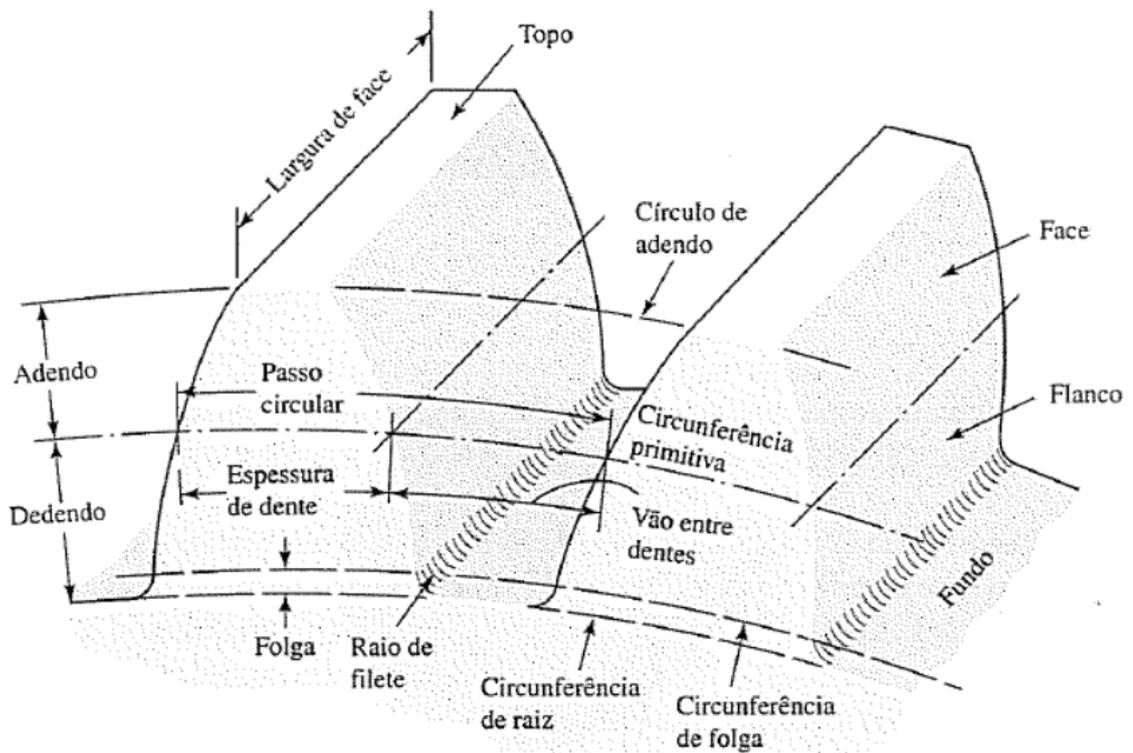
Extraída de: adaptada de Shigley, Mischke, Budynas, 2005, p. 628 e 629.

A cilíndrica de dentes retos é utilizada para transmitir movimento entre eixos paralelos. A helicoidal segue a aplicação da anterior, com a diferença de serem mais silenciosas, uma vez que, o engranzamento ocorre suavemente. Como os dentes das helicoidais estão inclinados, durante seu funcionamento surgem forças axiais e momentos flexores, os quais, não estão presentes nas de dentes retos. **(SHIGLEY, MISCHKE, BUDYNAS, 2005)**

Diferentemente dos casos anteriores as engrenagens cônicas são utilizadas para transmissão entre eixos que se interceptam. Por último, as engrenagens do tipo sem fim são usadas quando os eixos não são paralelos e não se interceptam.

A engrenagem tipo I é a mais simples dentre os tipos apresentados. Na figura 19 são mostrados as nomes dos elementos que a constitui.

Figura 19: elementos da engrenagem cilíndrica de dentes retos.



Extraído de: Shigley, Mischke, Budynas, 2005, p. 630.

As equações que relacionam alguns dos termos da figura 19 são:

$$m = \frac{d}{N} \quad (10)$$

$$p = \pi \times m \quad (11)$$

$$A = m \quad (22)$$

$$D = 1,25 \times m \quad (33)$$

Onde:

m : módulo, [mm];

d : diâmetro, [mm];

N : número de dentes;

p : passo circular;

A : adendo, [mm];

D : dedendo, [mm].

“Quando duas engrenagens estão engranzadas, seus círculos primitivos rolam uns sobre os outros sem escorregamento.” (SHIGLEY, MISCHKE, BUDYNAS, 2005, p. 633)

Sendo assim, é possível relacionar os círculos primitivos com a distância entre centros (equação 14). Essa relação é base para projetos de trem de engrenagens.

$$\text{Distância entre centros} = \frac{d_p + d_g}{2} \quad (44)$$

Sendo:

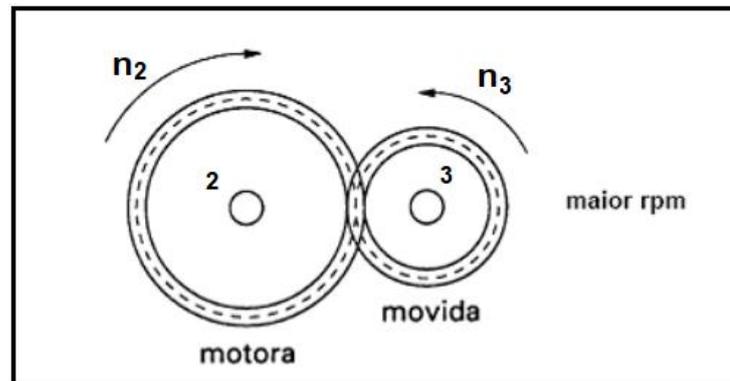
d_p : diâmetro primitivo do pião;

d_g : diâmetro primitivo da coroa.

3.4.3.1.1. Razão de Transmissão de Engrenagens

Já apresentados os tipos e as relações existentes, é fundamental discutir a forma como ocorre a transmissão e como a velocidade de rotação pode ser amplificada. Na figura 20 é exibido um conjunto de engrenagens engranzadas.

Figura 20: relação de transmissão em engrenagem.



Fonte: Autor (2019).

Na engenharia, a relação de transmissão de engrenagens é medida pela razão das velocidades rotacionais de duas ou mais engrenagens interligadas. Esta relação pode ainda ser obtida relacionando os diâmetros ou os números de dentes das engrenagens motora (2) e movida (3), figura 21. Nos casos em que a motora é maior que a movida, esta irá girar com velocidade superior a motora. Esse conceito é representado na equação 15.

$$I = \frac{n_2}{n_3} = \frac{D_2}{D_3} = \frac{N_2}{N_3} \quad (55)$$

Onde:

I : relação de transmissão;

n_2 : rotação da engrenagem motora;

n_3 : rotação da engrenagem movida;

D_2 : diâmetro engrenagem motora;

D_3 : diâmetro engrenagem movida;

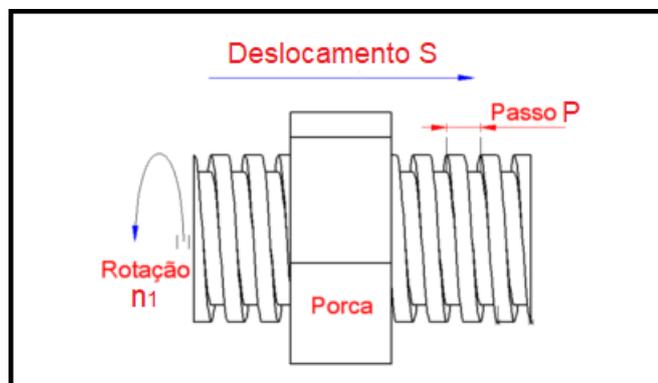
N_2 : número de dentes da engrenagem motora;

N_3 : número de dentes da engrenagem movida.

3.4.3.2 Fuso

Os fusos são elementos usados para transformar o movimento de rotação “ n_1 ” em translação. Transmitindo-o para um outro elemento, a porca. Nesses componentes, para cada giro completo, a porca percorre uma distância, “ S ”, igual ao passo da rosca do fuso “ P ”. Essas variáveis são mostradas na figura 211.

Figura 21: relação de transmissão em fusos.



Extraído de: <http://www.easymec.net/Default.aspx?app=26>.

Acesso 26/04/2018.

A equação 16 relaciona as variáveis mostradas na figura (22).

$$S = P \times \frac{n_1}{360} \quad (66)$$

Onde:

n_1 : rotação, em graus, efetuada pelo fuso.

3.4.3.3. Sapatas

Esse componente tem a função de introduzir, em ângulo, o feixe de ondas ultrassônicas no material inspecionado. Em geral, são fabricadas com 30°, 45° e 60°. Nesses componentes são acoplados os transdutores (fig. 22).

Figura 22: sapatas angulares.



Extraído de: website da Olympus. Acesso: 04/05/2016

3.4.4. Componentes Elétricos

Para o funcionamento do dispositivo de inspeção é essencial a incorporação de alguns componentes elétricos. Eles desempenham diversas funções, são elas:

- ✓ Fornecer a energia necessária ao funcionamento do dispositivo;
- ✓ Controlar as velocidades do carrinho e dos fusos;
- ✓ Controlar a posição das sapatas;
- ✓ Gerar e inserir o feixe de ondas no material;
- ✓ Conectar os componentes, integrando-os em um só sistema;
- ✓ Mediar a comunicação do operador com o dispositivo;
- ✓ Captar os dados obtidos no ensaio.

Nas próximas seções serão citados alguns desses componentes usados no protótipo. Como o foco do trabalho foi a mecânica do dispositivo, não serão apresentados, com profundidade, as características desses componentes.

3.4.4.1. Placas de comando Arduino e Módulo Drive Ponte H.

Essa placa têm facilitado bastante o desenvolvimento de projetos na área da Engenharia. São inúmeras as possibilidades de aplicação desses elementos. Isso se dá por serem compactos, práticos, possuírem baixo custo e elevado grau de processamento de comandos. Nas placas Arduino (Hardware) (figura 23) é possível reunir e armazenar programas (Software), os quais tem a capacidade de controlar movimentos de dispositivos mecânicos.

Figura 23: Placa de Controle Arduino Uno.



Extraído de: <http://www.filipeflop.com>.

Acesso: 05/10/2016

O Driver Ponte H, ou simplesmente Ponte H, como é conhecido, baseia-se no chip L298N, sendo um módulo de controle de motor CC de dois canais. Este fato permite o controle de velocidade e de sentido de rotação de até dois motores simultaneamente. Um modelo desse componente é mostrado na figura 24.

Figura 24: Módulo Drive Ponte H L298N.



Extraído de: curtocircuito.com.br.

Acesso: 21/05/2018.

3.4.4.2. Bateria

As baterias (figura 25) são componentes usados para armazenar energia elétrica. Esta, por sua vez, pode ser empregada no acionamento de motores elétricos de corrente contínua (CC), similares ao mostrado na figura 26.

Figura 25: bateria 9 V



Extraído de: <https://www.americanas.com.br/produto/23918389>.

Acesso: 21/05/2018.

3.4.4.3. Motores CC

Na figura 26 é mostrado um motor do tipo CC. Esses componentes transformam a energia elétrica em trabalho de eixo. Esse trabalho é utilizado para movimentar cargas.

Figura 26: Motor CC.



Extraído de: <http://www.filipeflop.com>.

Acesso: 05/10/2016.

3.4.4.4. Potenciômetro

Potenciômetros (fig. 27) são utilizados quando se deseja um controle da quantidade de corrente que passa em um circuito. Esse ajuste é feito manualmente girando a chave acoplada em seu corpo. Essa variação da intensidade de corrente pode ser usada, por exemplo, para variar a velocidade de rotação de eixos de motores.

Figura 27: Potenciômetro



Extraído de: <http://www.filipeflop.com>.

Acesso: 05/10/2016

3.4.4.5. Transdutor piezoelétrico.

Na figura 28 são mostrados alguns tipos desses componentes. Os quais já foram mencionados e tiveram suas funções descritas na seção 3.2.4.2.

Figura 28: transdutor piezoelétrico.



Extraído de: <https://www.olympus-ims.com/pt/ndt-tutorials/transducers/construction/>

Acesso: 15/05/2018.

4. RESULTADOS

Nas seções seguintes serão descritas as atividades que levaram a criação do protótipo de inspeção de solda foco do trabalho. Foram elas:

Dimensionamento

Desenho das Peças

Escolha/ Compra dos Materiais

Fabricação

Montagem

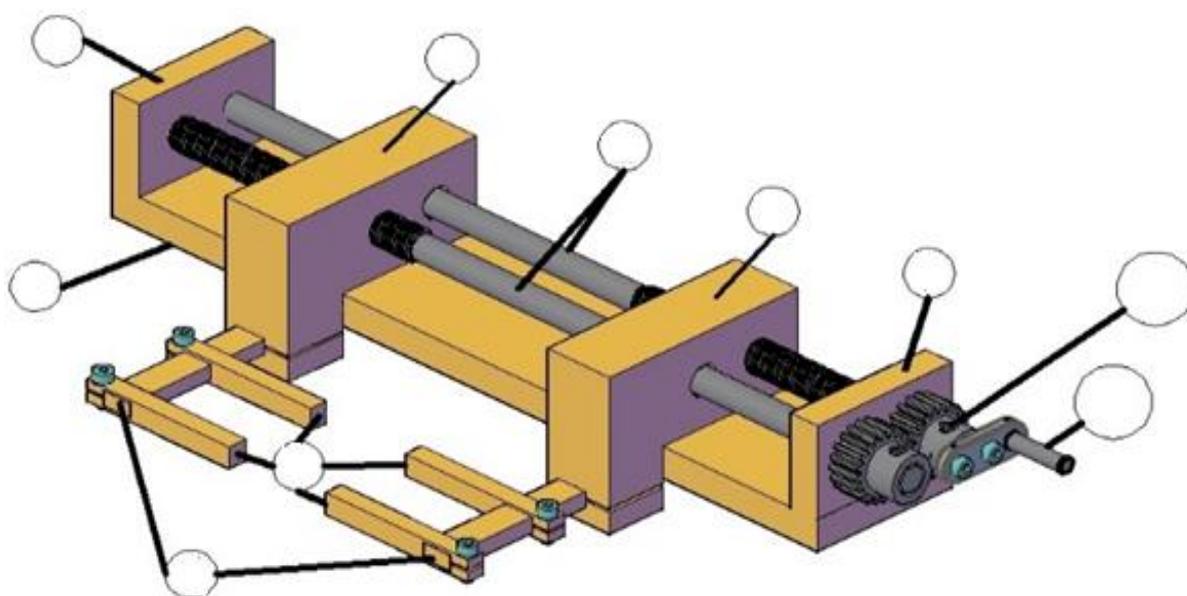
Elaboração do Pedido de Patente

4.1. Dispositivo de Inspeção

As atividades iniciais para desenvolver o dispositivo foram feitas pelo ex-aluno Hugo dos Santos R. da Silva. Na época, o protótipo não chegou a ser construído, ficando esta atividade para os futuros alunos de iniciação científica. O mesmo apresentou seu TCC sobre a concepção desse protótipo. Nas figuras que seguem (29 a 35) é evidenciada a evolução do dispositivo à medida que novas ideias iam sendo incorporadas.

Na figura 29 é mostrado o princípio de funcionamento do protótipo. Foi a ideia inicial.

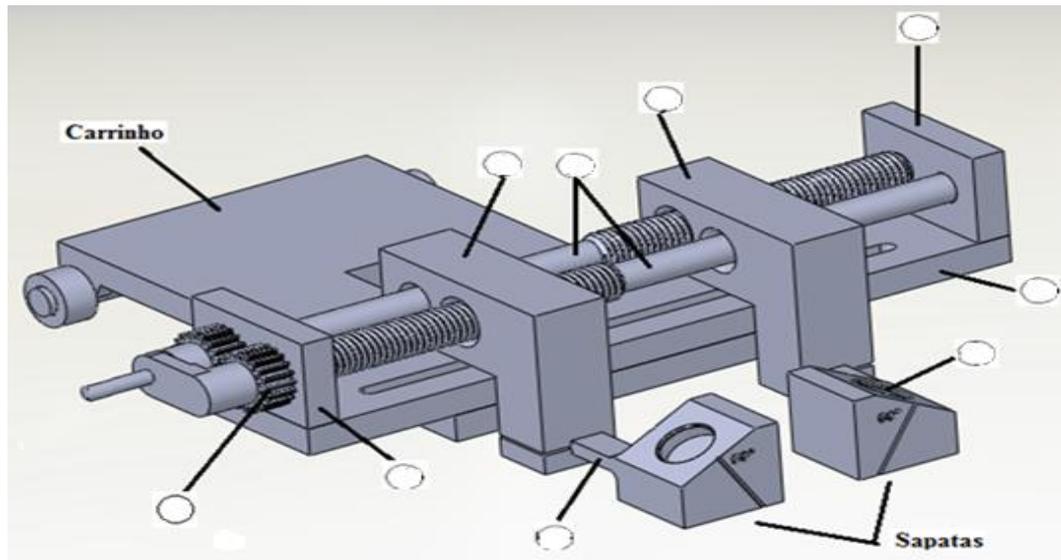
Figura 29: concepção do dispositivo 1.0.



Extraído de: cortesia de Hugo.

Com o objetivo de torná-lo mais dinâmico, foram adicionados novos elementos ao dispositivo, deixando-o, como mostrado na figura 30.

