

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA - DAMEC
ENGENHARIA MECÂNICA**

ARNALDO JACOB NETO

**PROJETO DE MELHORIA DE BANCADA PARA ESTUDO
TRIBOLÓGICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2019

ARNALDO JACOB NETO

**PROJETO DE MELHORIA DE BANCADA PARA ESTUDO
TRIBOLÓGICO**

Trabalho de Conclusão de Curso ou apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento de Acadêmico de Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares

PONTA GROSSA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

PROJETO DE MELHORIA DE BANCADA PARA ESTUDO TRIBOLÓGICO

por

ARNALDO JACOB NETO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 5 de julho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
Orientador

Prof. Dr. Roger Navarro Verastegui
Membro Titular

Eng. Luis Vitório Gulineli Fachini
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
Responsável pelos TCC

**Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de
Carvalho**
Coordenador do Curso

RESUMO

JACOB NETO, Arnaldo. **Projeto de melhoria de uma bancada para estudo tribológico**. 2019. 48 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

O projeto em questão buscou aprimorar uma bancada de testes tribológicos já existente na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Para conceitualização do tema, foi realizada uma revisão bibliográfica e foram descritas as formas existentes de desgaste, os tipos de dispositivos e as etapas do desenvolvimento do produto. A estruturação do projeto seguiu conceitos de desenvolvimento de produto, onde todas as etapas necessárias precedentes à liberação para a produção do protótipo foram detalhadas. Através de uma série de análises, oportunidades de melhoria foram propostas e projetadas para um novo conceito de equipamento, buscando melhor funcionalidade e otimização dos resultados gerados pelos ensaios tribológicos. Espera-se que as melhorias propostas sejam implementadas no equipamento para que se possibilite que os ensinamentos e conteúdos teóricos transmitidos em sala de aula possam ser aplicados e praticados, auxiliando na fixação do aprendizado e também incentivando a iniciativa de discentes e docentes a produzir e aplicar a teoria na prática.

Palavras-chave: Tribologia. Tribômetro. Ensaio de Desgaste.

ABSTRACT

JACOB NETO, Arnaldo. **Project to improve a bench for tribological study**. 2019. 48 pages. Term Paper (Graduation Program in Mechanical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2019.

The project in question sought to improve a tribological test bench already existing at the Federal Technology University - Paraná. For the conceptualization of the theme a bibliographic review and were described the existing forms of wear, the types of devices and the stages of product development. The structuring of the project followed product development concepts, where all the necessary steps precedent the release for the production of the prototype were detailed. Through a series of analysis, improvement opportunities were proposed and projected for a new equipment concept, seeking better functionality and optimization of the results generated by the tribological tests. It is hoped that the proposed improvements will be implemented in the equipment so that the theoretical teachings and contents transmitted in the classroom can be applied and practiced, helping to fix learning and also encouraging the initiative of students and teachers to produce and apply theory in practice.

Keywords: Tribology. Tribometer. Wear Test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desgaste por Adesão	12
Figura 2 - Desgaste Abrasivo	12
Figura 3 - Ilustração de Desgaste Químico	14
Figura 4 - Esquema de Desgaste por Fadiga	15
Figura 5 - Dispositivo “Pino no Disco”	17
Figura 6 - Dispositivo “Pino no Prato”	19
Figura 7 - Esquema de desenvolvimento de Produto	20
Figura 8 - Modelo de Extensômetro.	22
Figura 9 - Organograma da sequência das etapas.	24
Figura 10 - Dispositivo Atual.	29
Figura 11 - Sistema de fixação de placa com três castanhas.	31
Figura 12 - Sistema Base.	34
Figura 13 - Ilustração do conjunto completo.	35
Figura 14 - Ilustração da placa de castanhas.	36
Figura 15 - Ilustração do Pino.	37
Figura 16 - Vista lateral do dispositivo.	39
Figura 17 - Diagrama de Tensão x Deformação.	40
Figura 19 - Especificações do Motor de Passo (WOTIOM).	42
Figura 20 - Ilustração da placa de controle de rotação.	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 TRIBOLOGIA	10
2.1.1 Desgaste Adesivo	11
2.1.2 Desgaste Abrasivo.....	12
2.1.3 Desgaste Químico	13
2.1.4 Desgaste de Impacto	14
2.1.5 Desgaste por Fadiga.....	14
2.2 ENSAIOS DE DESGASTES	15
2.3 BANCADAS PARA ENSAIOS DE DESGASTE	16
2.3.1 Ensaio “Pino no Disco”	17
2.3.2 Ensaio “Pino no Prato”	18
2.4 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	20
2.5 EXTENSOMETRIA	22
2.6 CONTROLE E AUTOMAÇÃO.....	23
3 METODOLOGIA	24
3.1 PRÉ DESENVOLVIMENTO.....	25
3.2 PROJETO CONCEITUAL.....	25
3.3 PROJETO DETALHADO	26
4 DESENVOLVIMENTO	28
4.1 ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO CONCEITUAL	29
4.1.1 Sistema Base.....	30
4.1.2 Sistema de Fixação da Amostra	30
4.1.3 Sistema de Contracorpo	31
4.1.4 Sistema de Aplicação de Carga.....	32
4.1.5 Sensores	32
4.1.6 Motor.....	32
4.1.7 Sistema de Controle da Rotação	33
4.2 ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO DETALHADO.....	33
4.2.1 Sistema Base.....	34
4.2.2 Sistema de Fixação da Amostra	36
4.2.3 Sistema de Contracorpo	36
4.2.4 Sistema de Aplicação de Carga.....	38
4.2.5 Sensores	39
4.2.6 Motor.....	41
4.2.7 Sistema de Controle de Rotação	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS	46

ANEXO A - Desenhos Técnicos dos Componentes do Equipamento 48

1 INTRODUÇÃO

A Tribologia agrega conhecimentos de diversas áreas de estudo, entre elas está a física, química, mecânica e as ciências dos materiais com a finalidade de explicar e prever comportamentos e sistemas físicos que são aplicados em sistemas mecânicos. De um modo geral, engloba o conhecimento de fenômenos de lubrificação, atrito e desgaste de materiais (RADI; et al., 2007).

Para avaliação destes fenômenos faz-se o uso de tribômetros, que são instrumentos, geralmente instalados em mesas ou bancadas e utilizados em laboratórios da área de tecnologia dos materiais, empregados para experimentos tribológicos em uma gama diversa de materiais sob variadas cargas normais, temperaturas entre outras condições. Nos testes realizados por esses dispositivos, possibilitam-se caracterizar os coeficientes de fricção, forças friccionais e as taxas de desgaste entre dois materiais. Os instrumentos podem simular variados tipos de desgastes nas amostras devido às diferentes direções de teste: unidirecional, bidirecional e omnidirecional, como também as velocidades, as cargas e a atmosfera podem ser configuradas.

Os dispositivos tribológicos podem ter duas maneiras de funcionamento, uma com o movimento circular da amostra e outra com o movimento unidirecional. Quando realizados os testes, ambos proporcionam a obtenção dos dados das grandezas envolvidas ao desgaste dos materiais.

O presente trabalho visou apresentar melhorias em um dispositivo para a realização de teste na área da tribologia, existente no laboratório de tecnologia de materiais da universidade (UTFPR) do estilo “pin-on-disk”, ou seja, um pino em contato a um disco giratório, que ainda não apresenta condições ideais para atender as necessidades acadêmicas. Esse projeto buscou aprimorar o funcionamento do dispositivo para que os experimentos realizados por discentes e docentes apresentem resultados mais consistentes e com maior precisão. Um fator que influenciou para a iniciativa deste projeto foi a dificuldade da compra de dispositivos mais sofisticados e atualizados para o uso dentro dos laboratórios. Portanto, buscou-se também melhorar o dispositivo com baixo custo, aproveitando os recursos fornecidos pela instituição de ensino da melhor maneira possível.

A realização da montagem do tribômetro exige um planejamento para o desenvolvimento do produto, desde a preparação estratégica do projeto, “isto é,

definição das atividades, prazos e recursos necessários” (ROZENFELD et al., 2006, p. 119), até chegar ao lançamento do produto. Com o dispositivo pronto, tem-se como possibilidade realizar os testes nos materiais e assim determinar propriedades físicas e mecânicas de diversas amostras.

O produto final permite que alunos e professores possam desfrutar do seu uso durante aulas, pesquisas e projetos científicos, pois experiências práticas muito auxiliam no aprendizado, pelo fato de o estudante ver o conteúdo teórico dado em sala de aula ser devidamente aplicado. A utilização de um produto desenvolvido e aprimorado na própria universidade pode também motivar outros estudantes a desenvolver novos dispositivos didáticos que agreguem valor ao curso e ao aluno.

O presente trabalho estruturou-se de maneira linear, a partir de pesquisas bibliográficas na internet e em trabalhos sugeridos pelo orientador, apresentando primeiramente a conceituação do processo do desenvolvimento de produtos, desde a concepção de ideias de melhoria até a entrega do produto pronto. Na sequência, como ocorre o desenvolvimento do dispositivo, através do planejamento e execução de tarefas com o auxílio de ferramentas técnicas para cada etapa do processo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fim de facilitar a compreensão do projeto proposto, este tópico traz informações básicas necessárias para o entendimento do tema abordado. O capítulo contém conceitos a respeito da Tribologia, ensaios tribológicos, tipos de bancadas para ensaios de desgaste e as principais ferramentas para o planejamento e desenvolvimento do produto.

2.1 TRIBOLOGIA

O termo tribologia vem do grego, Tribo – esfregar e Logia – estudo, e o sentido literal se dá como “a ciência dos atritos”. Outros termos podem ser usados como, ciência do desgaste, da fricção e da lubrificação, sendo o último menos usado. “Tribologia é a arte de aplicação de análises operacionais a problemas de grande significância econômica, como, confiabilidade, manutenção e desgaste de equipamentos técnicos” tradução do autor (BHUSHAN, 2013, p. 1). Esse tema é bem antigo, pois desde os nossos ancestrais ele se faz presente, como nos métodos friccionais de fazer fogo, moer alimentos, maneiras de se reduzir o atrito, como rodas, bolas, rolos, tudo isso já envolvia os conhecimentos do campo da tribologia (BHUSHAN, 2013, p. 1).

No decorrer da história, a tribologia foi evoluindo, através de experiências e estudos e por volta do século XV, acredita-se que Leonardo da Vinci desenvolveu teorias a respeito de algumas leis básicas da fricção e a proporcionalidade entre forças normais e forças de atrito limitantes. Tal estudo foi baseado em um bloco que deslizava sobre uma superfície plana. Já no século XIX, com Osbourne Reynolds houve um grande reconhecimento da área da tribologia devido a um artigo publicado sobre lubrificação hidrodinâmica, quando provou que as pressões hidrodinâmicas dos líquidos que fluem entre duas superfícies deslizantes podem prevenir o contato entre ambas as superfícies. Portanto, após o estudo de Reynolds, abriu a possibilidade para maior desenvolvimento de estudos da área até aos dias de hoje (BHUSHAN, 2002, p. 3; STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005, p. 1).

A contribuição de Reynolds representa as relações das superfícies interativas em movimento relativo e é ligado diretamente com a economia, referente aos desgastes dos materiais, que representam grande causa de desperdício de material e perda de performances mecânicas. A fricção resulta em boa parcela da geração de dissipação de energia e desgaste. Portanto, as mínimas reduções nesses aspectos podem gerar resultados positivos na economia. As aplicações são muito abrangentes, que vão do mais complexo até itens comuns em nosso dia a dia, como: aeronaves espaciais e eletrodomésticos (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005, p. 2).

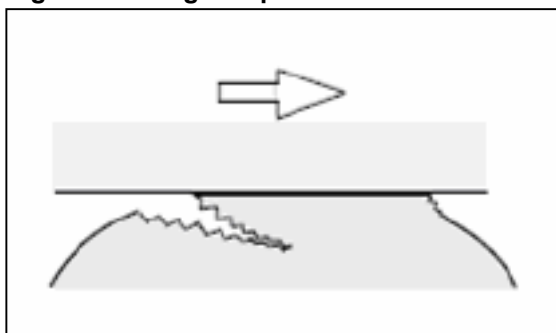
Como o desgaste e a fricção afetam inúmeras atividades no dia a dia, é importante identificar os possíveis tipos de desgastes que são encontrados nas superfícies em contato. Deve-se salientar que não são propriedades mecânicas dos materiais, e sim uma resposta do conjunto em atividade.

2.1.1 Desgaste Adesivo

Os desgastes adesivos ocorrem quando corpos sólidos e planos deslizam em contato, como observado na Figura 1, e acontece a adesão das superfícies, ou seja, pode haver pontos em que os corpos se unem e o processo de deslizamento contínuo possibilita a ruptura de partículas dos materiais (BHUSHAN, 2013, p. 316).

Este tipo de desgaste “é caracterizado por altas taxas de desgaste e coeficientes de fricção bem instáveis” (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005, p. 533.), pode ser encontrado em combinações de diferentes materiais, como: metal-metal, metal-polímero, metal-cerâmico, polímero-polímero e cerâmico-cerâmico, cada uma com sua devida característica (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005, p. 533).

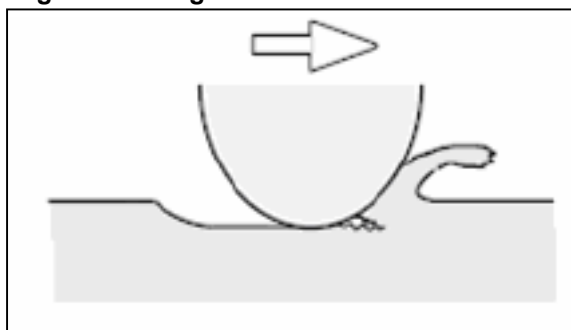
Consequências indesejáveis podem acontecer devido ao desgaste adesivo, desde o aumento das taxas de desgaste até os danos superficiais causados nos materiais, mas existem métodos simples para se reduzir esses indicativos, através do uso de lubrificantes, seleção de materiais deslizantes e até impurezas ou camadas de contaminantes óxidos podem atuar na redução de desgaste adesivo (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005, p. 548).

Figura 1 - Desgaste por Adesão

Fonte: RADl; et al. (2007)

2.1.2 Desgaste Abrasivo

A sua ocorrência é gerada no deslizamento entre dois corpos, sendo que um deles possui uma superfície com característica dura e áspera, enquanto o outro é mais suave, mostrado na Figura 2. E quando os materiais entram em contato, ocorre deformação plástica ou até mesmo fraturas (BHUSHAN, 2013, p. 328).

Figura 2 - Desgaste Abrasivo

Fonte: RADl; et al. (2007)

Existem diferentes tipos de mecanismos que promovem esse tipo de desgaste e já foi pensado que o desgaste abrasivo se assemelhava ao método de corte por uma série de ferramentas, porém através de análises microscópicas mostrou-se que o corte é somente uma aproximação, mas também pode ser resultado de outros mecanismos, como: fratura, fadiga e remoção de grãos (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005, p. 483).