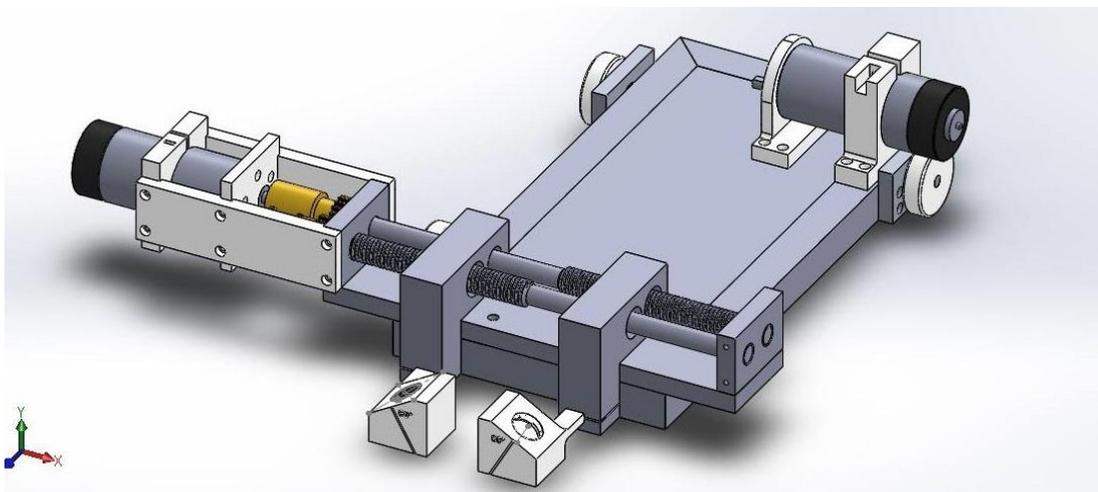
Figura 30: concepção do dispositivo 2.0



Extraído de: cortesia de Hugo.

Com o reinício do projeto, foi proposta a sua automatização. Com isso, seria necessário adicionar componentes elétricos como motor e bateria. O modelo pensado, mostrado na figura 31, após ser discutido com a equipe do LABII mostrou-se falha e foi descartada, uma vez que, a adição do suporte lateral do motor faria o restante da estrutura girar, afastando as sapatras da superfície inspecionada e inviabilizando o bom funcionamento do protótipo.

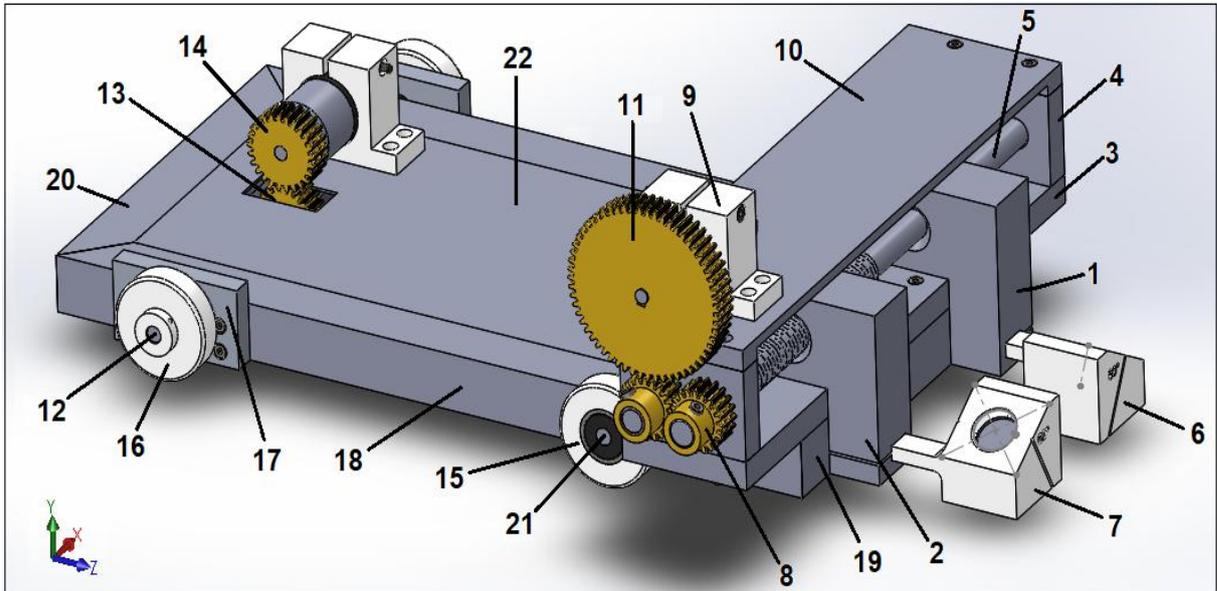
Figura 31: concepção do dispositivo 3.0



Fonte: Autor (2019).

Seguindo as ideias da equipe preferiu-se colocar o motor sobre os fusos, criando para isso a peça 10 (fig. 32). Na tabela 3 é mostrada a relação das peças da figura 32.

Figura 32: concepção do dispositivo 4.0



Fonte: Autor (2019).

Tabela 3: descrição dos componentes mecânicos do dispositivo.

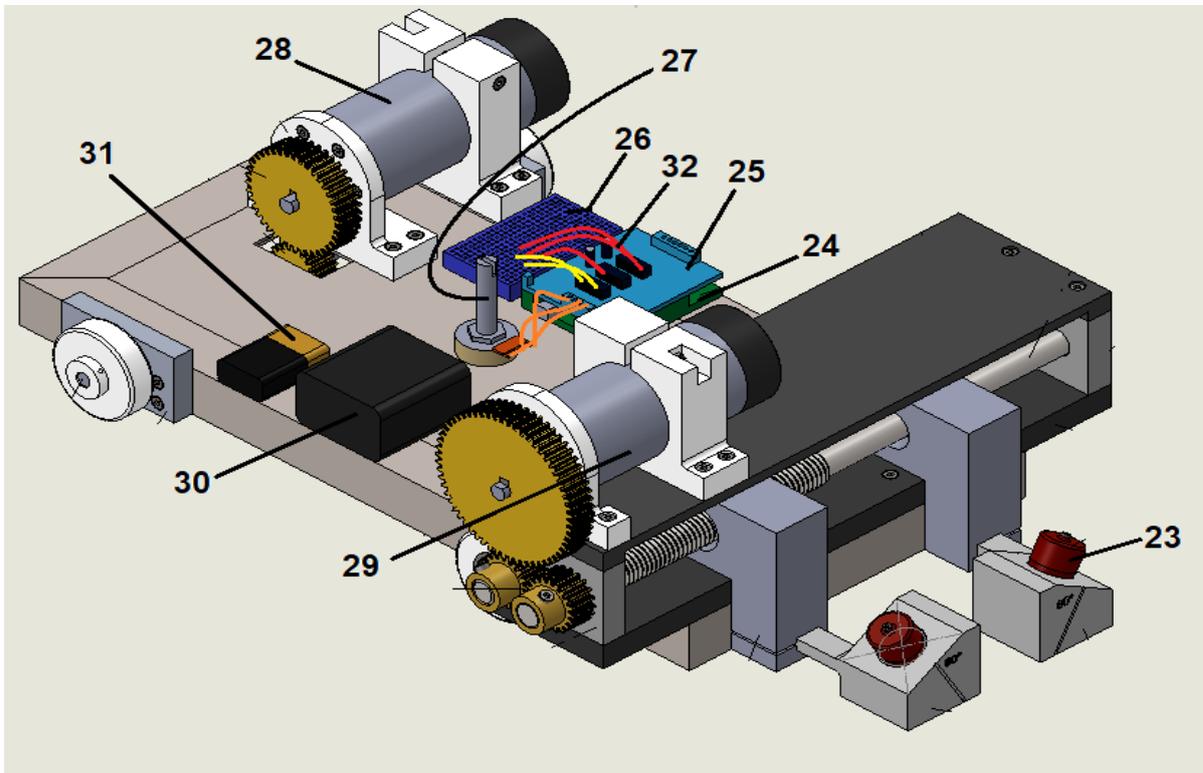
Nº	Denominação	Descrição/ Função
1	Porca Direita	Peças responsáveis por receber o movimento dos fusos e transmiti-lo às sapatas.
2	Porca Esquerda	
3	Base do Dispositivo	Elemento estrutural no qual serão fixados os suportes dos fusos.
4	Suporte dos fusos	Componente com a função de apoiar os fusos, permitindo que estes rotacionem.
5	Fuso	Elemento mecânico rosqueado no qual é acoplada a engrenagem, transformando a rotação desta em movimento de translação para as porcas.

6	Sapata Direita	Nessas peças ficam acoplados os transdutores.
7	Sapata Esquerda	
8	Engrenagem do Fuso	Peça acoplada ao fuso. Ela recebe a rotação do motor II e a transmite ao fuso.
9	Suporte do Motor	Tem a função de fixar o motor na base de fixação.
10	Base do Suporte	Peça onde é fixado o suporte do motor.
11	Engrenagem do motor II	Componente responsável por transmitir a rotação do motor II para as engrenagens do fuso.
12	Eixo Traseiro	Elemento responsável por transmitir as rodas traseiras a rotação fornecida pelo motor I.
13	Engrenagem do Eixo	Elemento que conecta o eixo traseiro a engrenagem do motor I.
14	Engrenagem do Motor I	Elemento que conecta a engrenagem do eixo traseiro ao eixo do motor I.
15	Rodinha Dianteira	Responsável pelo o movimento do carrinho. Nelas serão acoplados rolamentos para reduzir o atrito entre os eixos e as rodinhas.
16	Rodinha Traseira	
17	Mancal	Elemento com rolamento. Localizado ao lado da estrutura principal do carrinho permitindo a rotação do eixo traseiro.
18	Perfil do Carrinho I	Tubos metálicos que formam a base do carrinho.
19	Perfil do Carrinho II	
20	Perfil do Carrinho III	
21	Eixo dianteiro	Haste de fixação das rodas dianteiras.
22	Base do carrinho	Peça onde serão fixados os componentes elétricos.

Fonte: Autor (2019).

Os componentes elétricos e os de fixação são mostradas na figura 33 (aparência final do Protótipo) e listados nas tabelas 4 e 5, respectivamente.

Figura 33: concepção do dispositivo 5.0



Fonte: Autor (2019).

Tabela 4: descrição dos componentes elétricos.

N°	Denominação	Descrição
23	Transdutor Piezoelétrico	Elemento encarregado de inserir o feixe de ondas no material.
24	Placa Arduino UNO	Componente responsável por controlar os movimentos do carrinho e dos fusos.
25	Arduino Motor Shield	Utilizado para aumentar a capacidade do microcomputador e fazer a mediação entre os motores e a placa Arduino.
26	Protoboard - 170 furos	Montagem dos circuitos.
27	Potenciômetro 10KΩ	Usado para controlar a velocidade dos motores. Podendo variar de 0 a $V_{m\acute{a}x}$ do motor;

28	Motor I	Movimentar do carrinho. Tensão = 9 V, Torque = 10 Kgf/cm e rotação máxima de 77 RPM
29	Motor II	
30	Bateria 12V p/ os Motores	Fornecer a energia para os motores.
31	Fonte de Alimentação Externa p/ Arduino	Suprir energia ao Arduino.
32	Fios Jumper	Responsável por conectar os dispositivos.

Fonte: Autor (2019).

Tabela 5: Elementos de fixação.

Quant.	Denominação	Descrição
14	Parafuso Allen, M3 x 6	Elemento de fixação usado para unir estruturas;
20	Parafuso Allen, M3 x 12	Elemento de fixação usado para unir estruturas;
18	Parafuso Allen, M3 x 35	Elemento de fixação usado para unir estruturas;
26	Porca Sextavada Ø 3	Componente auxiliar usada em conjunto com os parafusos M3;
2	Porca Sextavada Ø 6	Componente auxiliar usada em conjunto com os parafusos M6.
22	Arruela Ø 3	Componente auxiliar usada em conjunto com o parafuso M3.
4	Arruela Ø 6	Componente auxiliar usada em conjunto com o parafuso M6.
2	Anel Elástico Ø 9	Elemento de fixação usado na extremidade do fuso para evitar seu deslocamento lateral.
1	Pinos	Elemento mecânico usado para fixar as engrenagens aos eixos;

Fonte: Autor (2019).

4.1.1. Dimensionamento

4.1.1.1. Engrenagens e Fusos

No dispositivo tratado, foram usadas 5 desses elementos. A relação delas e suas características estão na tabela 6.

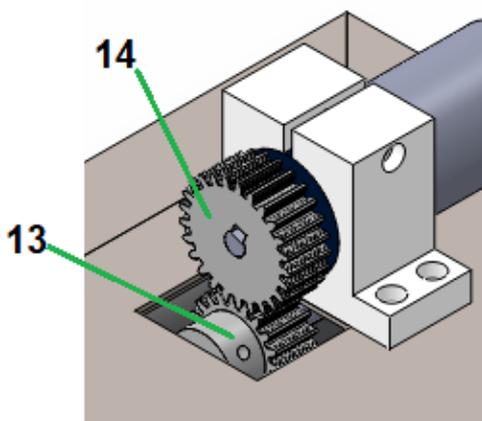
Tabela 6: engrenagens.

ENGRENAGENS				
N°	Item	D. Primitivo (D_p)	N° Dentes	Módulo
8	Engrenagem do Fuso	20	20	1
11	Engrenagem do motor II	60	60	1
13	Engrenagem do Eixo	20	20	1
14	Engrenagem do Motor I	25	25	1

Fonte: Autor (2019).

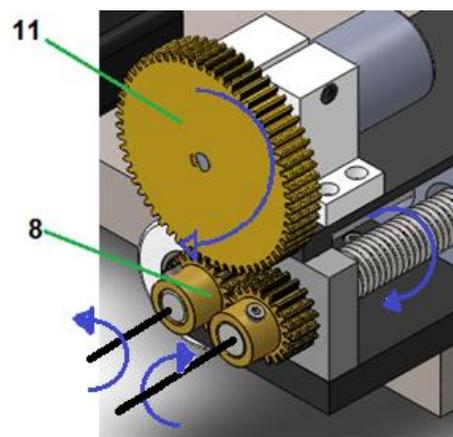
Nas figuras 34 e 35 são mostrados os conjuntos das engrenagens I e II.

Figura 34: conjunto de engrenagem I.



Fonte: Autor (2019).

Figura 35: conjunto de engrenagem II.



Fonte: Autor (2019).

Com os dados da tabela 6, aplicando a equação (15), temos que a razão de transmissão para o conjunto de engrenagens I, figura 34, será:

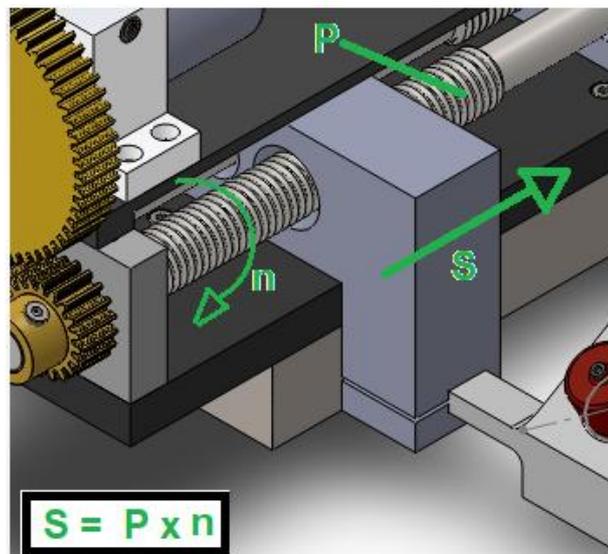
$$I_I = \frac{n_{14}}{n_{13}} = \frac{25}{20} = 1,25$$

Da mesma forma, para o conjunto de engrenagens II, a razão de transmissão será:

$$I_{II} = \frac{n_{11}}{n_8} = \frac{60}{20} = 3$$

Isso significa que para cada volta da engrenagem motora (11), a movida (8) fará 3 revoluções. Com isso, os fusos (peças 5) farão 3 giros para cada revolução do eixo motor. Como consequência, as porcas (peças 1 e 2) avançarão 3 vezes o valor do passo da rosca (2 mm), totalizando **6 mm/ giro motor** (fig. 36).

Figura 36: transmissão para os fusos.



Fonte: Autor (2019).

4.1.1.2. Motores

O motor responsável pelo deslocamento do carrinho é de Corrente Contínua (CC), com tensão máxima de 9 V e torque de **10 Kgf/cm**, além de rotação máxima de **77 RPM**.

4.1.2. Desenhos das Peças

Os softwares utilizados na elaboração dos desenhos foram o **AutoCAD** para elaboração das vistas 2D (**Apêndice A**) e o **SolidWorks** para as peças 3D e montagem do conjunto. Os computadores usado foram os do LabGraf da UFPB. Possuindo assim, as devidas licenças.

4.1.3. Escolha dos Materiais e Seus Custos

Inicialmente as peças iriam ser fabricadas em alumínio. Mas por fatores operacionais e comerciais algumas peças tiveram que ter feitas com materiais diferentes. Os fatores que influenciaram nas escolhas foram:

- ✓ Disponibilidade do material nas dimensões desejadas;
- ✓ Custo;
- ✓ Maquinário disponível para usinagem;
- ✓ Massa específica;

Observou-se que o dispositivo ficaria com mais de **5 kg** caso fosse feito de alumínio e aço. Então procurou-se usar matérias mais leves, como o nylon. Desse modo, o protótipo passou a pesar aproximadamente **3 kg**. Na figura 37 é mostrado a relação percentual dos materiais usinados.

O desperdício de material, por mais que se buscasse eliminá-lo, ocorreu. O principal fator que contribuiu para isso foi o comprimento mínimo de corte definidos pelas empresas.

Figura 37: Materiais



Fonte: Autor (2019).

4.1.3.1. Custo dos Materiais Usinados

As compras foram feitas em pontos comerciais de João Pessoa. Na tabela 8 é mostrada a relação das peças, os seus respectivos materiais e custos.

Tabela 7: custo dos materiais das peças.

Nº	Denominação	Material	Qtd	Dimensões	C. Unit	C. Total
1	Porca Direita	Aço	1	62 x 72 x 25	DOAÇÃO	0
2	Porca Esquerda	Aço	1	62 x 72 x 25	DOAÇÃO	0
3	Base do Dispositivo	Aço	1	10 x 50 x 232	DOAÇÃO	0
4	Suporte dos fusos	Alumínio	2	10 x 50 x 35	R\$ 4,00	R\$ 8,00
5	Fuso	Aço	2	Ø15 x 252	DOAÇÃO	0
6	Sapata Direita	Nylon	1	35 x 35 x 144	R\$ 15,60	R\$ 15,60
7	Sapata Esquerda	Nylon	1			
8	Engrenagem do Fuso	Latão	2	Ø25,4 x 50	R\$ 24,00	R\$ 24,00
9	Suporte do Motor II	Nylon	2	35 x 35 x 52	R\$ 6,00	R\$ 12,00

10	Base fixação Motor II	Alumínio	1	10 x 50 x 232	R\$ 17,50	R\$ 17,50
11	Engrenagem motor II	Nylon	1	Ø70 x 50	R\$ 14,00	R\$ 14,00
12	Eixo traseiro	Ferro	1	Ø6,35 x 200	R\$ 2,20	R\$ 2,20
13	Engrenagem do Eixo	Nylon	1	Ø30 x 50	R\$ 3,00	R\$ 3,00
14	Engrenagem Motor I	Nylon	1			
15	Rodinha Dianteira	Nylon	2			
16	Rodinha Traseira	Nylon	2			
17	Mancal	Alumínio	2	10 x 50 x 30	R\$ 3,40	R\$ 6,80
18	Perfil do carrinho I	Metalon	2	20x20x1.000	R\$ 10,00	R\$ 10,00
19	Perfil do carrinho II	Metalon	1			
20	Perfil do carrinho III	Metalon	1			
21	Eixo dianteiro	Ferro	2	Ø6,35 x 40	R\$ 0,80	R\$ 1,60
22	Superfície do carrinho	Aço	1	2 x 110 x 260	DOAÇÃO	0
						121,70

Fonte: Autor (2019).

4.1.3.2. Custo Da Usinagem Dos Dentes Das Engrenagens

As peças 8 foram feitas por empresas privadas e o custo está na tabela 8.

Tabela 8: custo de usinagem das engrenagens

CUSTO DE FABRICAÇÃO DAS ENGRENAGENS				
Nº	Descrição	Custo Unit.	Qtd.	Custo Total
8	Engrenagem do Fuso	R\$ 50,00	2	R\$ 100,00
TOTAL				R\$ 100,00

Fonte: Autor (2019).

4.1.3.3. Custo dos Componentes Comprados

Nessa seção (tab. 9) estão listados os preços dos componentes de fixação e os de controle do dispositivo.

Tabela 9: Custo dos componentes elétricos e de fixação.

Denominação	Qtd.	C. Unitário	C. Total
Motor CC	2	R\$ 47,90	R\$ 95,80
Bateria 9V	1	R\$ 13,36	R\$ 13,36
Placa Arduino + Cabo	1	R\$ 49,90	R\$ 49,90
Ponte H	1	R\$ 19,90	R\$ 19,90
Potenciômetro 10 K Ω	1	R\$ 1,90	R\$ 1,90
Protoboard - 170 furos	1	R\$ 5,45	R\$ 5,45
Rolamento \varnothing 6 x19 x 6 mm	4	R\$ 3,00	R\$ 12,00
Parafuso Allen, M3 x 6 mm	2	R\$ 0,50	R\$ 1,00
Parafuso Allen, M3 x 12 mm	18	R\$ 0,60	R\$ 10,80
Parafuso Allen, M3 x 35 mm	12	R\$ 0,35	R\$ 4,20
Porca sextavada \varnothing 3 mm	18	R\$ 0,07	R\$ 1,26
Arruela \varnothing 3 mm	18	R\$ 0,05	R\$ 0,90
Anel Elástico \varnothing 9 mm	2	R\$ 0,50	R\$ 1,00
Glicerina	200 ml	Doação	R\$ 0
Fios Jumper	1	R\$ 16,90	R\$ 16,90
Transdutor Piezoelétrico	2	**	**
Osciloscópio	1	**	**
Gerador de Ondas	1	**	**
		TOTAL	234,37

Fonte: Autor (2019).

Portanto o custo com estes itens foi de **R\$234,37**. Na tabela 10, os itens (8), (9) e (10) já haviam sido adquiridos antes do início da fabricação das peças.

4.1.3.4. Custo Total

Na tabela 11 estão sintetizados todos os gastos.

Tabela 10: custo total

Item	Descrição	Valor
1	Custos Dos Materiais Para Usinagem	R\$ 121,70
2	Custo De Fabricação Das Engrenagens	R\$ 100,00
3	Custos Dos Componentes Não Usinados	R\$ 234,37
TOTAL		R\$ 456,07

Fonte: Autor (2019).

Conclui-se que o custo total, levando em conta as condições e elementos mencionados, foi de **456 reais**. Naturalmente, o custo total de fabricação do dispositivo seria bem maior caso as peças tivessem sido integralmente confeccionadas por empresas privadas.

Nesse trabalho não houve a preocupação de estimar o custo para produção de réplicas do dispositivo. No entanto, nada impede que isso seja feito futuramente.

4.1.4. Aplicação Industrial

O protótipo de inspeção foi desenvolvido para atuar na análise da integridade de soldas planas de topo presentes em estruturas que permitam seu acesso e deslocamento do carrinho.

Entre as estruturas que podem ser inspecionadas estão:

- ✓ Plataformas de produção petróleo;
- ✓ Deques/ convés de navios;
- ✓ Plataformas estacionamento de helicópteros;
- ✓ Estaleiros.

Nas figuras 38, 39,40 são mostradas algumas delas.

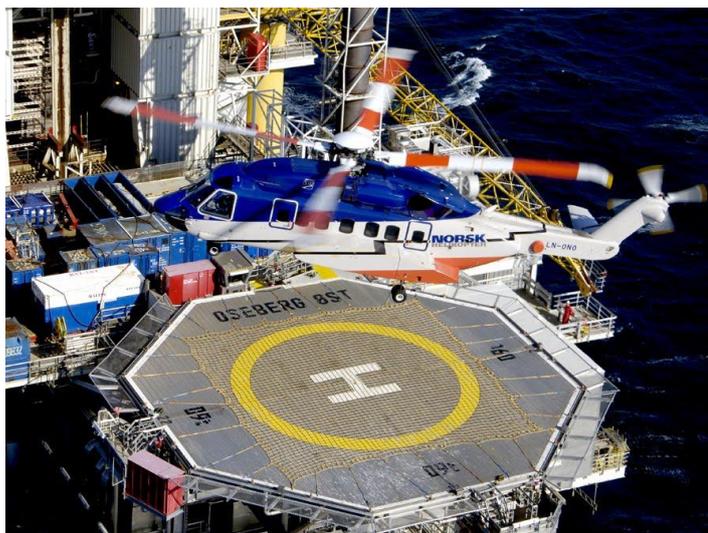
Figura 38: Aplicação do dispositivo.



Extraído de: dw-inductionheater.com.

Acesso: 09/05/2019.

Figura 39: plataforma com estacionamento de helicóptero.



Extraído de: infoaviacao.com.

Acesso: 08/05/2019

Figura 40: Estaleiro.



Extraído de: <http://www.projotememoria.org>. Acesso: 08/05/2019

4.2. Fabricação

Essa etapa contou com a colaboração dos Técnicos da Oficina. Eles ajudaram tanto na fabricação das peças quanto nos materiais doados. Algumas das peças estão sendo mostradas nas figuras abaixo.

Figura 41: engrenagens do fuso.

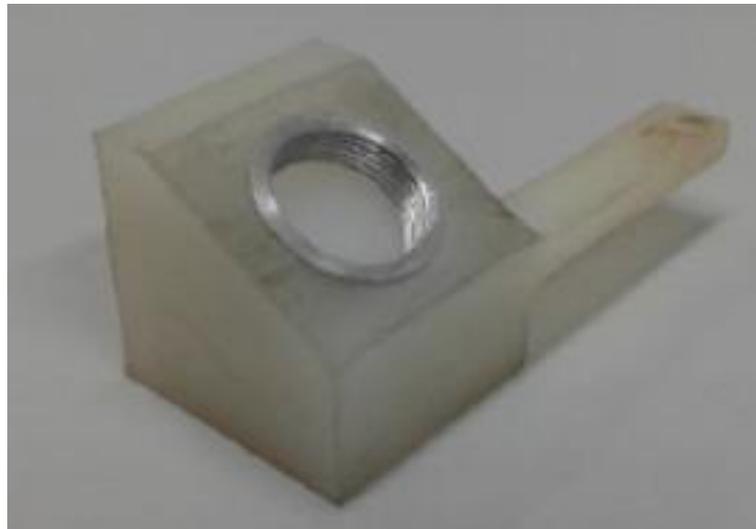


Fonte: Autor (2019).

As peças mais trabalhosas foram as sapatas. Inicialmente foi necessário determinar o tipo de rosca. Para isso, a partir do transdutor e com auxílio de um pente de rosca constatou-se que a mesma era Whitworth com 24fpp. Com essa informação foi estudado a melhor forma de fazer a peça.

Após conversar com os técnicos, ficou definido como seria a fabricação da peça. Primeiramente seria feito o corpo da sapata com Nylon e depois os anéis (alumínio). Nestes foram feitas as roscas internas. Por fim seria só acoplar os anéis com interferência no furo das sapatas, como mostra a figura 42.

Figura 42: Sapata de nylon com anel.



Fonte: Autor (2019).

Na fabricação das outras peças houve poucas complicações. Apenas com a peça 22, figura 38. Nesta, durante a abertura dos furos, foram quebradas 2 brocas. Isso ocorreu por dois motivos. Primeiro o material era o aço inox e segundo as brocas eram de baixa qualidade.

Figura 43: Broca quebrada, Peça 22.



Fonte: Autor (2019).

Figura 44: Peças 9 e 10.



Fonte: Autor (2019).

Figura 45: Rodinhas dianteira e traseira.



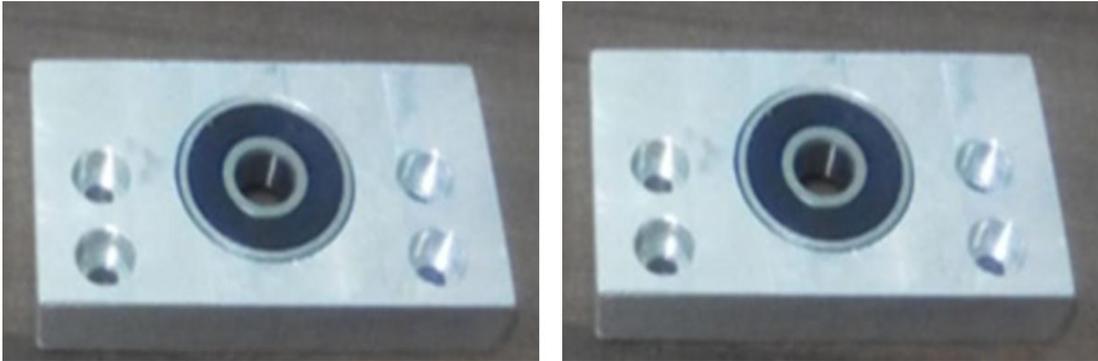
Fonte: Autor (2019).

Figura 46: Eixo traseiro



Fonte: Autor (2019).

Figura 47: Mancais.

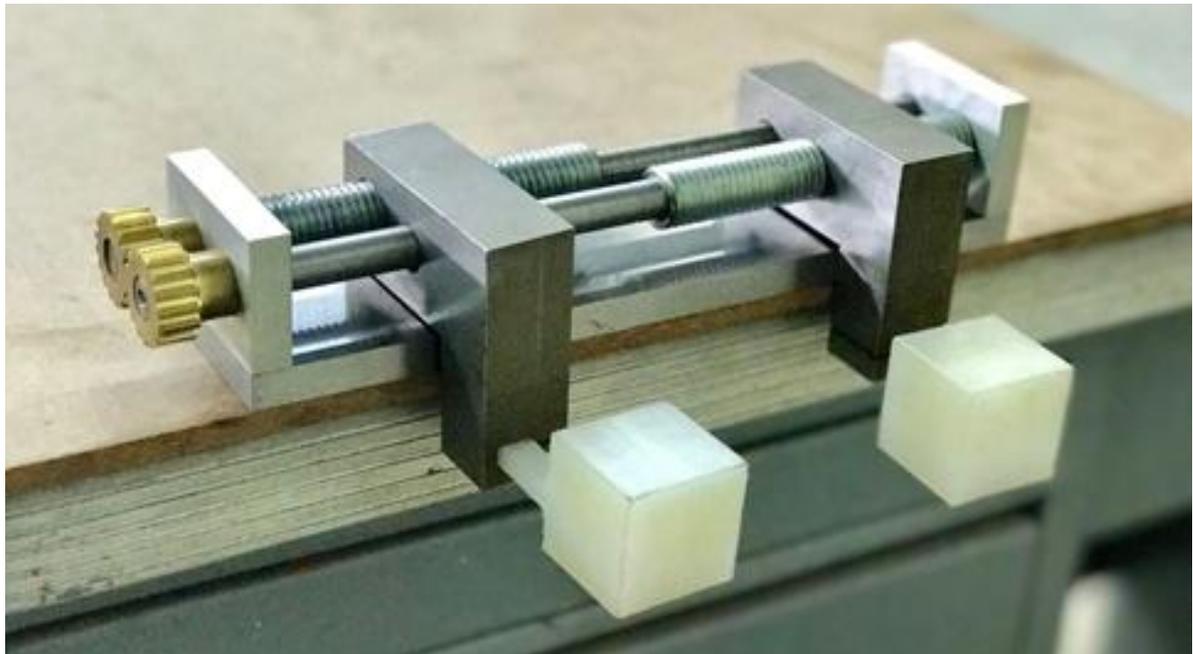


Fonte: Autor (2019).

4.3. Montagem

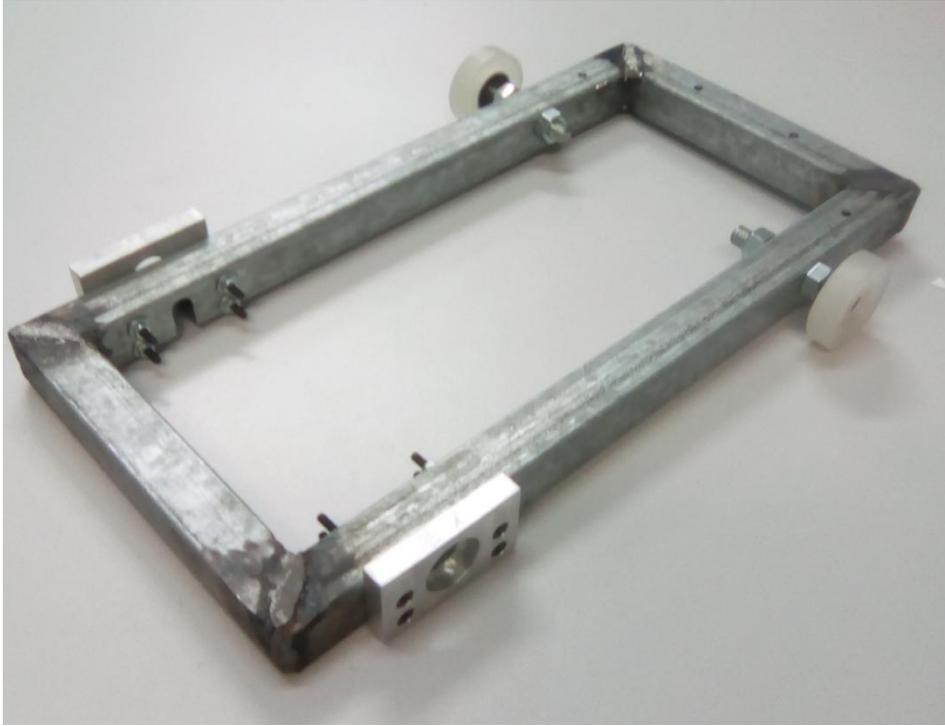
Com o término da usinagem das peças iniciou a montagem. Abaixo são mostradas algumas fotos do protótipo.

Figura 48: Montagem I.



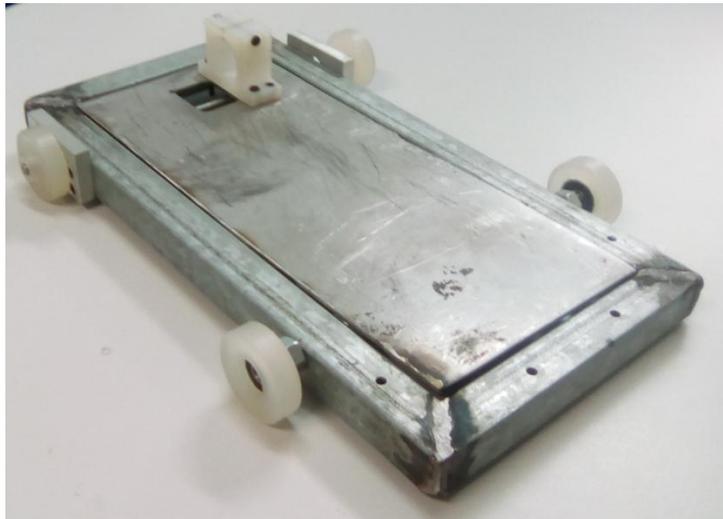
Fonte: Autor (2019).

Figura 49: Montagem 2



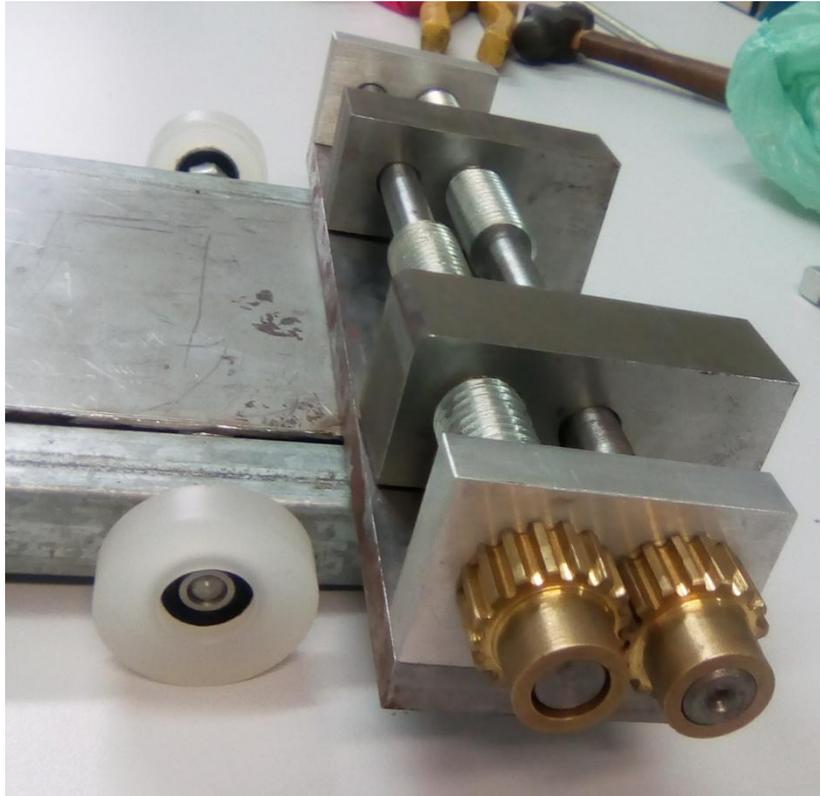
Fonte: Autor (2019).