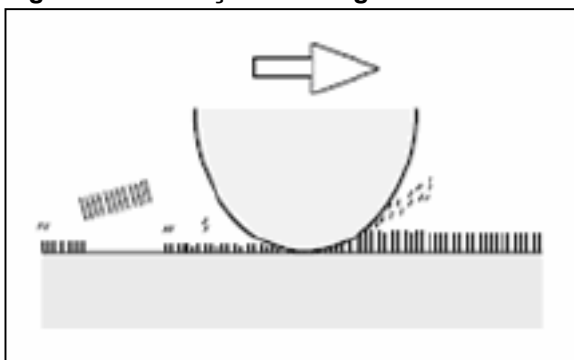
Alguns fatores podem ser considerados quando se trata de desgaste abrasivo, pois existe a influência da temperatura ambiente, que afeta algumas propriedades mecânicas dos materiais envolvidos; a umidade que geralmente proporciona um

aumento das taxas de desgaste e a introdução de agentes corrosivos tornando o desgaste corrosivo-abrasivo (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005, p. 506).

O controle do desgaste abrasivo é bastante estudado a fim de minimizar as perdas envolvidas, pois causam gastos com os maiores custos para as indústrias. Um método básico é baseado em aumentar a dureza da superfície desgastada até que seu valor atinja pelo menos oitenta por cento da dureza da partícula desgastante. Outra maneira é a utilização de revestimentos superficiais nos materiais, como por exemplo a utilização de Carbonetos de Tungstênio, porém pode haver complicações com essas medidas de prevenção, pois surgem alterações em outras propriedades, tornando o material frágil e quebradiço, ou ainda dificultando a realização de alguns processos de fabricação, como usinagem e soldagem (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005, p. 507).

2.1.3 Desgaste Químico

O desgaste químico também pode ser chamado de corrosão e esse tipo de desgaste ocorre quando o deslizamento dos materiais acontece em uma atmosfera corrosiva, ou seja, onde há a presença de elementos químicos que acelerem o processo do desgaste gerado pelo contato entre as superfícies, como mostra a Figura 3. Pode ser de origem química, onde se tem o ambiente altamente corrosivo, com altas temperaturas e umidades. A outra maneira é uma interação eletroquímica, que consiste na corrosão acompanhada de uma passagem de corrente elétrica. Neste caso, uma superfície é considerada o ânodo (negativa) e a outra o cátodo (positiva) (BHUSHAN, 2013, p. 359).

Figura 3 - Ilustração de Desgaste Químico

Fonte: RADI; et al. (2007)

2.1.4 Desgaste de Impacto

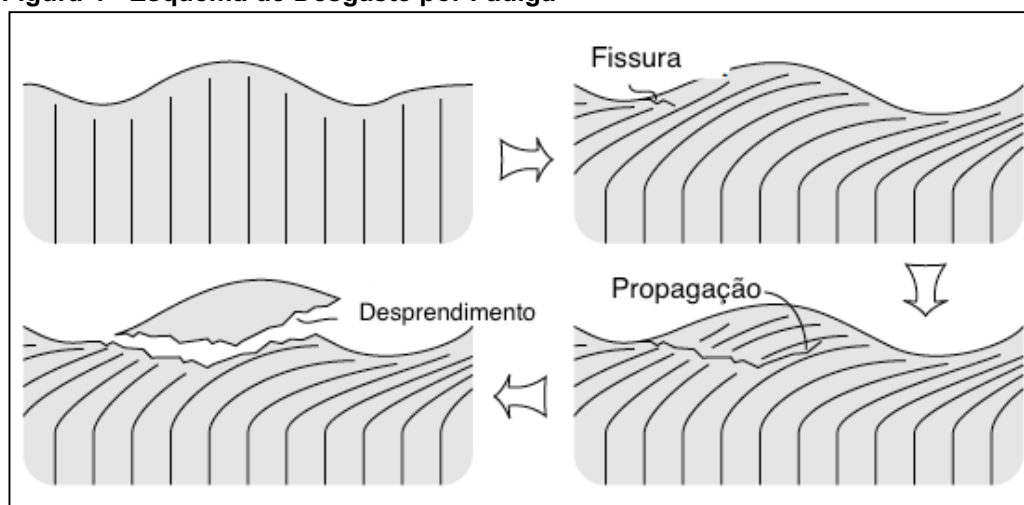
Têm-se dois principais tipos de desgaste dentro desse grupo: Erosão e Percussão. A erosão pode ser gerada através de jatos de partículas sólidas e líquidas, e também por cavitação. Já a percussão ocorre a partir de repetidos impactos de corpos sólidos. Os impactos geram a perda de materiais (BHUSHAN, 2013, p. 349).

2.1.5 Desgaste por Fadiga

O desgaste por fadiga acontece quando dois materiais estão em contato e possuem locais com altos níveis de tensão superficial e são submetidos a uma série de grandes repetições de movimentos de deslizamento ou rolamento, gerando detritos que são provenientes de rachaduras propagados por fadiga (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005, p. 571).

Na Figura 4 é ilustrado como os materiais que são submetidos a esses movimentos repetitivos demonstram a formação de tensões superficiais, que vão sendo transmitidas para as camadas mais interiores do material, podendo causar deformações plásticas ou até mesmo rachaduras e desprendimento de material. Geralmente surgem primeiramente as pequenas fissuras na superfície e na sequência vão surgindo as propagações para o interior. Quando a fissura inicial encontra com uma rachadura interna já existente, leva ao possível desprendimento de material (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005, p. 572).

Figura 4 - Esquema de Desgaste por Fadiga



Fonte: STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005.

A realização do controle do desgaste por fadiga é diminuir os valores dos coeficientes de fricção entre duas superfícies de contato, assim evitando que as forças de tração não provoquem delaminações e fadigas por contato. Materiais com imperfeições superficiais ou inclusões são mais suscetíveis à formação de falhas por fadiga, pois essas condições aumentam as chances de propagação de trincas e fissuras (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005, p. 589).

2.2 ENSAIOS DE DESGASTES

De acordo com o guia padrão da ASTM para testes de desgaste, este é um fenômeno complexo de ser estudado devido às variáveis envolvidas, tais como: movimentações, cargas, geometria, materiais dos corpos de prova, acelerações e atmosfera. Os materiais podem se desgastar por diferentes mecanismos em diversas situações. Esse grupo que engloba todas as grandezas e partes referentes ao teste é chamado de Tribossistema, portanto quando se refere ao teste de desgaste é fundamental fazer a análise ou simulação geral do tribossistema (Norma ASTM G 190, 2006).

A simulação, ou teste por se dizer, assegura que o comportamento dos materiais sejam o mesmo nos testes e em suas devidas aplicações. Os corpos de prova avaliados podem ser analisados a partir da morfologia apresentada nas

amostras e também dos detritos produzidos, através de métodos comparativos a fim de validar ou não os resultados. Devido à complexidade dos comportamentos de desgaste existente, é recomendado realizar várias vezes o teste para se ter maior confiabilidade nos resultados (Norma ASTM G 190, 2006).

Em experimentos realizados para se determinar o desgaste por deslizamento dos materiais, é necessário ter um aparato que contenha duas amostras: o pino e a base, que pode ter uma geometria circular ou quadrangular. O pino tem a função de deslizar sobre a base, sob a ação de uma carga normal variável sobre ele. Os resultados obtidos a partir desse teste são encontrados através das perdas de volume da base e do pino separadamente. Para isso se deve ter o controle dos volumes das amostras antes e depois da execução dos testes. Há possibilidade de determinar outras propriedades mecânicas, como: o coeficiente estático de fricção e o coeficiente cinético de fricção (Norma ASTM G 99, 2000; Norma ASTM G 133, 2005).