Figura 50: Montagem3.



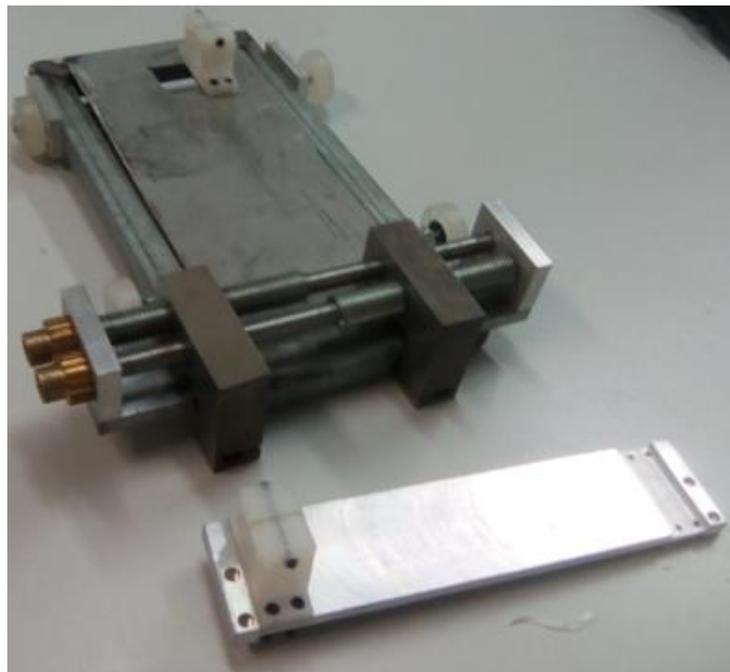
Fonte: Autor (2019).

Figura 51: Montagem4.



Fonte: Autor (2019).

Figura 52: Montagem 5



Fonte: Autor (2019).

4.4. Equipamentos Para Aplicação Da Técnica TOFD

Os equipamentos necessários para a aplicação da técnica são:

- ✓ Transdutores Piezelétricos para TOFD;
- ✓ Osciloscópio;
- ✓ *Pulser-Receiver*;
- ✓ Computador (software);
- ✓ Acoplante;
- ✓ Cabos e fios de conexão.

4.4.1. Transdutores Piezelétricos para TOFD

Na figura 53 é mostrado um transdutor do tipo. No LABII existem dois deles, com frequências de 5 MHz de 9,5 mm de diâmetro, os quais são acoplados nas sapatas.

Figura 53: transdutor para aplicação TOFD.



Extraído de: <https://www.olympus-ims.com/pt/ultrasonic-transducers/tofd/>.

Acesso: 30/04/2018.

4.4.2. Osciloscópio

O osciloscópio (fig.54) utilizado é do tipo digital da fabricante Tektronix, com 100 MHz. Esse aparelho permite a visualização e análise de sinais em função do tempo, mostrando-os na forma de gráficos.

Figura 54: osciloscópio.



Extraído de: website da Tektronix.

4.4.3. Pulser Receiver

O aparelho responsável por gerar o feixe de ondas que será usado na inspeção é chamado de *Pulser Receiver* (Pulsador - Receptor). Na figura 55 é mostrado o modelo 5800 da Olympus.

Figura 55: gerador de ondas.



Extraído de: website da Olympus.

4.4.4. Acoplante

Para que o ensaio por ultrassom ocorra da melhor maneira, é necessária a utilização de um acoplante. Estes se apresentam nas formas de gel ou líquido. São

exemplos de acoplante a glicerina e a água. Eles são aplicados na superfície da estrutura que se deseja inspecionar, com os objetivos de:

- ✓ Retirar a camada de ar existente entre a peça e o transdutor. Aumentando o contato entre a peça e o transdutor;
- ✓ Reduzir o atrito entre com a superfície sob inspeção. Preservando o transdutor de desgastes.

Como consequência de sua aplicação, obtém-se o aumento percentual da transmissão do feixe na peça analisada.

Todos os equipamentos listados estão disponíveis no Laboratório de Integridade e Inspeção da UFPB.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que, no decorrer do trabalho, as atividades realizadas contribuíram bastante para a formação acadêmica e ainda levou ao desenvolvimento de um produto com elevado potencial de aplicação industrial. Um dos objetivos do trabalho foi alcançado: desenvolver um dispositivo de inspeção de soldas de baixo custo (R\$ 456,00). O outro objetivo só será alcançado com o término da montagem, quando os ensaios experimentais poderão ser feitos para comprovar sua confiabilidade.

Foram encontradas algumas dificuldades, muitas delas relacionadas a escassez de ferramentas ou ainda a falta de recursos financeiros para a compra de materiais. Contudo, os momentos de dificuldades incentivaram a busca por novas formas de fabricação, de modo a solucionar o problema, com menor esforço e gasto mínimo.

O dispositivo apresentado nesse trabalho foi patenteado, na classe de Modelo de Utilidade. Com o nome **Dispositivo Automatizado Para Inspeção Ultrassônica Em Chapas Soldadas** e Registro: **BR 10 2017 028109 4**. No **Apêndice B** se encontra a documentação feita no pedido.

O dispositivo poderá ser modificado no futuro. Ele ficará no Laboratório à espera do próximo que queira acrescentar novas ferramentas, outras ideias.

6. REFERÊNCIAS

SANTIM, J.L.; "*Ultrassom: Técnica e Aplicação*", Ed.: Pró END Consultoria, 2003.

ANDREUCCI, R.; "*Ensaio Não Destrutivos*", Apostila CENEQ, 2006.

SHIGLEY, Joseph; MISCHKE, Charles; BUDYNAS, Richard. "*Projeto de Engenharia Mecânica*". 7º ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. "*Soldagem, fundamentos e Tecnologia*". 3º ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.

SILVA, H.S.R.; "*Automatização de Um Sistema de inspeção Em Juntas Soldadas Utilizando a Técnica Ultrassônica TOFD*". Trabalho de Conclusão de Curso, UFPB, João Pessoa - PB, 2014.

SILVA, J.G.C.; "*Automatização De Um Dispositivo Para Ensaio De Ultrassom Utilizando A Interface Labview E Arduino*". Trabalho de Conclusão de Curso, IFPB, João Pessoa - PB, 2017.

MAYWORM, R. C.; "*Desenvolvimento e Implementação da Técnica Tempo de Voo da Onda Difrada (TOFD) Para Utilização Em ensaios Não Destrutivos*", Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Centro de Engenharia da Computação, UCP, Petrópolis - RJ, 2012.

ANDREUCCI, R.; "*Ensaio por Ultra-Som - Aspectos Básicos*", Apostila ABENDE, 3ª edição, 2002.

FERREIRA, W.M.; "*Caracterização de Defeitos de Soldagem Através da Análise Fractal de Sinais Ultra-Sônicos Obtidos Pela Técnica TOFD*". Dissertação-UFC. Fortaleza - CE, 2004.

INFOSOLDA. *Ensaio Não-Destrutivo: Ultrassom*, 1997. Disponível em:

<<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/ensaios-nao-destrutivos-e-mecanicos/214-ensaio-nao-destrutivo-ultrassom.html>>. Acesso em: 12 de maio 2015.

METALURGIA. TRINCAS DE SOLIDIFICAÇÃO: Disponível em: <http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/28-biblioteca-digital/livros-senai/metalurgia/128-trincas-de-solidificacao.html>>. Acesso em: 25 de abril de 2018.

OLYMPUS. *Instrumentos de END, Solução TOFD*. Disponível em: <<https://www.olympus-ims.com/pt/weld-solutions/tofd-solutions/>>. Acesso em: 25 de abril de 2018.

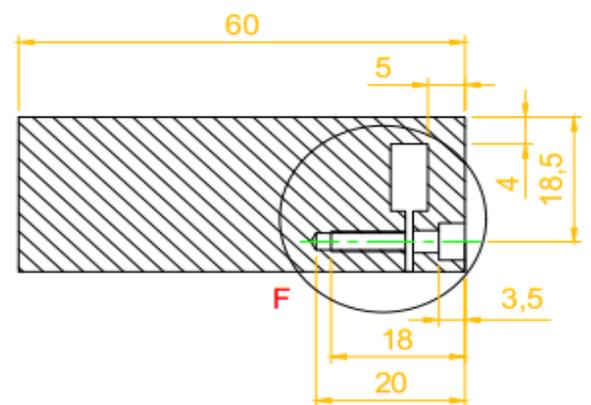
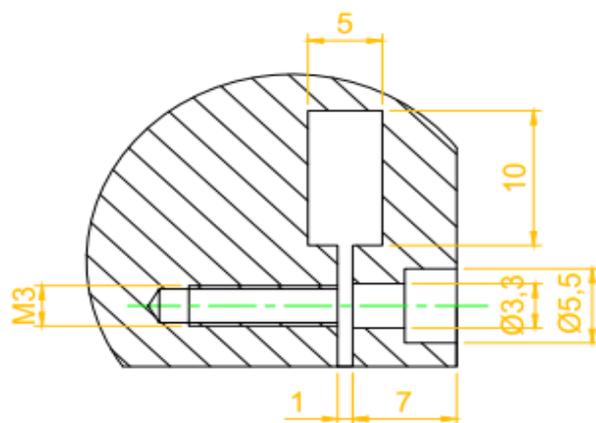
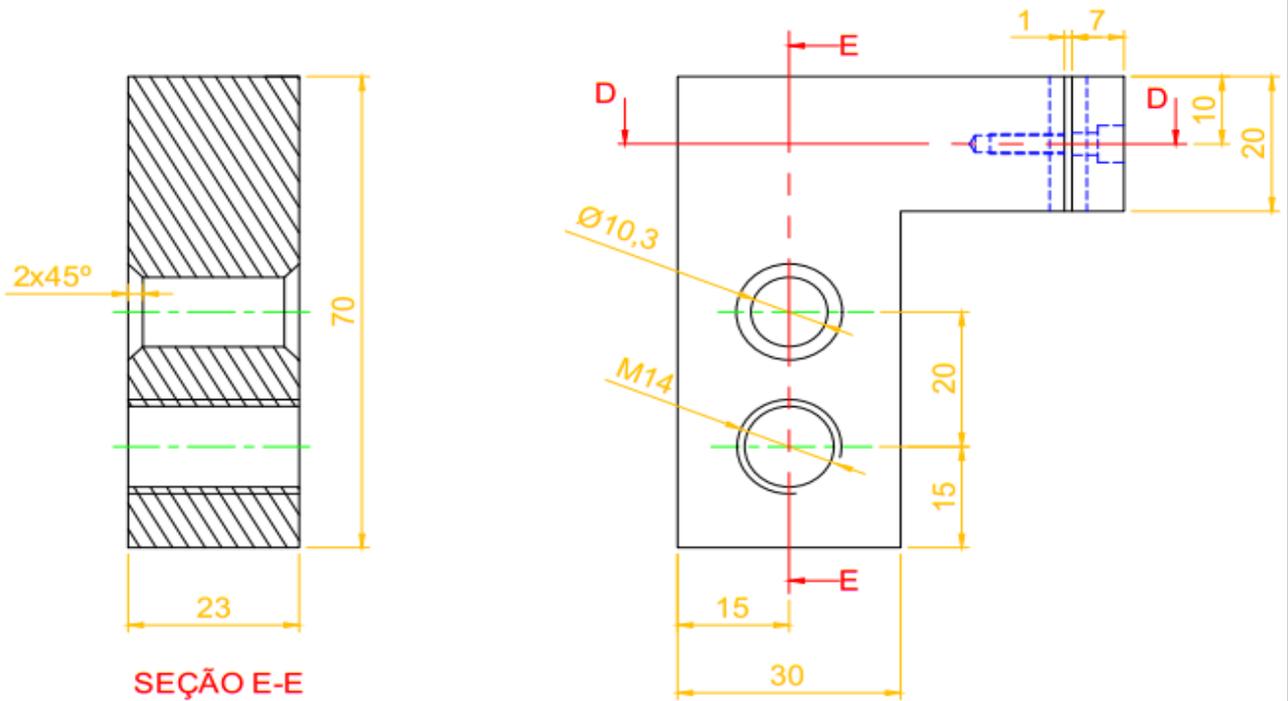
LWT. *As Cinco Grandes Vantagens Da Impressão 3D Para Revolucionar A Indústria*. Disponível em: <http://www.lwtsistemas.com.br/vantagens-da-impressao-3d-revolucionar/>. Acesso em: 14 de maio de 2018.

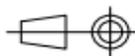
NEI. *Sistema Automático de Inspeção Verifica Solda Circular em Tubulações por Ultra-som*. Disponível em: <<http://www.nei.com.br/produto/2008-04-sistema-automatico-de-inspecao-general-electric-do-brasil-ltda-ge-sensing-inspection-technologies?id=f0eae707-5ba7-11e4-8697-0e94104de12e>> Acesso em 08 de dezembro de 2016.

7. APÊNDICES

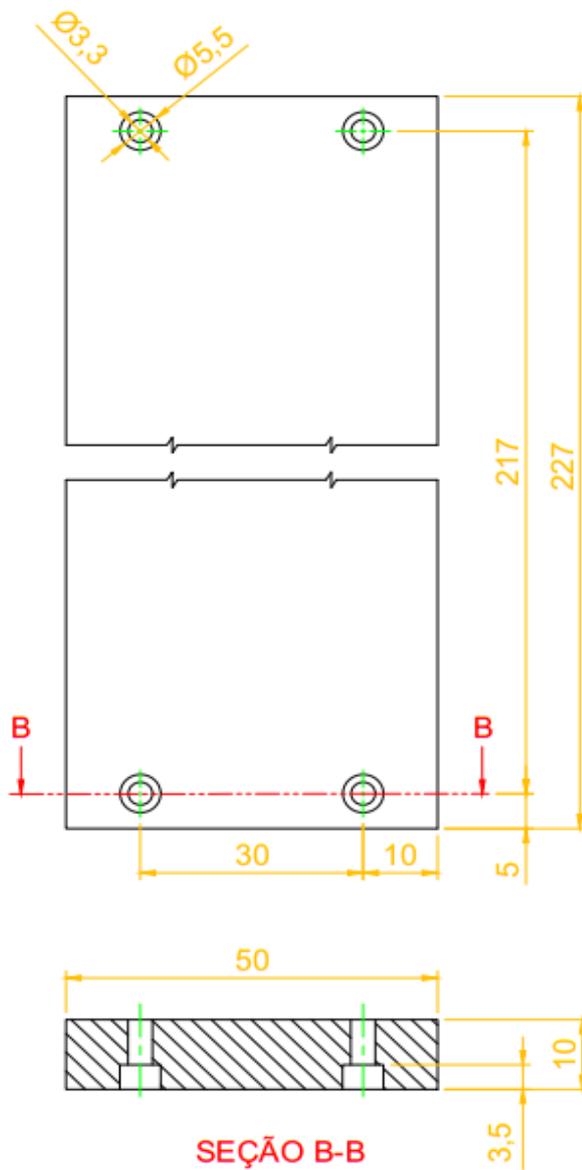
7.1. APÊNDICE A: Vistas das Peças do Protótipo.

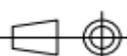
2 $\sqrt{1,6}$



2	1	Porca esquerda	Liga de Alumínio- 60 x 70x 23 mm
Núm.	Quant.	Denominações e Observações	Material e Dimensões
Peça			
		Dispositivo de Inspeção Por TOFD	Professor: Marcelo Cavalcanti
Escala: 1 : 1			Data: 20/04/2016
		Aluno: André Jeferson	Folha: 2/22

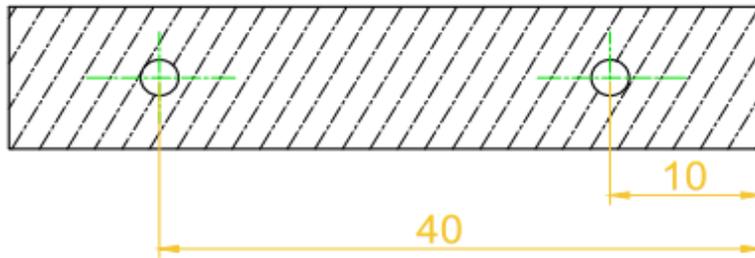
3 ∇ 1,6



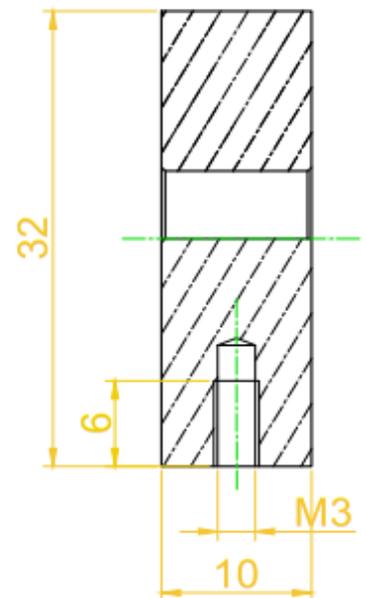
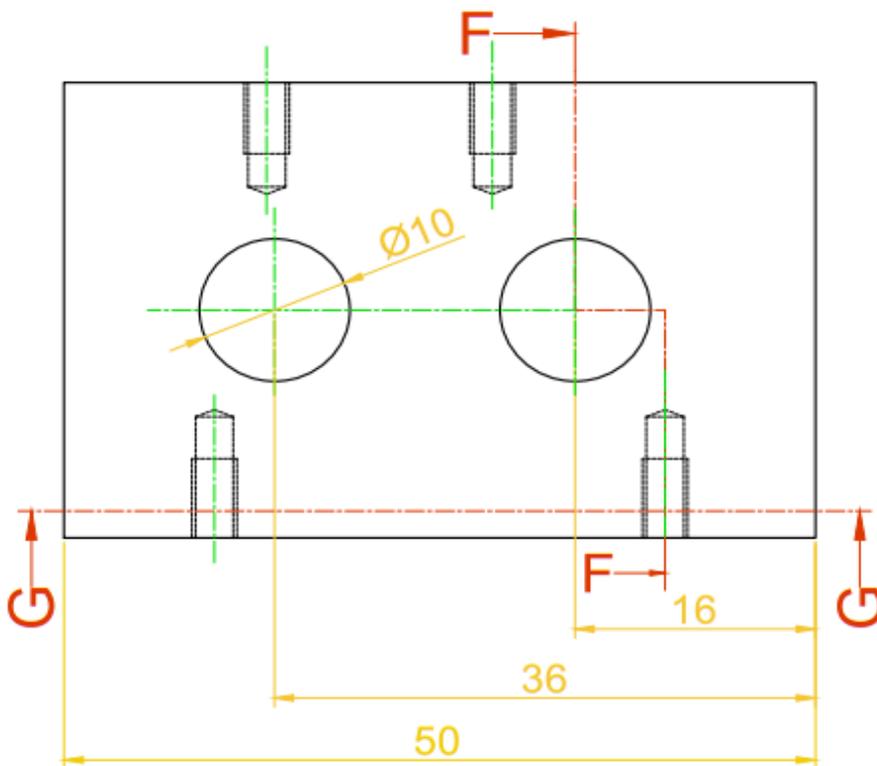
3	1	Base de fixação	Liga de Alumínio- 50 x 227 x 10 mm	
Núm.	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça			Professor: Marcelo Cavalcanti	Data: 20/04/2016
	Escala: 1 : 1 	Dispositivo de Inspeção Por TOFD	Aluno: André Jeferson	Folha: 3/22

04

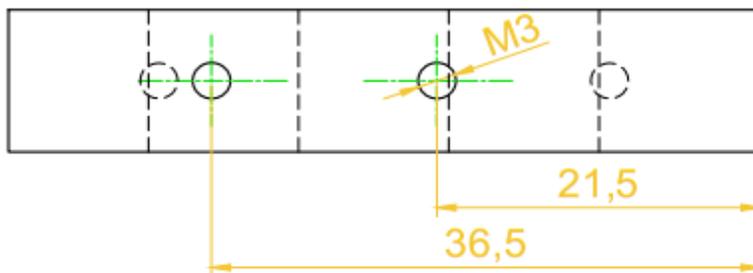
3,2

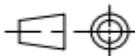


CORTE G-G



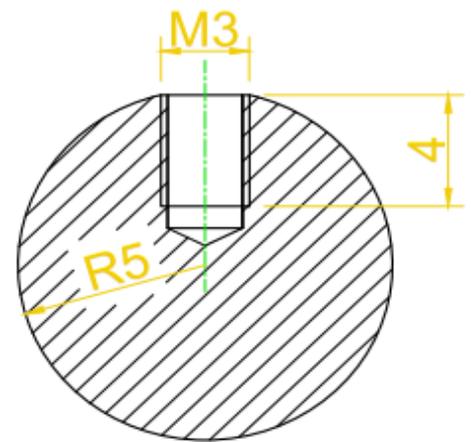
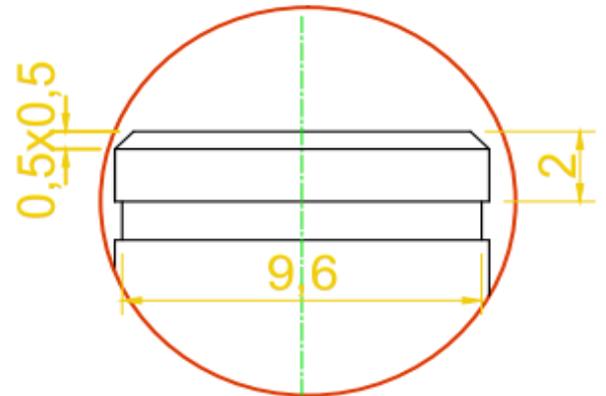
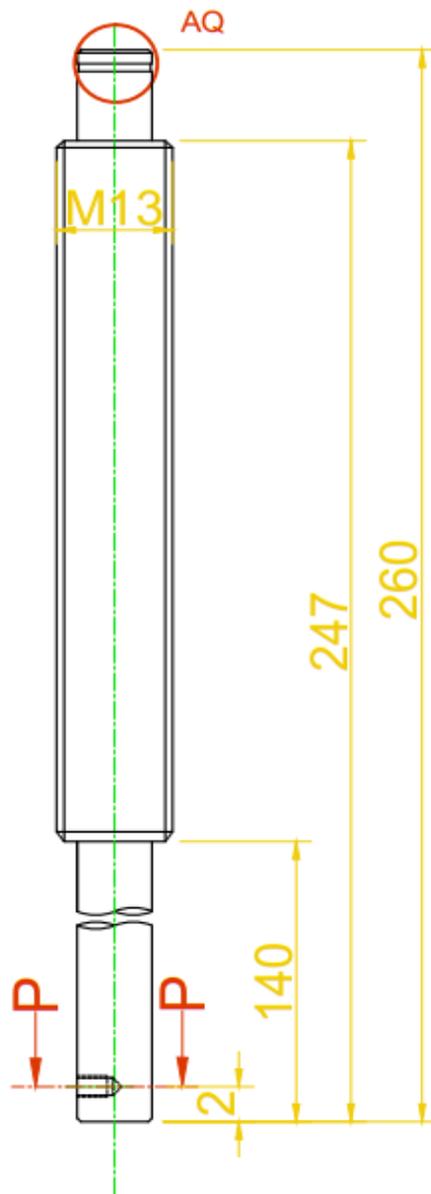
CORTE F-F



4	2	SUPORE DOS FUSOS	Liga de Alumínio- 32 x 50 x 10 mm	
Núm.	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça			Professor: Marcelo Cavalcanti	Data: 04/18
		Escala: 2 : 1 	Dispositivo de Inspeção Por TOFD	
			Aluno: André Jeferson	Folha: 4/22

5

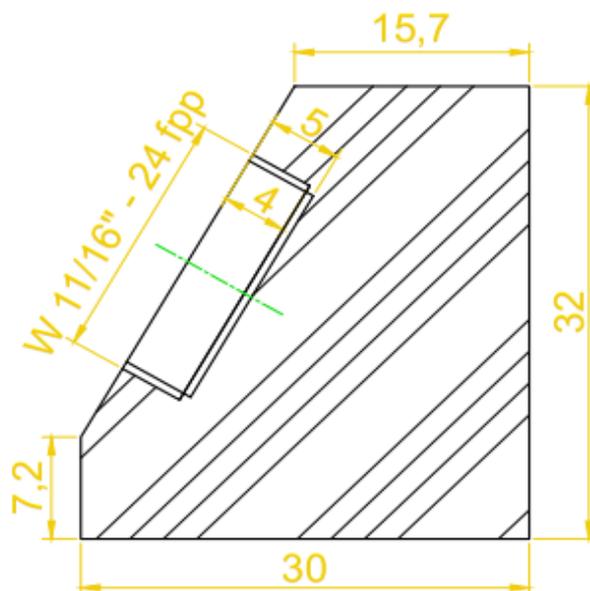
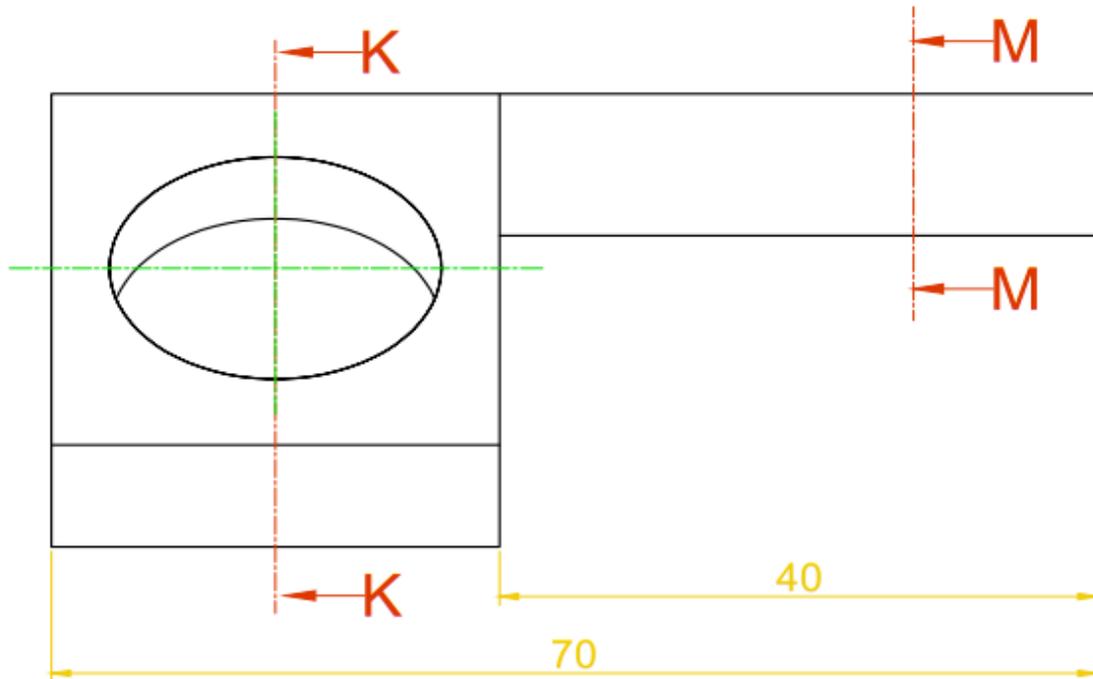
3,2



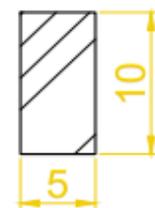
Núm.	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
5	2	FUSO	Liga de Alumínio- Ø15 x 252 mm	
Peça			Professor: Marcelo Cavalcanti	Data: 04/18
Escala: 1:1		Dispositivo de Inspeção Por TOFD	Aluno: André Jeferson	Folha: 5/22

6

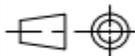
3,2 ✓



CORTE K-K

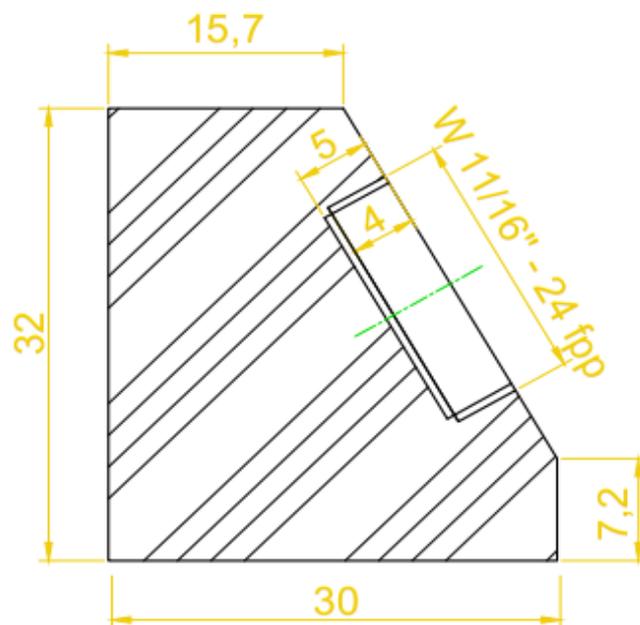
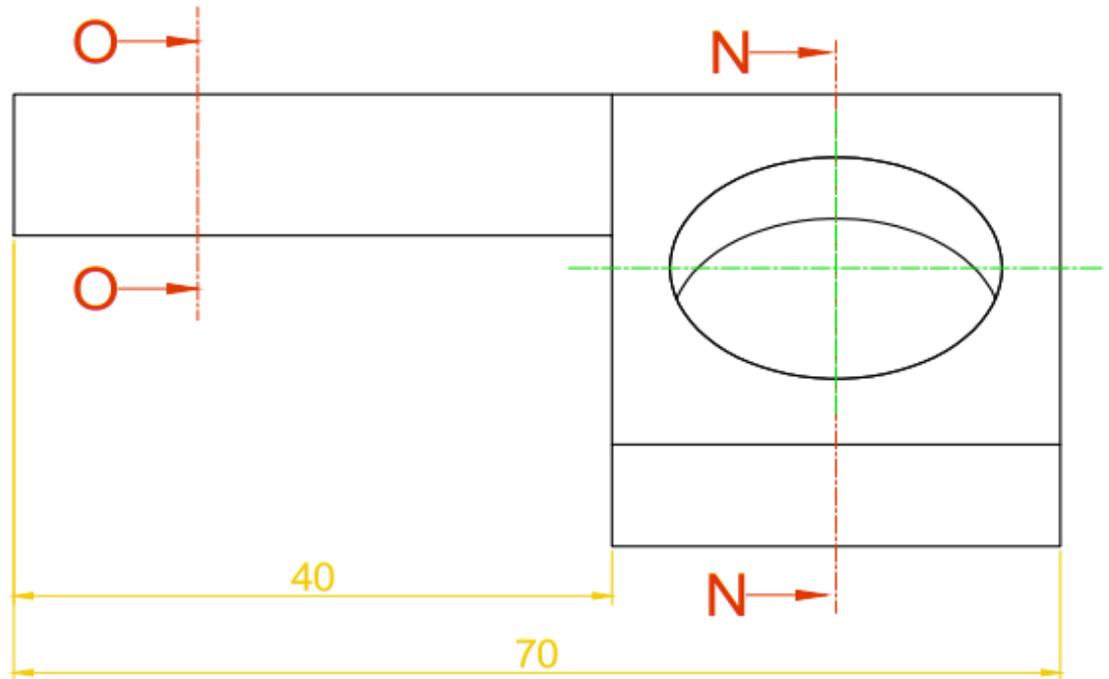


CORTE M-M

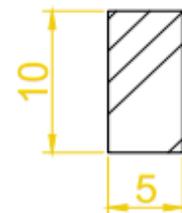
6	1	SAPATA DIREITA	NYLON 30x32x70	
Núm.	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça			Professor: Marcelo Cavalcanti	Data: 04/18
		Escala: 2 : 1 	Dispositivo de Inspeção Por TOFD	
		Aluno: André Jeferson	Folha: 6/22	

7

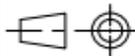
3,2



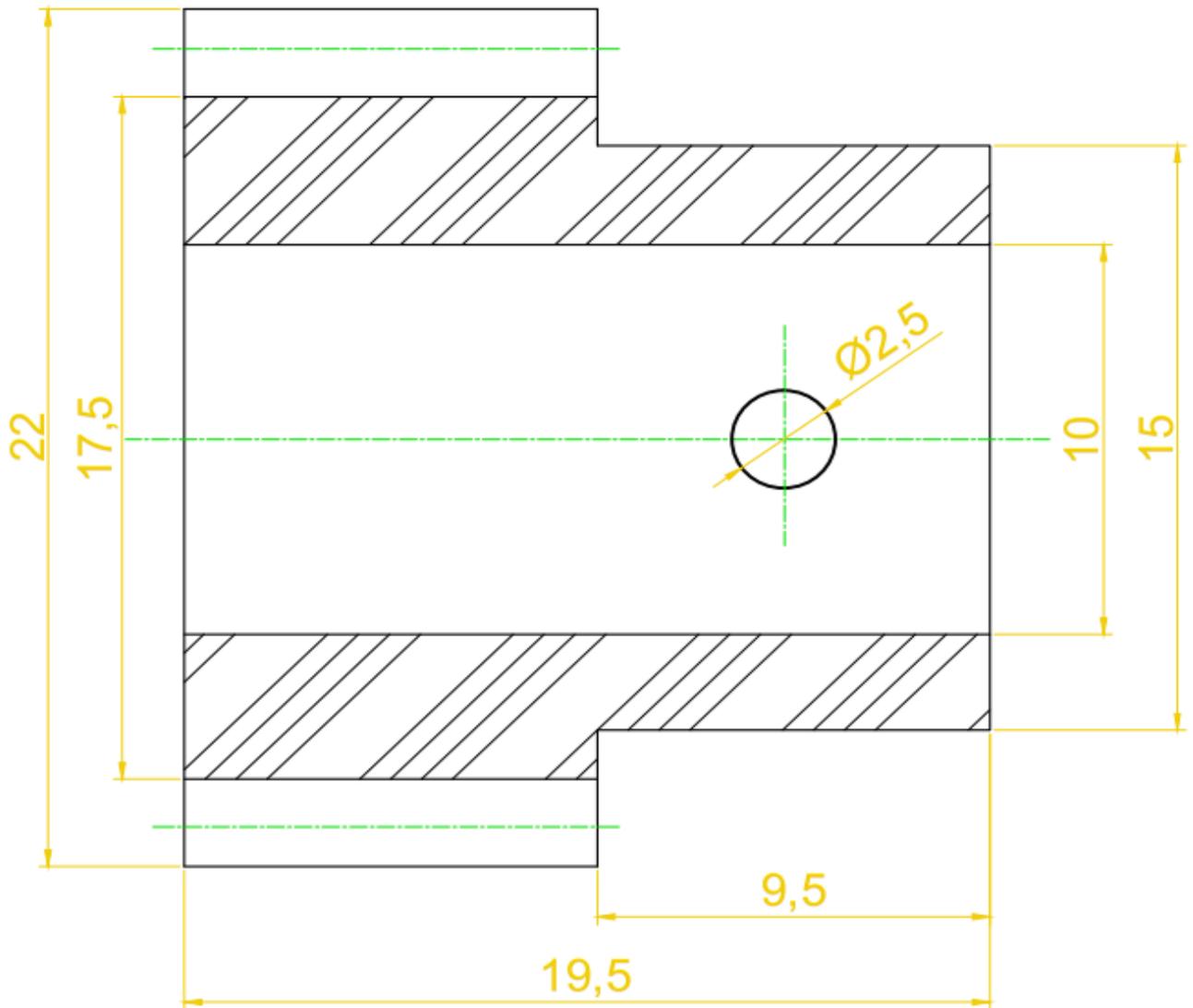
CORTE N-N



CORTE O-O

7	1	SAPATA ESQUERDA	NYLON 30x32x70
Núm.	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões
Peça			
	Escala: 2:1 	Dispositivo de Inspeção Por TOFD	Professor: Marcelo Cavalcanti Data: 04/18