Parte importante na execução do teste é a preparação das amostras e tanto o pino quanto a base devem ter dimensões especificadas, pois precisam suportar os carregamentos impostos pelas cargas sem que ocorra a falha dos corpos de prova. O acabamento superficial dos espécimes exige cuidado na preparação, pois as superfícies devem ser polidas para que não ocorram interferências nos resultados, portanto os corpos passam por uma lavagem e secagem antes e após a fixação dos mesmos no dispositivo. Quanto ao uso de lubrificantes, varia de acordo com o objetivo principal de quem está realizando o teste (Norma ASTM G 99, 2000; Norma ASTM G 133, 2005).

2.3 BANCADAS PARA ENSAIOS DE DESGASTE

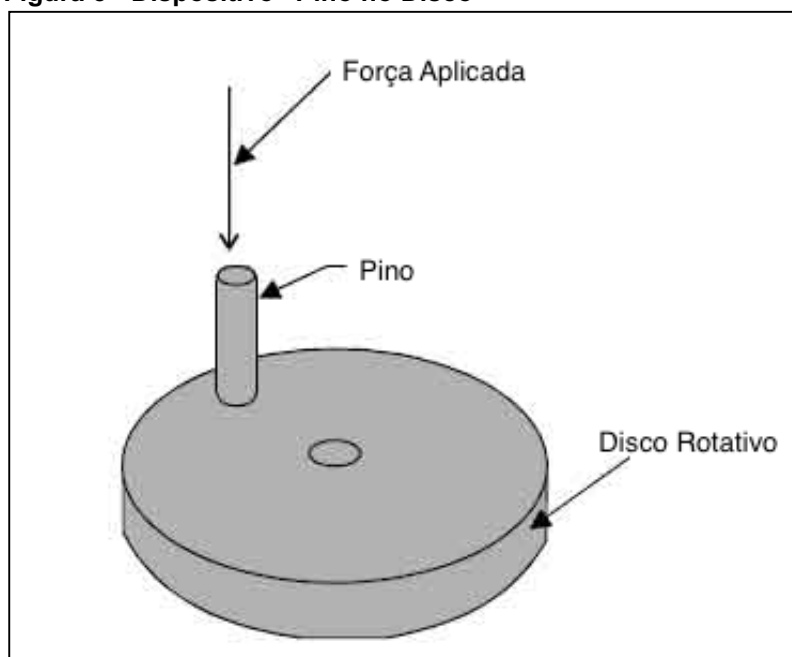
Geralmente os aparatos para esse tipo de desgaste que vão ser estudados no trabalho são compostos de um suporte que segura o pino, que vai em contato com a amostra da base e no mesmo suporte há o controle das cargas, que podem ser submetidas aos testes. Estes dispositivos podem ser classificados de duas maneiras: pino no disco e pino no prato. “Em geral, o aparato de teste deve ser projetado com suficiente robustez e precisão para promover condições estáveis de desgaste e que possam ser reproduzidas” (Norma ASTM G 190, 2006). É interessante que o dispositivo esteja localizado em uma mesa ou bancada, que evite vibrações e

interferências externas a fim de preservar a integridade dos resultados (Norma ASTM G 190, 2006).

2.3.1 Ensaio “Pino no Disco”

O ensaio “pino no disco” tipicamente consiste num suporte com fuso giratório para o disco e um braço que segura o pino e as cargas normais submetidas no sistema, como ilustra a Figura 5. O percurso do desgaste gerado no disco é circular e é realizado através de consecutivos passes do pino no disco. O dispositivo pode conter um sistema de medição das forças de fricção, através de células de força, assim possibilitando a determinação do coeficiente de fricção (Norma ASTM G 99, 2000).

Figura 5 - Dispositivo “Pino no Disco”



Fonte: WINDARTA; FUAD, 2011.

O motor do dispositivo tem a função de movimentar o disco giratório e é capaz de manter as velocidades de testes constantes, com rotações que geralmente variam de 60 a 600 rotações por minuto (rpm). É importante que a vibração do motor seja isolada do sistema, pois pode afetar a precisão dos resultados (Norma ASTM G 99, 2000).

O braço deve segurar o pino perpendicularmente ao disco de maneira firme para evitar deslocamentos devido às vibrações durante o teste. E também possibilitar que cargas sejam aplicadas sobre o pino (Norma ASTM G 99, 2000).

O sistema de medição dos desgastes tem uma balança de alta precisão para o cálculo do volume desgastado e um aparelho que possibilita medir os desgastes nas amostras tanto no pino quanto no disco, separadamente (Norma ASTM G 99, 2000).

Alguns parâmetros importantes que devem ser controlados durante o teste são: o valor da carga normal aplicada (em Newtons); a velocidade relativa de deslizamento entre as superfícies de contato (em metro por segundo); a distância acumulada de deslizamento (em metros); temperatura dos corpos de prova em locais próximos ao contato de desgaste e a atmosfera em que o teste está sendo submetido (Norma ASTM G 99, 2000).

2.3.2 Ensaio “Pino no Prato”

Existem duas possibilidades para a execução do teste: em uma, o prato se mantém fixo e o pino que realiza o movimento linear de vai e vem e na outra o pino é fixo e o prato que se movimenta, conforme Figura 6. Todos os componentes devem ser bem fixados com suficiente rigidez a fim de preservar a integridade dos resultados gerados nos testes. Por exemplo, o pino deve ser bem ajustado para que em sua movimentação ele não se incline; já o prato necessita de boa fixação para não ocorrer deslizamentos indesejáveis e a flambagem do mesmo (Norma ASTM G 133, 2005).

Figura 6 - Dispositivo “Pino no Prato”

Fonte: Adaptado de (CASTRO NEVES; et al, 2013).

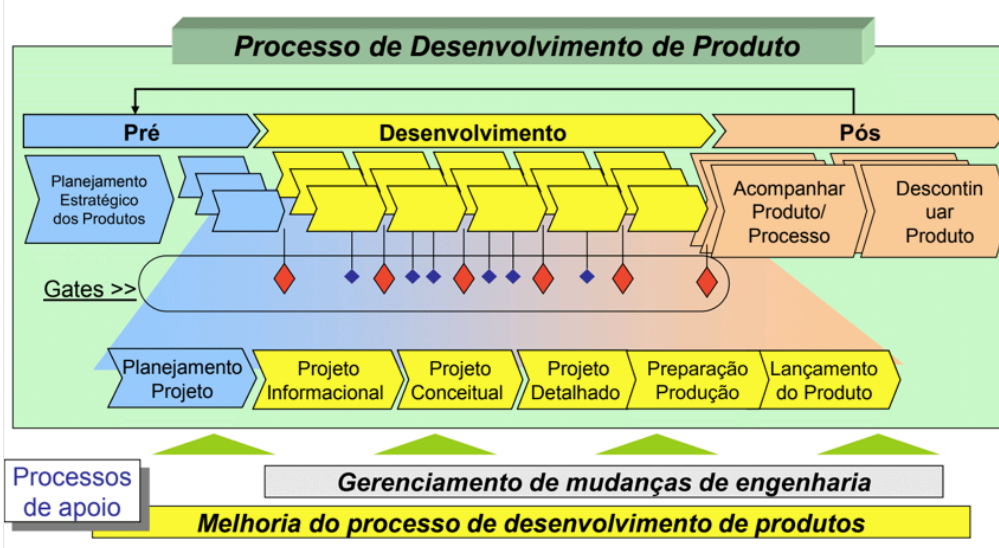
É importante que o dispositivo sempre esteja bem calibrado, portanto elementos como, o sistema de carregamento, o sistema de deslocamento e o sensor das forças de fricção necessitam ser checados periodicamente (Norma ASTM G 133, 2005).

No relatório do teste em questão, é importante que qualquer aspecto incomum, como: barulhos, vibrações, fricções incomuns sejam percebidas, pois podem afetar a precisão dos resultados. Devem-se relatar também os tipos de materiais que estão sendo utilizados no teste, como também se há presença de tratamentos térmicos, tratamentos superficiais, rugosidade entre outros, além de todos os parâmetros envolvidos no experimento: força normal, comprimento do curso de desgaste, diâmetro da ponta do pino, duração do teste, frequência de oscilação do teste, umidade relativa do ambiente, temperatura, com ou sem a presença de lubrificantes, volume de desgaste para ambos os espécimes, os tipos das marcas de desgaste e se houve ou não a formação de detritos (Norma ASTM G 133, 2005).

2.4 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

O desenvolvimento de produto ocorre através de realizações de atividades que, na medida em que vão sendo aprovadas, vão avançando até chegar na produção e lançamento, como mostra a Figura 7. Tais atividades podem ser divididas em quatro etapas gerais: Ideias preliminares, especificações, configurações e a produção. Inicia-se com a exploração de algumas ideias para o produto, as especificações do projeto e seleção do melhor conceito. Com o conceito selecionado, definem-se configurações e exigências para o produto e na última etapa todas as atividades são voltadas para a produção do produto, como: desenhos, fabricação do protótipo e por fim a produção e lançamento no mercado (BAXTER, 2011, p. 35).

Figura 7 - Esquema de desenvolvimento de Produto



Fonte: ROZENFELD et al., 2006.

O projeto do produto precisa atender diversos requisitos, como: adequação de produção, meio ambiente, economia, materiais, fornecedores, tempo disponível, estética entre outros. Portanto, é importante preparar uma metodologia que guie a execução do projeto. O seu detalhamento vai depender da complexidade do problema estudado. Para isso, inicia-se com a definição do problema, passando pela identificação dos aspectos e funções, limitações e exigências existentes, disponibilidade técnica, criatividade na solução de problemas e desenvolvimento de modelos (ROMEIRO FILHO; et al, 2010, p. 29).

As etapas podem ser puladas ou repetidas, dependendo do andamento do processo, tudo isso a fim de otimizar as saídas. Segundo Baxter, “as atividades de projeto não seguem uma linha reta, mas são marcadas por avanços e retornos, pois uma decisão tomada numa determinada etapa pode afetar a alternativa anteriormente adotada” (BAXTER, 2011, p. 36), porém os estágios iniciais são fundamentais no desenvolvimento de produtos e é mais barato fazer modificações em etapas que estão ainda no papel do que em etapas mais avançadas como, em modelos e protótipos (BAXTER, 2011, p. 44).

O escopo do produto é proveniente das primeiras atividades que devem ser executadas no planejamento. Consiste em “uma lista das características e funções que o produto deverá apresentar e que o respectivo projeto deverá criar” (ROZENFELD et al., 2006, p. 159). Na sequência, tem-se o escopo do projeto e seu detalhamento, a descrição de como o produto vai ser obtido. Nessa fase ocorrem muitas revisões e modificações a fim de atender as metas propostas. Se as atividades anteriores forem bem executadas, facilita na definição das sequências de realização das tarefas. Um método que auxilia na gestão do projeto é o uso de *checklists*, pois simplifica a padronização e sequenciamento, e por último a preparação do cronograma do projeto, com datas de início e fim das atividades (ROZENFELD et al., 2006, p. 158).

Após as etapas do pré-desenvolvimento, inicia-se o desenvolvimento, onde se encontra a realização dos projetos conceitual e detalhado que vão levar a produção do produto. No projeto conceitual, todas as especificações do produto devem ser listadas através das funções que o dispositivo deve possuir, para assim buscar soluções e alternativas de como realizar as funções. Seguindo para os desenhos iniciais, criação de modelos, listagem de materiais necessários, até atingir a concepção do produto, que mostra de forma concisa como o produto vai atender todos os requisitos (ROZENFELD et al., 2006, p. 239).

O projeto detalhado é que “dá prosseguimento à fase anterior, e tem como objetivo desenvolver e finalizar todas as especificações do produto, para então serem encaminhados à manufatura” (ROZENFELD et al., 2006, p. 294). Portanto, com todas as especificações definidas, realiza-se o plano de processo que detalha como produzir ou montar o item, todas as sequências de operações, materiais, ferramentas, máquinas e tempos de produção. O conjunto de todas as informações documentadas em cada etapa com as descrições das especificações finais tem como resultado a

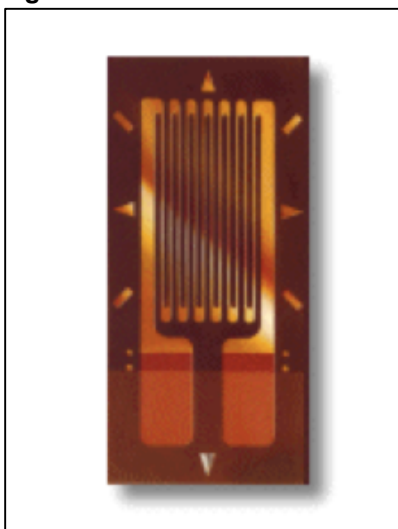
configuração do produto como foi projetado. Para concluir o processo de desenvolvimento, é necessário realizar as etapas de preparação para a produção do produto e lançamento (ROZENFELD et al., 2006, p. 301).

2.5 EXTENSOMETRIA

Os extensômetros de resistência elétrica, conforme mostrado na Figura 8, surgiram nos Estados Unidos com foco nas aplicações automobilísticas, aeronáutica e aeroespacial. Esses dispositivos medidores de deformação, transformam as variações de tensões elétricas em valores de deformação. Isso se tem como base o fato dos materiais metálicos terem sua resistência elétrica modificada quando sofrem alguma deformação (UFSC, 2004).

As vantagens da utilização desses dispositivos são pela alta precisão dos resultados, baixo custo de implementação, facilidade de manipulação e instalação, ruptura em ensaios destrutivos e resistência a altas temperaturas. Tais qualidades possibilitam uma ampla aplicação em projetos de diversas áreas (UFSC, 2004).

Figura 8 - Modelo de Extensômetro.



Fonte: UNESP, 2004.

2.6 CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Para se obter um controle maior e melhor sobre algumas funções do dispositivo, padronização e organização, como o motor e até alguns sensores que podem ser aplicados ao instrumento, é interessante invadir a área da eletrônica e descobrir sobre alguns meios de tecnológicos que possibilitam o aperfeiçoamento de produtos.