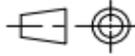
8 3,2



$M = 1$

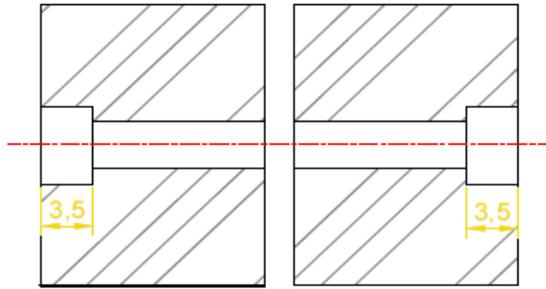
$Z = 20$

$\hat{\alpha} = 20^\circ$

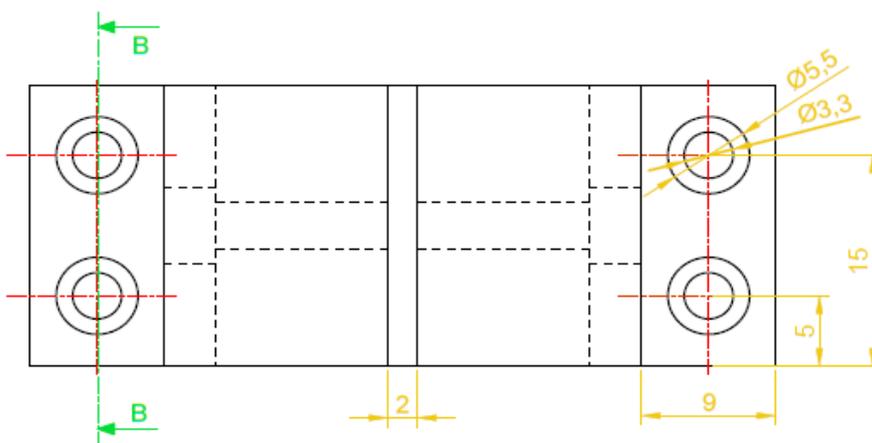
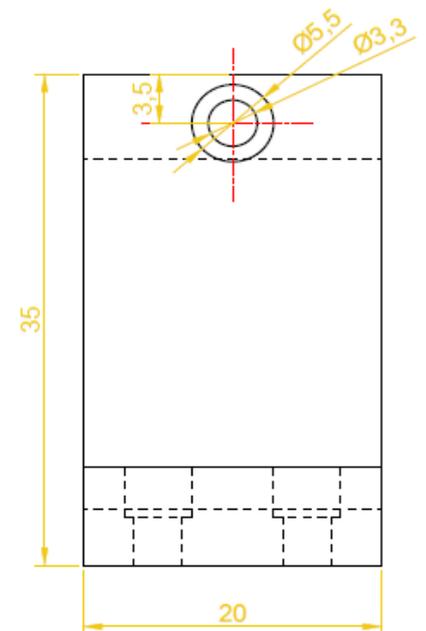
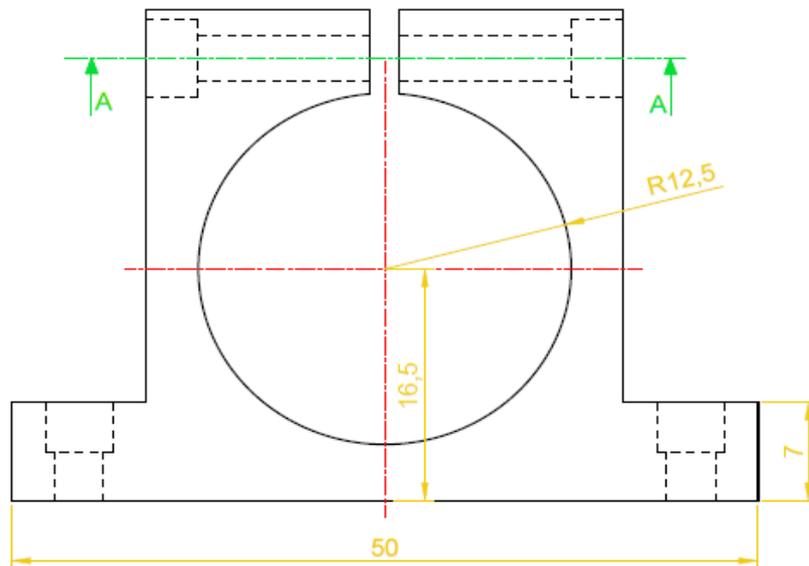
8	2	ENGRENAGEM DO FUSO	Liga de Alumínio- $\varnothing 22 \times 19,5 \text{ mm}$	
Núm.	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça			Professor: Marcelo Cavalcanti	Data: 04/18
		Escala: 6 : 1 	Dispositivo de Inspeção Por TOFD	
		Aluno: André Jeferson	Folha: 8/22	

9

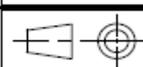
3,2

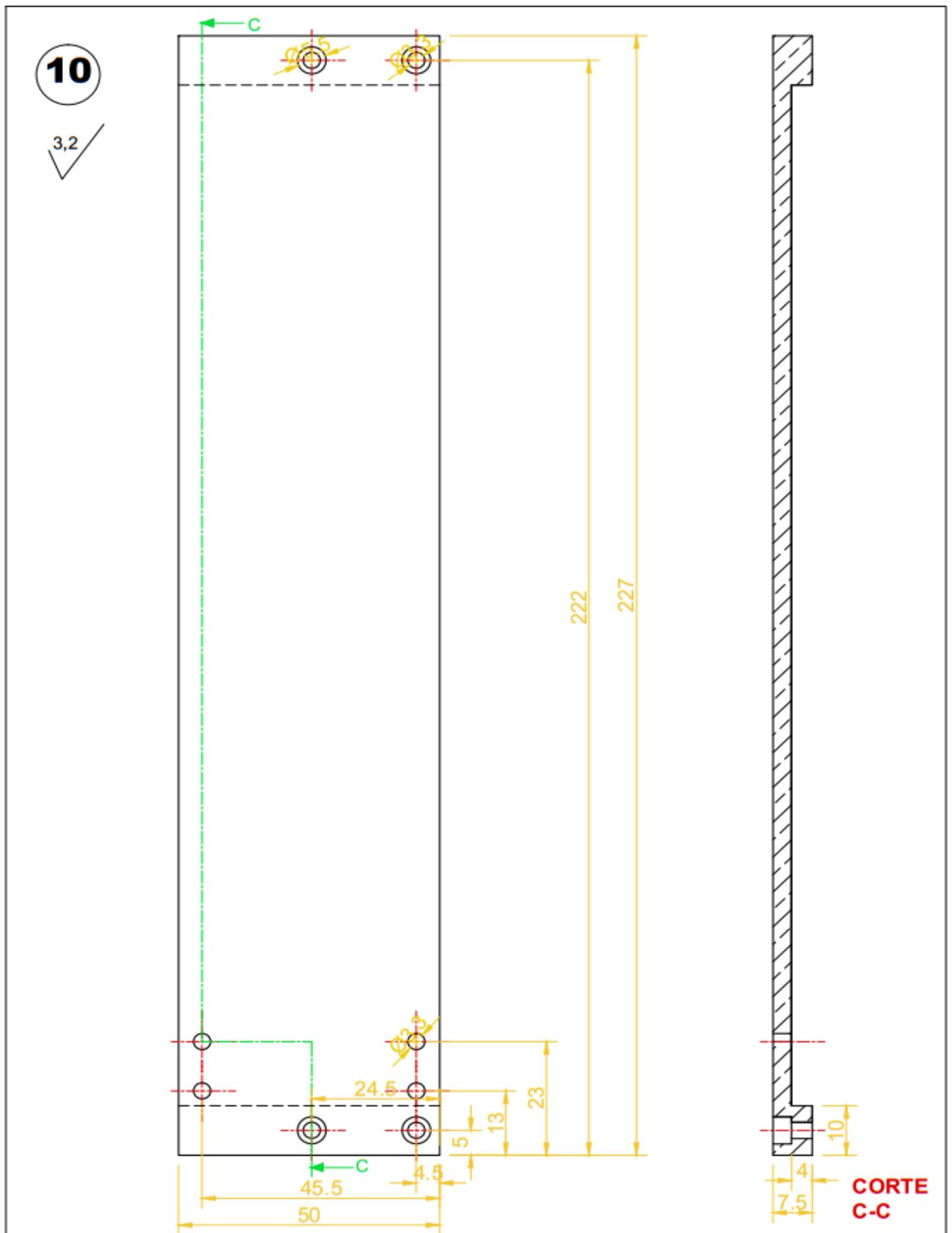


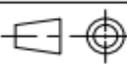
CORTE A-A



CORTE B-B

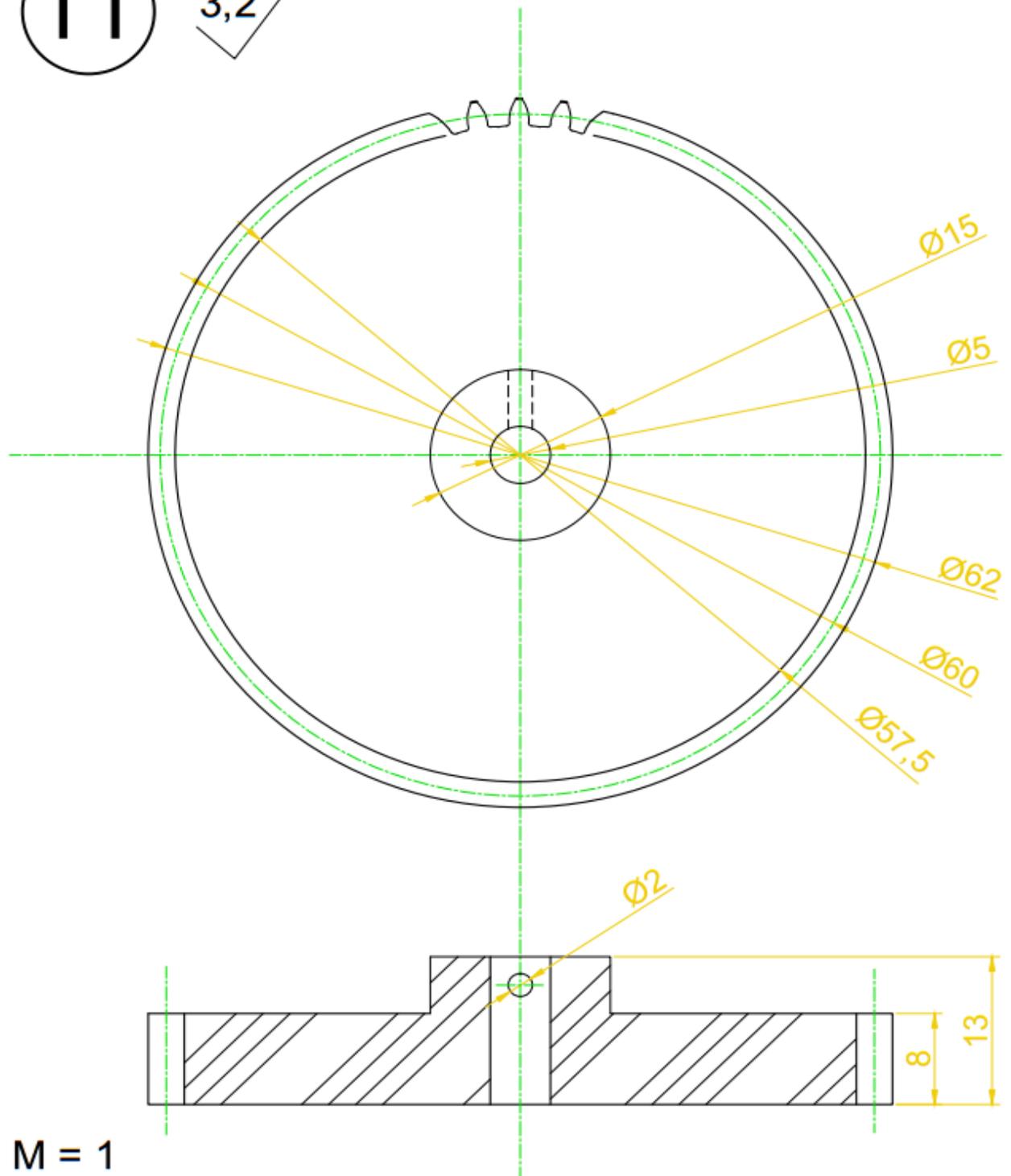
9	2	SUPORTE DO MOTOR	NYLON 35X20X50
Núm. Peça	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões
	Escala: 2:1	Dispositivo de Inspeção Por TOFD	Professor: Marcelo Cavalcanti
			Aluno: André Jeferson
			Data: 04/18
			Folha: 9/22



10	1	BASE DO SUPORTE DO MOTOR	Liga de Alumínio- 50x7,5X227mm	
Núm.	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça			Professor: Marcelo Cavalcanti	Data: 04/12
		Escala: 1 : 1 	Dispositivo de Inspeção Por TOFD Aluno: André Jeferson	
			Folha: 10/22	

11

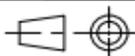
3,2



$M = 1$

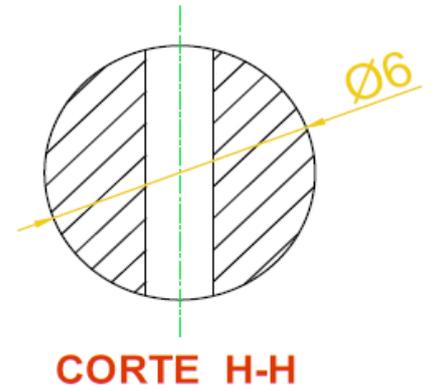
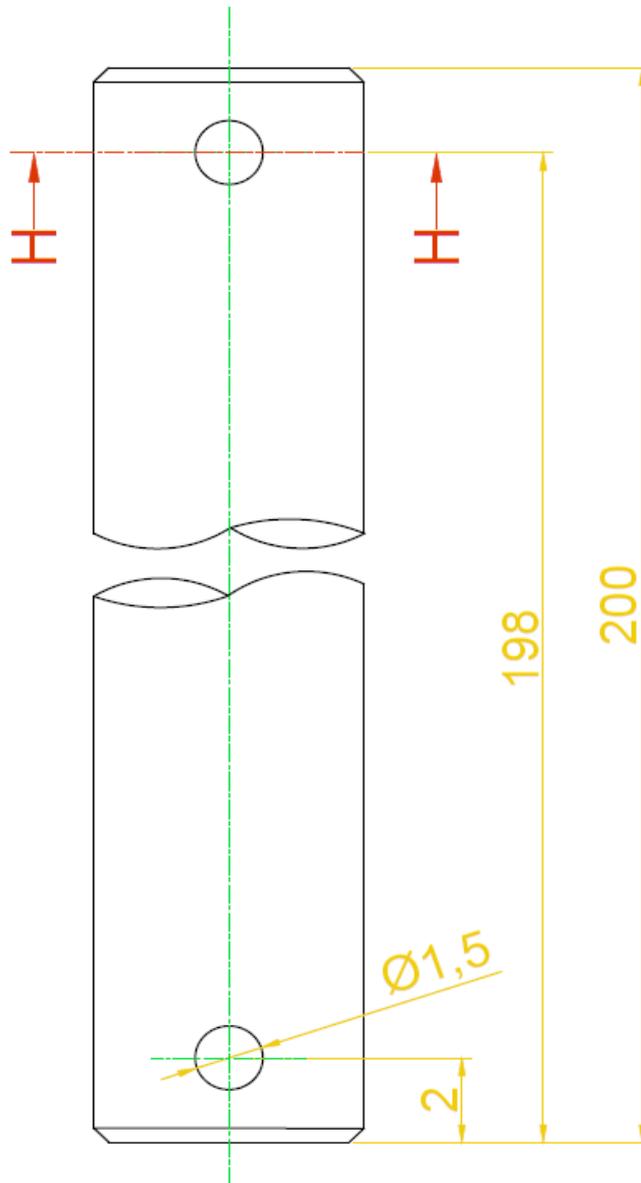
$Z = 60$

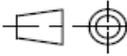
$\hat{\alpha} = 20^\circ$

11	1	ENGRENAGEM DO MOTOR 2	NYLON- Ø62x13mm
Núm. Peça	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões
	Escala: 2 : 1	Dispositivo de Inspeção Por TOFD	Professor: MARCELO CAVALCANTI
			Aluno: André Jeferson
			Data: 04/18 Folha: 11/22

12

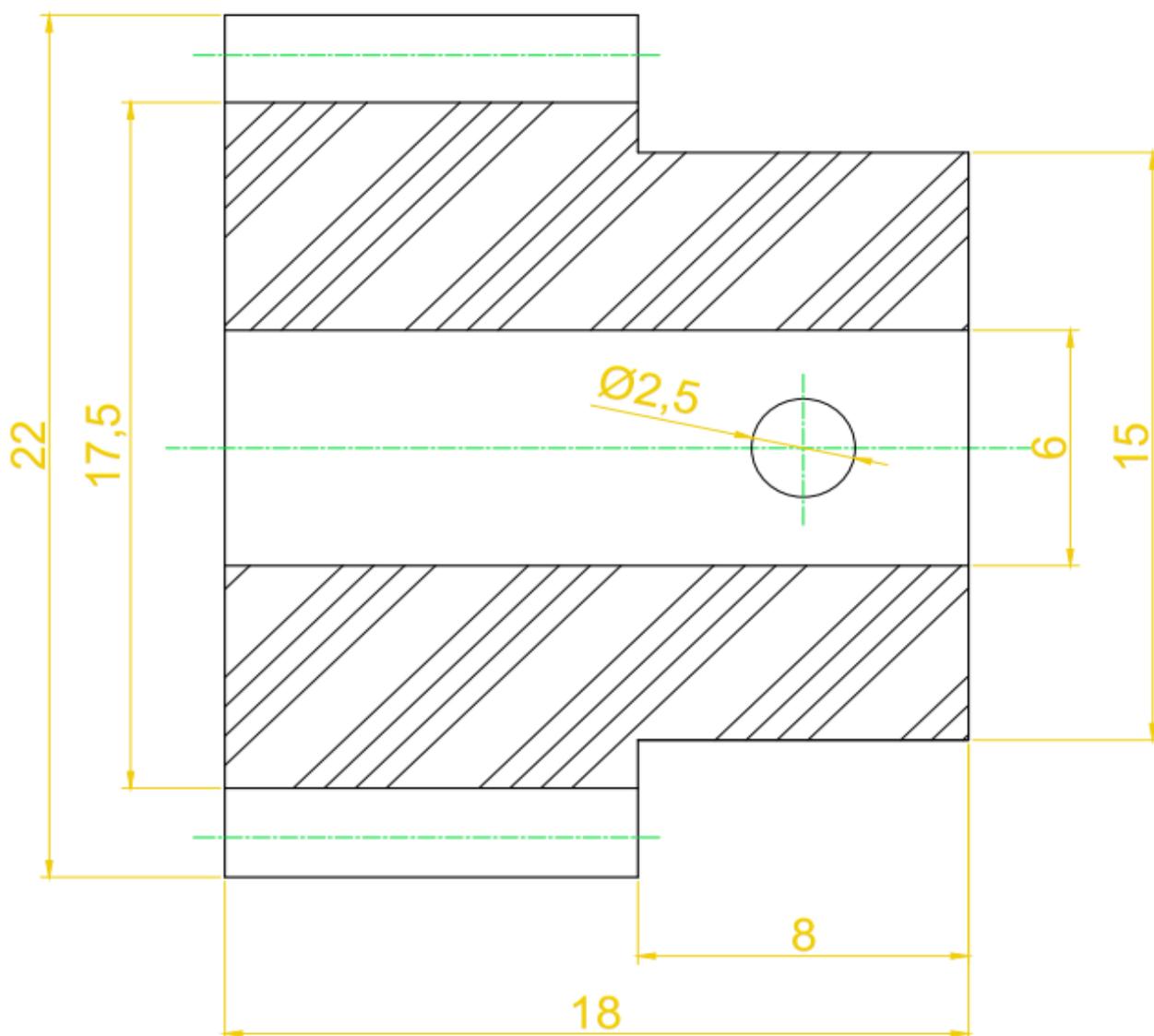
3,2



12	1	EIXO TRASEIRO	Ferro D6 x 200 mm	
Núm.	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça			Professor: Marcelo Cavalcanti	Data: 05/18
		Escala: 6 : 1 	Dispositivo de Inspeção Por TOFD	
		Aluno: André Jeferson	Folha: 12/22	

13

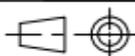
3,2



$M = 1$

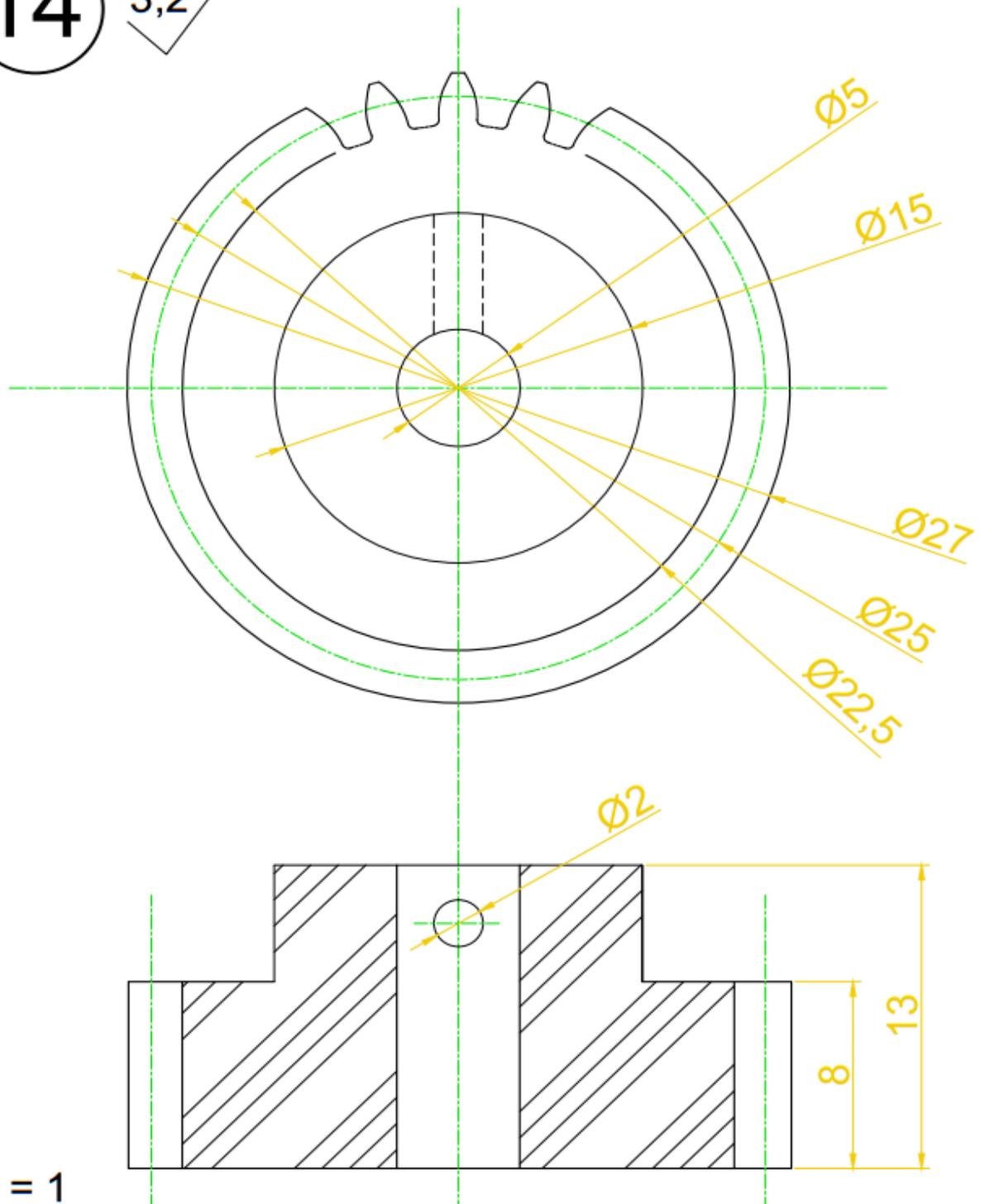
$Z = 20$

$\hat{\alpha} = 20^\circ$

13	1	ENGRENAGEM DO EIXO	NYLON- Ø22x18mm	
Núm.	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça			Professor: Marcelo Cavalcanti	Data: 04/18
		Escala: 6 : 1 	Dispositivo de Inspeção Por TOFD	
		Aluno: André Jeferson		

14

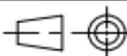
3,2



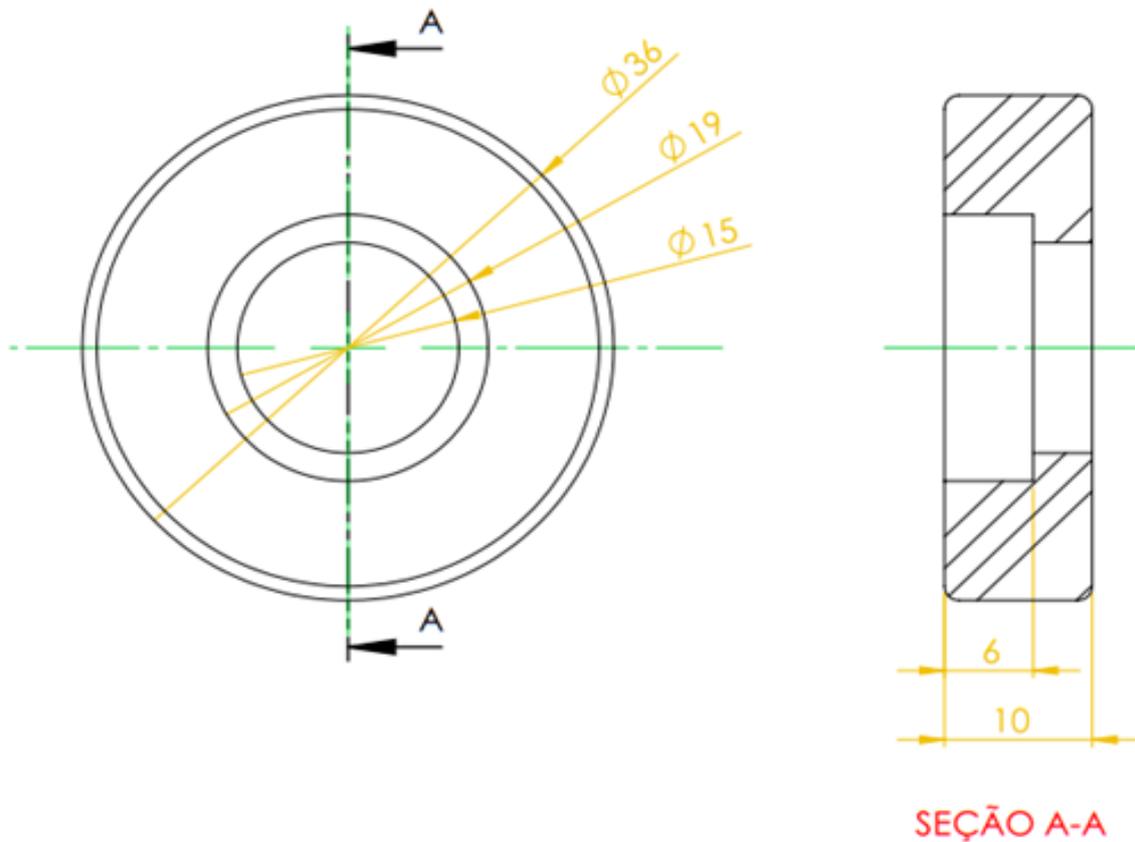
$M = 1$

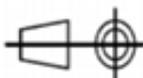
$Z = 25$

$\hat{\alpha} = 20^\circ$

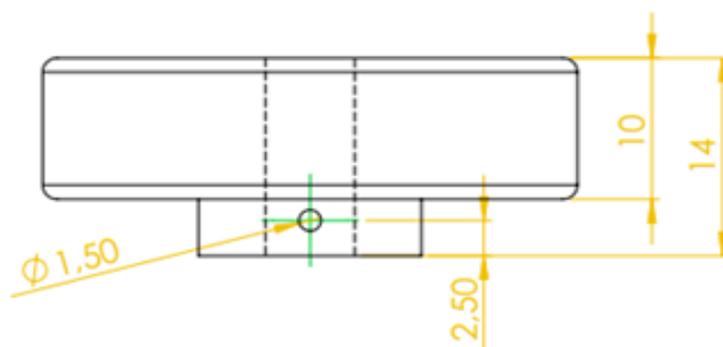
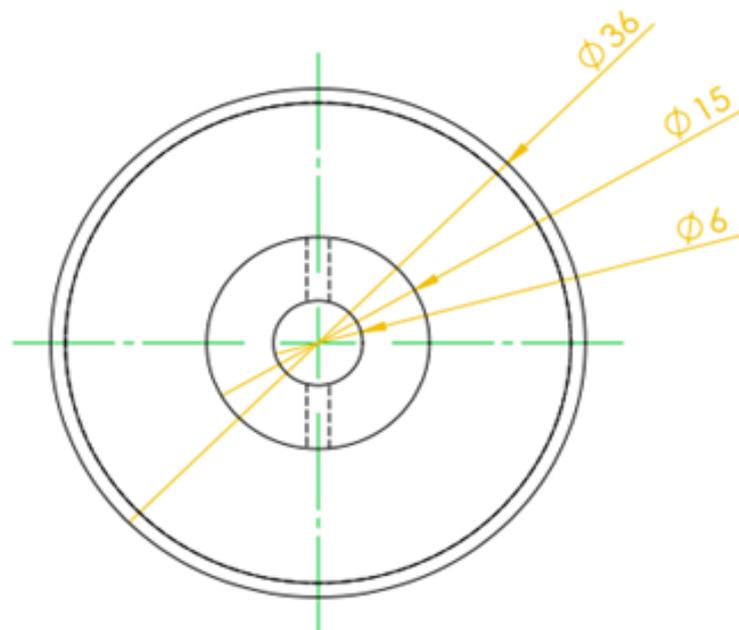
14	1	ENGRENAGEM DO MOTOR 1	NYLON- Ø27x13mm
Núm. Peça	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões
	Escala: 4 : 1 	Dispositivo de Inspeção Por TOFD	Professor: Marcelo Cavalcanti

15 3,2 ✓



15	2	Rodinha Dianteira	Barra Circular de Nylon	
Nº	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça		Escala: 1:1 	Professor:	Data:
			Conjunto:	Dr. Marcelo Cavalcanti
		Dispositivo de Inspeção TOFD	Nome:	Folha:
			André Jeferson	15/22

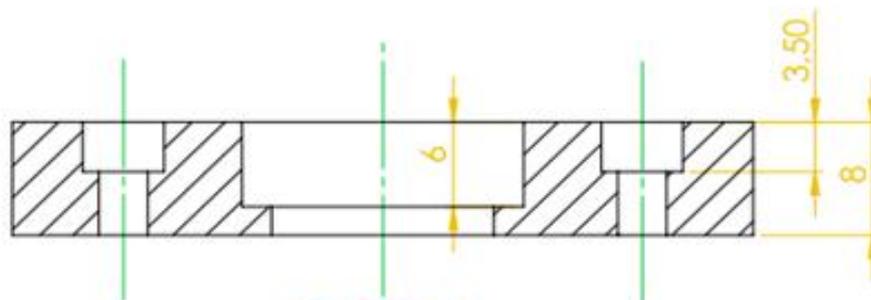
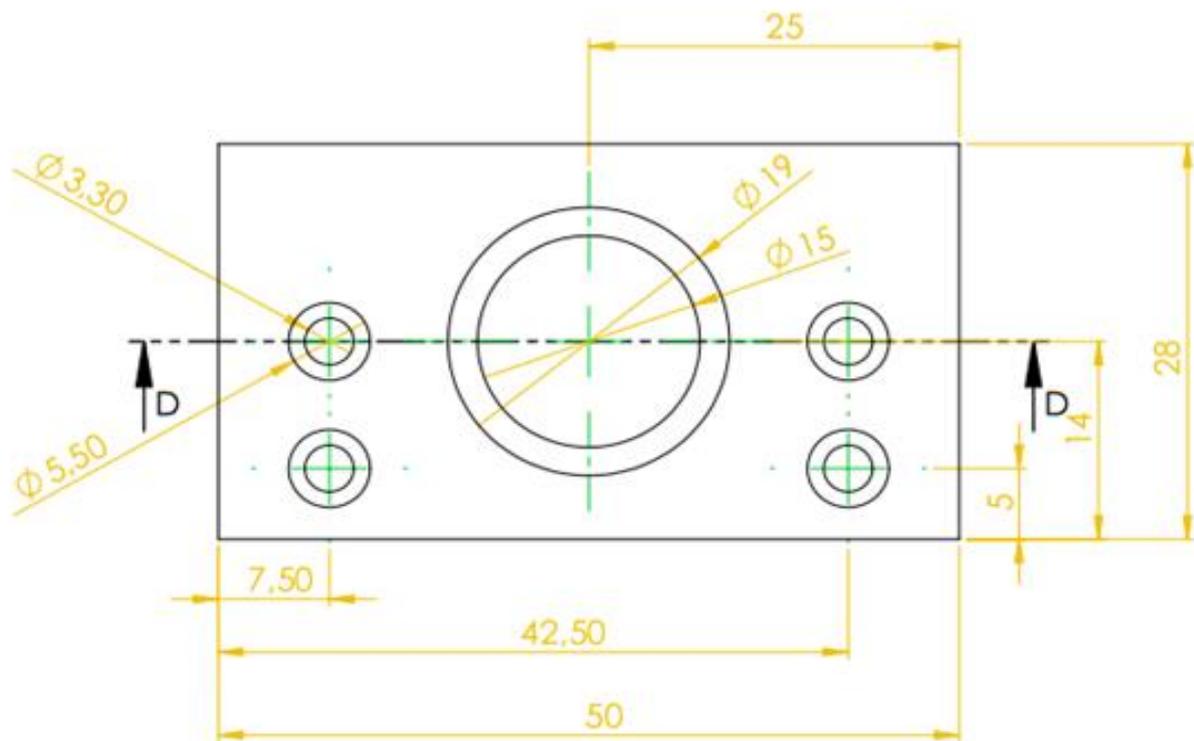
16 3,2 ✓



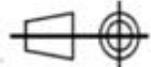
ESCALA 2:1

16	2	Rodinha Trazeira	Barra Circular de Nylon 40mm	
Nº	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça			Professor:	Data:
		Escala: 1:1 	Dr. Marcelo Cavalcanti	01/03/2017
			Nome: André Jeferson	Folha: 16/22
		Conjunto:		
		Dispositivo de Inspeção TOFD		