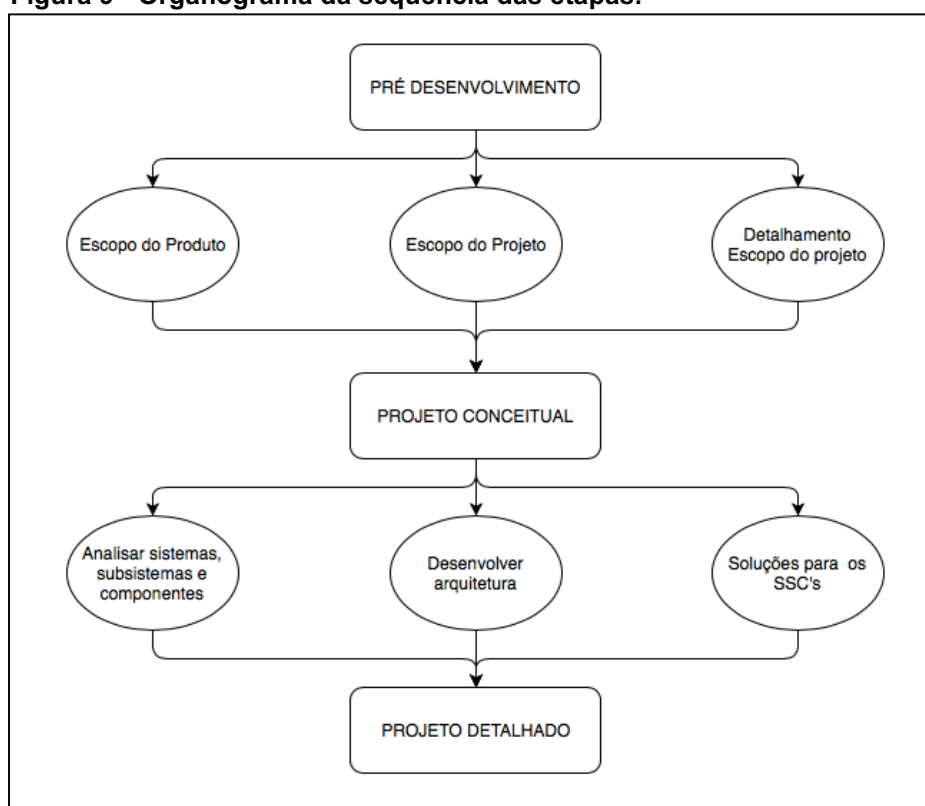
Um exemplo é o Arduino, que é uma plataforma hardware *open source*, que pode ser projetado através de uma linguagem C/C++, permitindo aos usuários desenvolverem projetos com mínimo ou nenhum conhecimento de eletrônica (OLIVEIRA et al., 2015, p. 17).

Para facilitar na didática do desenvolvimento do projeto, é seguido um roteiro de montagem começando pelos materiais e componentes necessários; a montagem do circuito e o diagrama de montagem e por fim a programação que representa o código fonte do projeto e suas explicações (OLIVEIRA et al., 2015, p. 46).

3 METODOLOGIA

Um esquema das atividades que foram desenvolvidas neste trabalho está mostrado na Figura 9. Algumas etapas são: definir escopo do produto e escopo de projeto, detalhar escopo do projeto, definir atividades e sequências, preparar cronograma, orçamento. Após a aprovação das etapas iniciais, foram realizados os projetos conceitual e detalhado.

Figura 9 - Organograma da sequência das etapas.



Fonte: Autoria Própria.

Através de observações do tribômetro já existente e por comparação com dispositivos mais tecnológicos e precisos disponíveis no mercado foi possível uma melhor análise do seu funcionamento no laboratório. Após compreender o funcionamento do dispositivo, identificaram-se oportunidades de melhoria, que poderão levar ao aperfeiçoamento da funcionalidade do dispositivo e à obtenção dos resultados provenientes dos ensaios tribológicos.

3.1 PRÉ DESENVOLVIMENTO

A primeira atividade desta fase consistiu em elaborar o escopo do produto, que são as especificações técnicas que descrevem o conjunto de funcionalidade de desempenho do produto. O produto planejado é uma bancada de ensaios tribológicos no modelo “Pino no Disco”, para possibilitar a realização de testes e gerar resultados coerentes. Alguns parâmetros selecionados que necessitam ser controlados para que o dispositivo tenha um bom desempenho, são: controle das forças que podem ser aplicadas, medição da força de atrito, das distâncias de deslizamento e controle da velocidade relativa entre os componentes do sistema.

Na atividade seguinte, entra a parte do escopo do projeto, que é o conjunto dos trabalhos efetuados para o projeto definitivo do dispositivo, tais como: listas de materiais para a fabricação, modelos e possíveis arquiteturas para o produto, sempre visando atender aos requisitos necessários e formas objetivas de medição e controle do desempenho. Fazer o escopo do projeto é fundamental nesta fase de pré desenvolvimento, pois exerce uma função de guia para as próximas etapas do desenvolvimento (ROZENFELD et al., 2006, p. 163).

3.2 PROJETO CONCEITUAL

No projeto conceitual, tem-se a fragmentação do problema, ou seja, separação do dispositivo em vários itens e análise de cada um a fim de encontrar soluções ideais para cada elemento, sendo que sejam atendidos os requisitos e especificações. Nesse sentido, foi observado o equipamento atual existente no laboratório da Instituição, para classificar os componentes em sistemas e a adicionar novos sistemas buscando melhor funcionalidade.

Como resultado dessa fase, promove-se um esquema para que cada elemento funcional do produto seja arranjado em partes físicas, através de desenhos, esquemas, modelos geométricos entre outros, a fim de se encaminhar para a concepção do produto (ROZENFELD et al., 2006, p. 239).

- Sistema Base: Deve ser projetada com um material rígido o suficiente para que não afete os resultados dos testes com vibrações e deformações.

- Sistema de fixação da amostra: Deverá ser feito num formato que possibilite encaixar o disco e que o mesmo fique firme e nivelado na estrutura para não sofrer deformações quando submetido a forças normais do experimento.
- Sistema Contracorpo: Constituído de uma haste firme e rígida que vai estar constantemente submetida a diferentes forças normais e a revolução do disco, e não pode sofrer deformações e flambagens.
- Sistema de aplicação da carga: O suporte precisa aguentar sem sofrer danos, caso contrário pode comprometer a integridade do teste.
- Sensores: Os sensores precisam ser dimensionados de acordo com a máxima força possível no sistema, pois a aquisição dos dados é referente à força normal e à força de fricção.
- Motor: Um motor capaz de movimentar o disco que vai estar em contato direto com o pino.
- Sistema de controle de rotação: Circuito eletrônico desenvolvido para controlar rotação de um motor com corrente contínua.

3.3 PROJETO DETALHADO

A etapa do projeto detalhado consiste na continuação do conceitual e as montagens dos componentes dentro dos subsistemas e sistemas, e requer várias atividades até atingir a outra etapa que é a liberação para produção (ROZENFELD et al., 2006, p. 294).

Com a determinação dos componentes que já teve início na etapa anterior, a partir de suas características físicas, é necessário encontrar os materiais mais adequados para a fabricação, através da comparação dos materiais da bancada existente e de pesquisa em bibliografias que contemplem a seleção de materiais e suas aplicações. E as atividades seguintes compõem o sequenciamento das operações e descrições de como vão ser executadas.

A representação gráfica de todos os itens com as tolerâncias é feita por meio de softwares de desenho que possibilitam desenvolvimento de projetos 3D de diversas complexidades, como *Solid Edge* da Siemens, pois permite fazer cada componente e depois agrupá-los a fim de constituir o produto final, além do que auxilia

também na simulação tanto do funcionamento do dispositivo, quanto na parte estrutural da bancada e possíveis materiais para sua construção.

4 DESENVOLVIMENTO

Nesta etapa foi realizado o desenvolvimento das etapas descritas anteriormente, portanto, a apresentação das melhorias propostas para o dispositivo, assim como um novo desenho do equipamento e as especificações de cada componente presente no conjunto.

O dispositivo já existente serviu como base para o conceito do novo modelo, cuja estrutura e características podem ser observadas na Figura 10. Portanto, as melhorias propostas surgiram desde os aspectos estruturais até a implementação de tecnologias a fim de promover um maior controle sobre a qualidade do ensaio e dos resultados gerados pelo mesmo.

Na figura 10, podem-se observar alguns componentes presentes no dispositivo atual e que serviram como base para o projeto do novo produto:

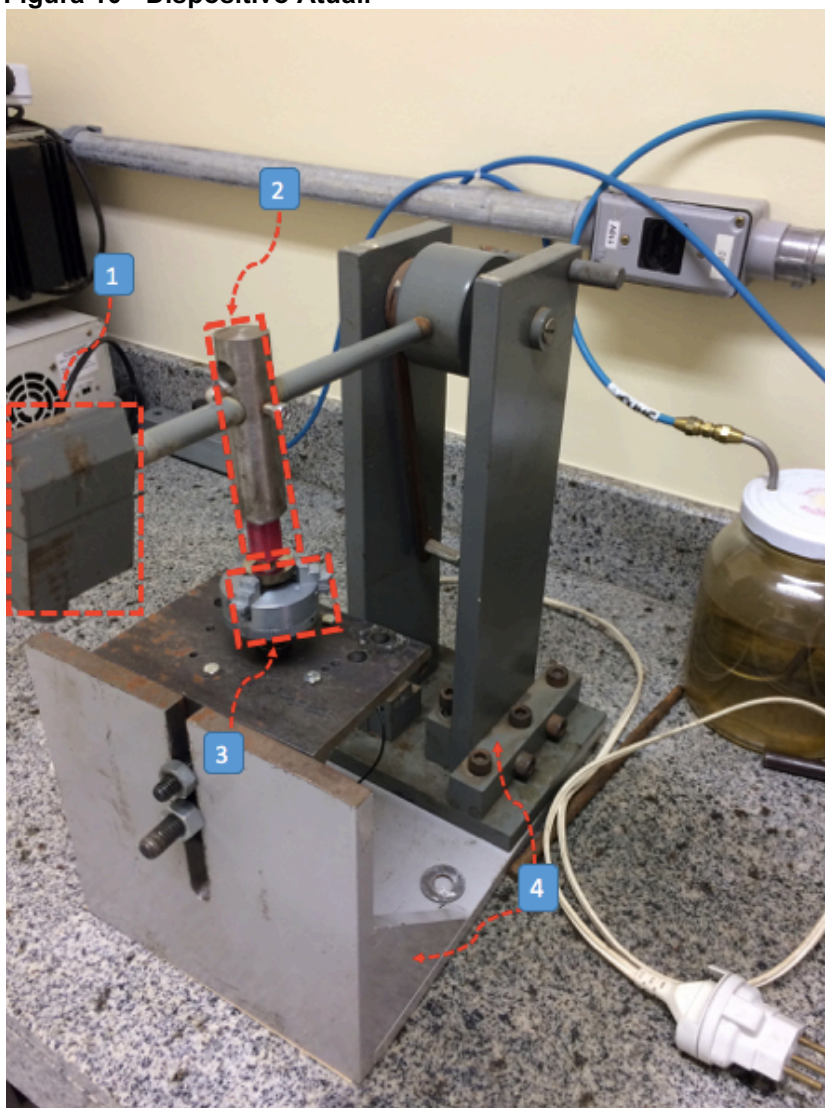
- Item 1: Sistema de Aplicação de Carga consiste em uma massa posicionada na extremidade da haste e o valor desta força consiste na somatória de todos os componentes acoplados à haste, incluindo a própria haste.
- Item 2: Sistema de Contracorpo apresenta o pino com duas regulagens de altura e o formato do furo passante é redondo para o posicionamento do pino na haste.
- Item 3: Sistema de Fixação de Amostra refere-se ao conjunto de placa de castanhas ajustáveis.
- Item 4: Sistema Base é a parte estrutural do dispositivo, onde as partes de material metálica são soldadas e formam a estrutura do equipamento.

O motor é acoplado na região abaixo da placa em que a castanha está posicionada. As regulagens de altura do ensaio são ajustadas de acordo com as duas alturas possíveis em que o pino pode ser posicionado, como também na movimentação da chapa onde o motor e a castanha são fixados.

A estrutura vai em contato direto com a bancada, portanto as vibrações provenientes do ensaio e vibrações de fontes externas podem afetar os resultados dos testes.

Além dos sistemas mencionados acima, foram adicionados novos sistemas a fim de otimizar o funcionamento do dispositivo, tais como: Sensores, Motor e sistema de controle de rotação.

Figura 10 - Dispositivo Atual.



Fonte: Autoria Própria.

4.1 ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO CONCEITUAL

Para um melhor entendimento da sequência do projeto, é interessante realizar um levantamento de informações e necessidades de cada parte referente ao projeto conceitual, iniciando pelas características do sistema base até o sistema de controle de rotação do motor.

4.1.1 Sistema Base

O equipamento é de pequeno porte, feito para ser disposto em mesas e bancadas de laboratórios com dimensões que giram em torno de 30cm x 20cm x 35cm (comprimento x largura x altura).

O sistema base pode ser constituído de um material metálico, pois é necessário que possua propriedades compatíveis para uma estrutura de uma bancada, que suporta a vibração do motor e da revolução do disco e também suporta a massa da carga que é aplicada durante os experimentos.

Alguns requisitos fundamentais na escolha do material estão relacionados à resistência, facilidade de fabricação, disponibilidade do produto no mercado e o preço acessível para a aplicação.

Para permitir o ensaio, tem-se a opção com amostras de diferentes alturas ou até mesmo a adaptação de uma cuba para ensaios com o disco submerso em um reagente químico. Isso possibilita fazer a regulagem de altura para o conjunto da haste do equipamento, fazendo com que a base e a castanha não percam o paralelismo exigido na realização do teste.

A adição de absorvedores de vibração na estrutura base da bancada permite que as vibrações provenientes do motor e do atrito entre o pino e o disco sejam controladas e promovam resultados mais consistentes nos ensaios.

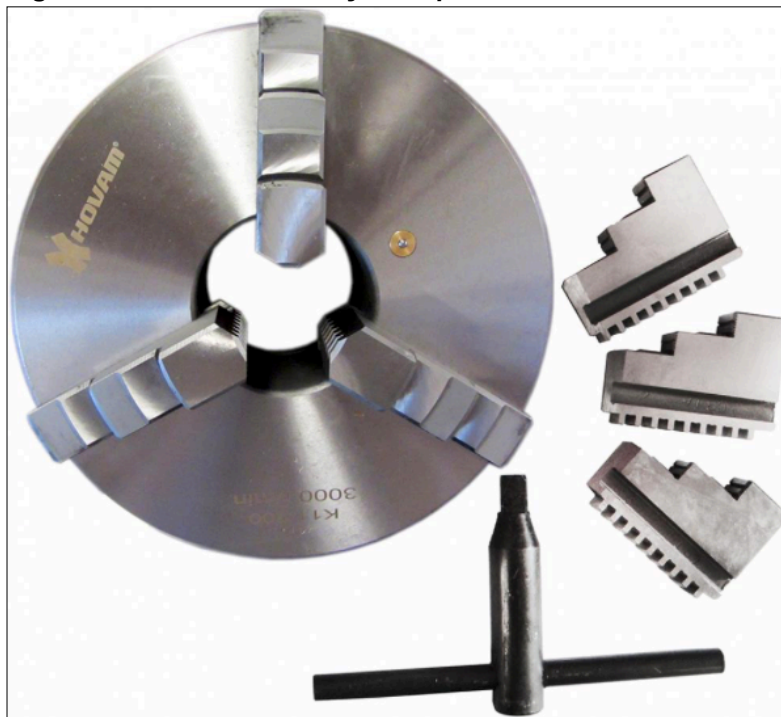
Com a finalidade de preservação estrutural do dispositivo, é importante a adição de reforços estruturais para permitir que as paredes não sofram algum tipo de deformação, assim danificando o equipamento e não gerando resultados conclusivos.