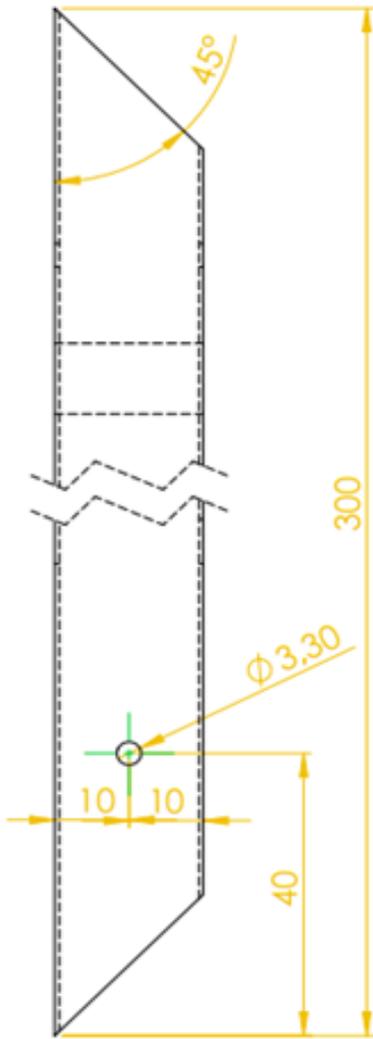
17 3,2



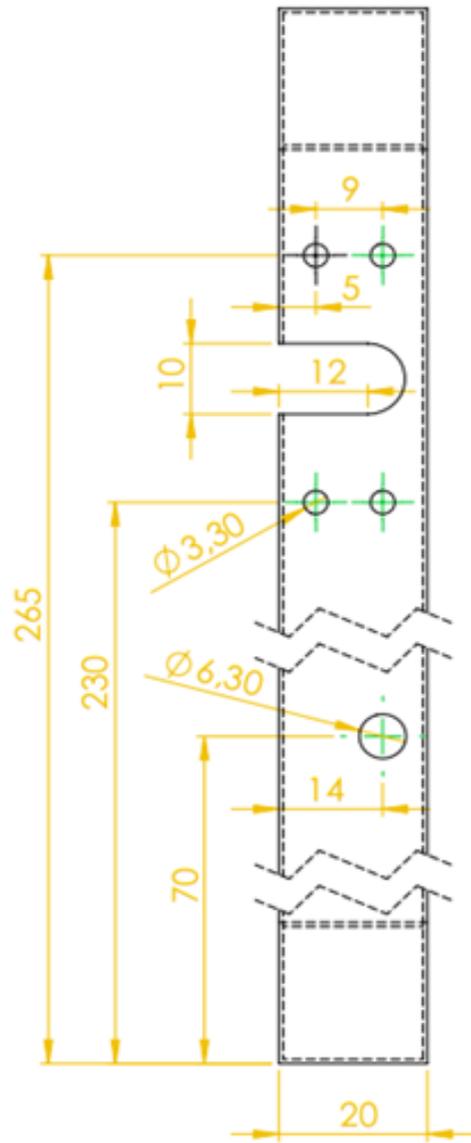
SEÇÃO D-D
ESCALA 2:1

17	2	Mancal	Chapa de Alumínio 50 x 30 x 10	
Nº	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça			Professor:	Data:
		Escala: 2:1 	Conjunto: Dispositivo de Inspeção TOFD	Dr. Marcelo Cavalcanti 01/03/2017
			Nome: André Jeferson	Folha: 17/22

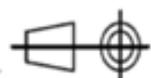
18 3,2 ✓



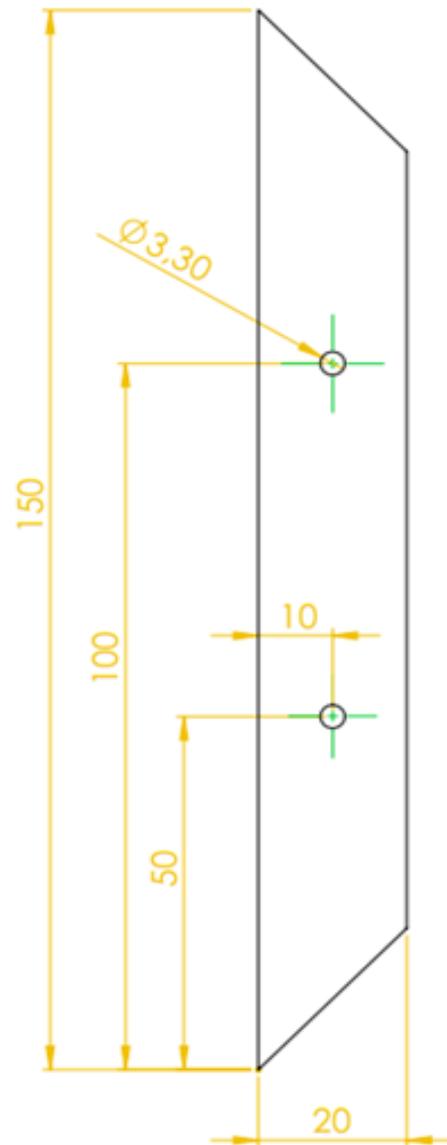
ESCALA 1 : 1



ESCALA 1 : 1

18	2	Perfis do carrinho	Tubo de Aço 20 x 20 x 300	
Nº	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça			Professor:	Data:
		Escala: 1:1 	Dr. Marcelo Cavalcanti	01/03/2017
		Conjunto: Dispositivo de Inspeção TOFD	Nome: André Jeferson	Folha: 18/22

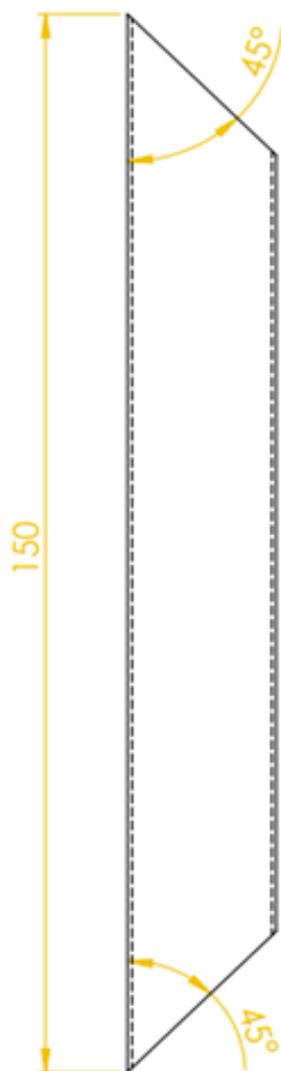
19 3,2 ✓



ESCALA 1 : 1

19	1	Perfil do carrinho 2	Tubo de Aço 20 x 20 x 150	
Nº	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça			Professor:	Data:
		Escala: 2:1 	Conjunto: Dispositivo de Inspeção TOFD	Dr. Marcelo Cavalcanti 01/03/2017
			Nome:	Folha:
			André Jeferson	19/22

20 3,2 ✓

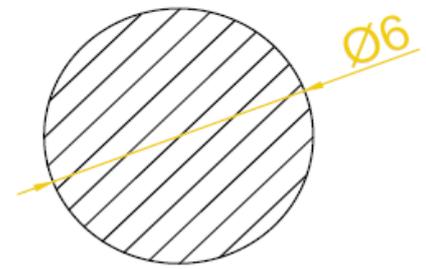
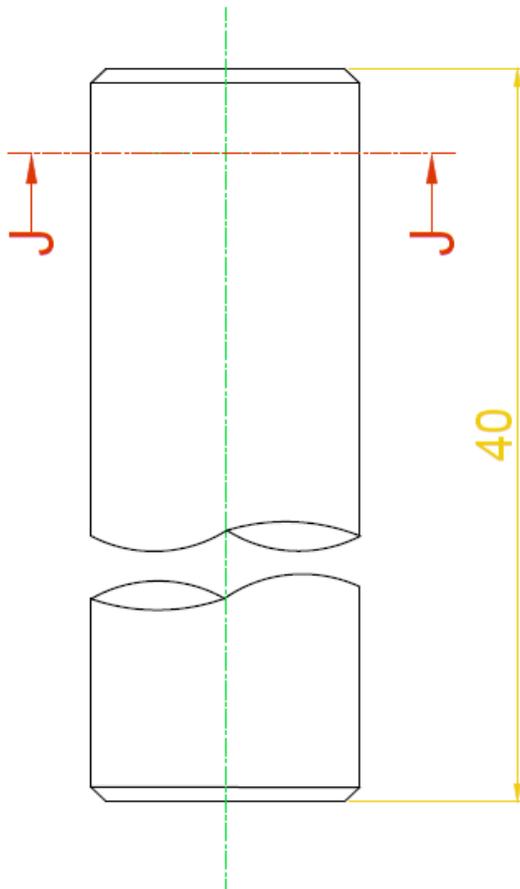


ESCALA 1 : 1

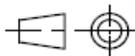
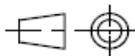
20	1	Perfil do carrinho 3	Tubo de Aço 20 x 20 x 150	
Nº	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça		Escala: 1:1 	Professor:	Data:
			Conjunto:	Dr. Marcelo Cavalcanti
		Dispositivo de Inspeção TOFD	Nome:	Folha:
			André Jeferson	20/22

21

3,2

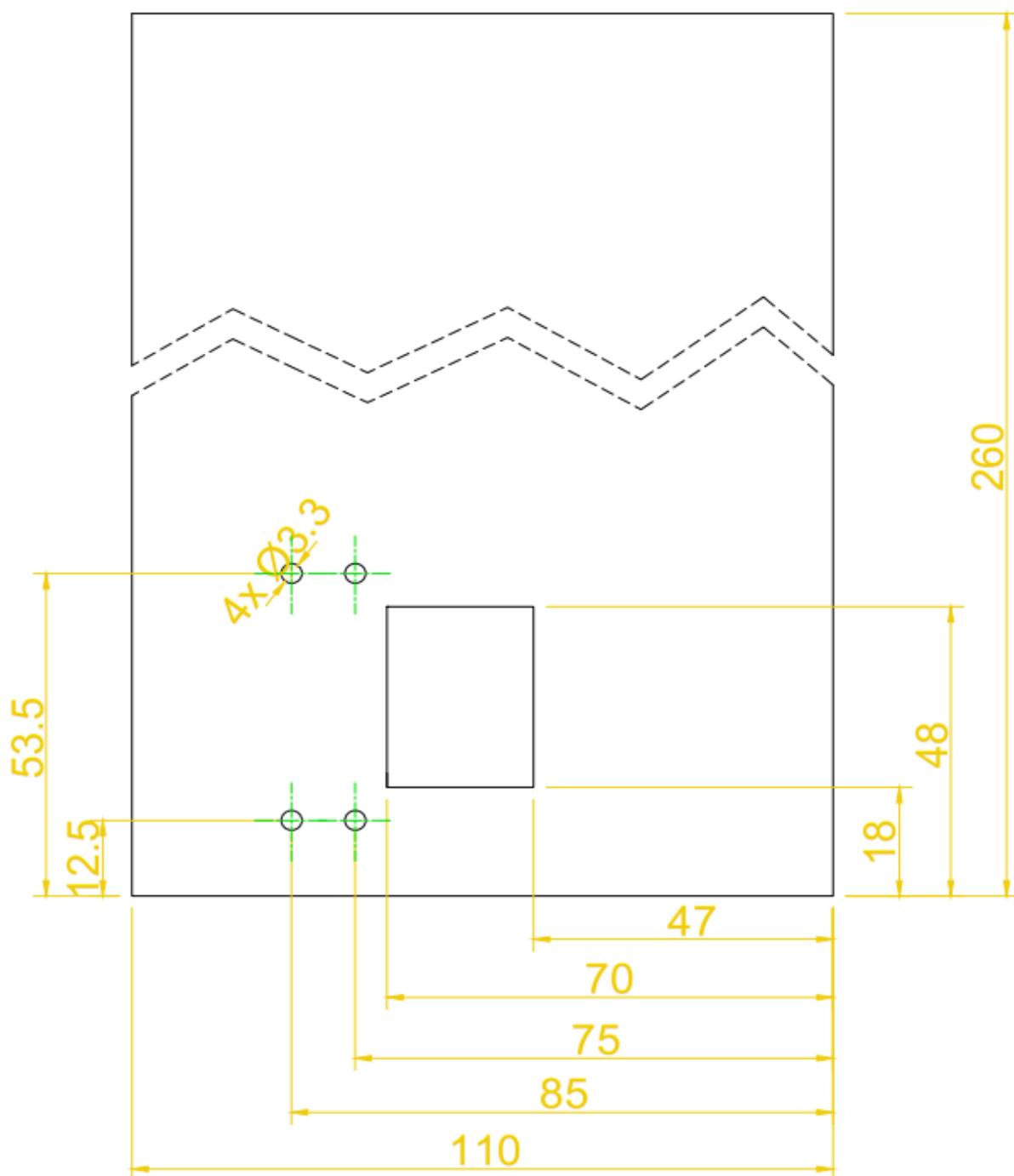


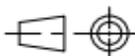
CORTE J-J

21	2	EIXO DIANTEIRO	Ferro D6 x 40 mm	
Núm.	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça			Professor: Marcelo Cavalcanti	Data: 05/18
		Escala: 6 : 1 	Dispositivo de Inspeção Por TOFD	
				

22

3,2



22	1	SUPERFÍCIE DO CARRINHO	Aço 110 x 260 x 2 mm	
Núm.	Quant.	Denominações e Observações	Materiais e Dimensões	
Peça				
	Escala:	Dispositivo de Inspeção Por TOFD	Professor: Marcelo Cavalcanti	Data: 04/18
			2 : 1	Aluno: André Jeferson

7.2. APÊNDICE B: documentação feita para o pedido de patente.

1/1

REIVINDICAÇÕES

- 1°) "DISPOSITIVO AUTOMÁTICO DE INSPEÇÃO ULTRASSÔNICA PARA CHAPAS SOLDADAS" caracterizado por constituir-se de carrinho e módulo de inspeção, o qual utiliza a técnica ultrassônica TOFD (Time of Flight Diffraction) na avaliação da integridade de soldas presentes em chapas metálicas de grandes dimensões, identificando as descontinuidades à medida que é feita uma varredura no cordão de solda.

“DISPOSITIVO AUTOMÁTICO DE INSPEÇÃO ULTRASSÔNICA PARA CHAPAS SOLDADAS”.

Refere-se o presente Modelo de Utilidade a um Dispositivo Automático de Inspeção Ultrassônica de soldas de topo presentes em chapas metálicas de grandes dimensões. A utilização da programação para controlar os movimentos do modelo proporcionará maior rapidez, menor custo e maior confiabilidade.

Atualmente, grande parte dos equipamentos de inspeção de soldas são operados manualmente. Este fato implica em maior utilização do tempo de operação, não condizendo com as necessidades existentes na indústria. Dispositivos automáticos, para inspeção de soldas, já estão sendo utilizados pela indústria na inspeção de tubulação, vasos de pressão e outros. Esses equipamentos são, significativamente, caros. O dispositivo tratado se apresenta como uma alternativa de baixo custo, sem abrir mão da confiabilidade.

Com o objetivo de solucionar tal problema, foi desenvolvido o presente modelo, através do qual, ondas ultrassônicas são inseridas no material e, utilizando a técnica TOFD (Time of Flight Diffraction) são calculadas as dimensões e a posição das trincas que, eventualmente, se encontram inseridas no interior do cordão de solda.

O dispositivo de inspeção apresentado é constituído por um carrinho e um módulo de inspeção. Ele é equipado com componentes eletrônicos, os quais, comandam os movimentos do dispositivo e possibilitam a realização do ensaio de forma automática, rápida e confiável.

O modelo poderá ser melhor entendido por meio da seguinte descrição detalhada, conforme as figuras em anexo, onde:

A FIGURA 1 representa a vista superior do dispositivo.

A FIGURA 2 representa a vista isométrica do dispositivo.

Referente a estas figuras, pode-se observar que o carrinho é composto por: estrutura principal (1), na qual serão fixados os mancais (2), os eixos (3),

as rodinhas (4), o suporte do motor I (5) e o conjunto de engrenagens traseiras (6).

O carrinho possui a função de transportar os componentes eletrônicos, fundamentais para a ensaio por ultrassom. O motor I (7) é responsável pelo movimento global do dispositivo de inspeção. A energia consumida pelos motores I (7) e II (8) é fornecida pela bateria (9). O controle dos movimentos e das velocidades dos componentes do equipamento é realizado pelo microcomputador Arduino UNO (10), no qual, é armazenado a programação com as rotinas a serem executadas.

Com o objetivo de aumentar a capacidade do microcomputador e viabilizar a utilização de motores mais robustos, com relação a faixa de tensão que o Arduino UNO (10) pode operar, é acoplado um Arduino Motor Shield (11) ao circuito. Além disso, se faz necessário a introdução de: uma fonte de alimentação do Arduino (12), um potenciômetro 10K Ω (13) para ajuste de velocidade de rotação dos motores e de um protoboard (14) para conectar todos os componentes do circuito.

O carrinho possui ainda a função de transportar o módulo de inspeção, composto pela base do dispositivo (15), na qual, são fixados os suportes laterais (16). Nestes, são acoplados os fusos (17). Os fusos tem a função de guia para as porcas (18). Estas movimentam as sapatas (19) que estão fixadas nas porcas (18), permitindo assim, a aproximação/afastamento dos transdutores piezoelétricos (20) em relação ao cordão de solda. O movimento de translação das sapatas (19) é governado pelo motor II (8). A transmissão do movimento é realizada pelo conjunto de engrenagens do fuso (21). O motor II (8) é fixado através do suporte do motor II (22) na base de fixação (23).

O feixe de ondas ultrassônicas é introduzido/captado no/do material por meio dos transdutores piezoelétricos (20), estes ficam acoplados nas sapatas (19). A geração das ondas é realizada externamente por um gerador de ondas, e transmitido por cabos até os transdutores (20). Para visualizar o sinal de

resposta obtido no ensaio se faz necessário a utilização de um osciloscópio, o qual, assim como o gerador de ondas, não se encontram embarcados no carrinho. A interpretação dos dados obtidos é feita no MatLab.

5 Com a combinação do movimento do carrinho e do módulo de inspeção, é realizada uma varredura no cordão de solda. Para isso, os transdutores piezoelétricos (20) devem permanecer equidistantes ao cordão de solda. Durante a varredura, a interface entre as sapatas (19) e a superfície da chapa soldada, deve se manter livre de ar para facilitar a introdução das ondas ultrassônicas no material. Para isso é aplicada uma camada de Glicerina.

RESUMO

"DISPOSITIVO AUTOMÁTICO DE INSPEÇÃO ULTRASSÔNICA PARA CHAPAS SOLDADAS"

5 O modelo de utilidade desenvolvido, se apresenta como uma alternativa, de baixo custo, na área de Ensaio não Destrutivo, para a análise da integridade de soldas de topo existentes em placas metálicas de grandes dimensões. O dispositivo se utiliza da técnica Ultrassônica TOFD (Time of Flight Diffraction) para identificar a posição e as dimensões das trincas presentes no interior da solda.

10 O modelo tratado diferencia dos demais equipamentos pela simplicidade e pelo baixo custo de fabricação. Ele poderá atuar na inspeção de cascos de navios, plataformas de petróleo e em outras estruturas que possibilitem sua movimentação.

1/2