4.1.2 Sistema de Fixação da Amostra

Para a situação estudada neste projeto, foi considerado o disco como amostra, que é avaliada durante os testes. O disco é acoplado na bancada de teste através de um sistema de fixação semelhante ao de um torno mecânico, com uma placa com castanhas ajustáveis, como mostra a Figura 11.

O disco deve se manter seguro e firme durante os ensaios, para que o desgaste ocorra da maneira certa, formando uma trilha circular e homogênea.

Figura 11 - Sistema de fixação de placa com três castanhas.



Fonte: UNIMAQ - Máquinas e Equipamentos.

4.1.3 Sistema de Contracorpo

O sistema de contracorpo consiste no 'pino' do dispositivo, que é acoplado a uma haste com regulagens para a altura, pois como mencionado anteriormente, as dimensões dos discos (amostras) podem variar de tamanho. E uma das restrições para o teste é que o pino deve se manter perpendicularmente em contato com o disco para que não haja interferência nos resultados do teste, devido à forma de contato entre os corpos, distribuição da força e forma do desgaste gerado.

O pino precisa ter capacidade de se locomover em um único sentido, pois assim os testes podem ser realizados em uma gama de amostras com diâmetros variados. Também possibilita ao realizador do teste ajustar a posição do contracorpo e definir o tamanho da trilha que deve ser formada no disco.

Seguindo a orientação normativa (Norma ASTM G 132, 1996), o pino deve se manter fixo, de forma segura, a fim de impedir a deflexão lateral devido à força de arrasto proveniente da rotação do disco.

A esfera deve ser acoplada na ponta do pino, a mesma precisa estar bem fixa para que não gire durante o ensaio.

4.1.4 Sistema de Aplicação de Carga

O sistema de aplicação de carga é parte do conjunto do pino e possibilita a adição de cargas normais sobre o sistema, para que haja as alterações dos parâmetros de força pontual aplicada no tribossistema. As cargas são adicionadas manualmente sob a haste, em formato de pequenos corpos com massa padrão.

Para ter um controle sobre o valor da carga que está sendo aplicada no disco, um sistema de contrapeso deve ser implementado na haste para que o peso do conjunto (pino + haste + corpo de massa) não influencie no resultado do teste, pois dessa maneira a carga total que é aplicada no disco é a somatória dos pesos de cada componente do conjunto.

4.1.5 Sensores

Os sensores utilizados no dispositivo são especificamente para a medição da força que é aplicada nas amostras durante a realização dos testes. Existe uma diversidade de sensores, mas para a aplicação deste projeto é necessário um sensor que possibilite capturar a deformação da haste durante a ocorrência do ensaio, pois essa variação de deformação da haste permite a determinação de parâmetros, como: cálculo da força de atrito e o coeficiente de atrito. Na sequência do trabalho será abordado sobre o modelo de sensor que pode ser utilizado no dispositivo e como os parâmetros podem ser encontrados.

4.1.6 Motor

O motor utilizado nesse dispositivo promove o movimento de revolução do disco, dentro de um intervalo de 6 a 600 rotações por minuto. É um motor de passo de corrente contínua com capacidade de controle por arduinos, respeitando a regulamentação da norma, na qual é exigido que o motor mantenha uma velocidade constante quando submetido à carga do teste (Norma ASTM G 99, 2000).

O motor não pode ter dimensões muito grandes devido à bancada de ensaios tribológicos ser de pequeno porte e o espaço destinado ao motor possui uma altura de 85 milímetros.

4.1.7 Sistema de Controle da Rotação

Um sistema eletrônico possibilita ao realizador do ensaio definir a quantidade de rotação do disco de acordo com o objetivo e características do teste. A implementação desse sistema permite aumentar a precisão dos resultados do teste, pois tem-se o controle da quantidade de potência que o motor está liberando para o disco. Assim um dos parâmetros do teste é conhecido. Na etapa a seguir, será mostrado como é composto o sistema de controle de rotação, bem como sua funcionalidade.

4.2 ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO DETALHADO

Nesta etapa do projeto, foi realizado o detalhamento dos componentes e necessidades levantadas no tópico anterior, assim como as montagens e ajustes necessários na estrutura do equipamento através do software, respeitando as condições impostas para um funcionamento ideal.

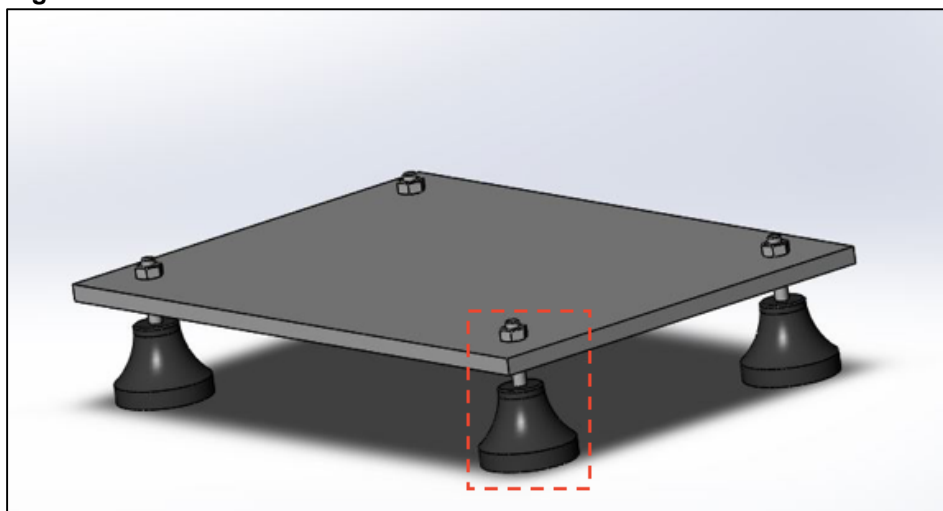
Foram estudadas todas as dimensões dos componentes, para dar um panorama da montagem e se atenderiam as necessidades do projeto. Antes de realizar os desenhos, cada item foi comparado com o dispositivo atual, avaliado e posteriormente desenhado no programa de computador SolidEdge. Após todos os componentes já desenvolvidos neste programa, iniciou-se processo de montagem, onde cada componente é selecionado individualmente e montado no devido lugar. Este ciclo de atividade de identificar, avaliar as variáveis, validar e desenhar é repetido até as características do projeto estarem de acordo e atendendo as necessidades impostas.

4.2.1 Sistema Base

Como material para o sistema base foi escolhido o aço SAE AISI 1045, pois atende as necessidades levantadas no projeto conceitual e de acordo com a norma é um aço fortemente empregado na construção mecânica (NBR 172/2000). Com características referentes a boa resistência mecânica, boa soldabilidade e usinabilidade, pois os componentes são soldados um ao outro a fim de compor a estrutura (CHIAVERINI, 1988, p. 203).

Na figura 12, podem-se observar algumas características específicas da bancada, como por exemplo, a presença de absorvedores de vibração (vibra-stops) na base da estrutura para evitar a propagação de vibrações provenientes do motor e do atrito gerado durante o teste. A estrutura deve ser suficientemente rígida e estável para evitar que as vibrações afetem os resultados dos ensaios (Norma ASTM G 132, 1996).

Figura 12 - Sistema Base.



Fonte: Autoria Própria.

A redução de vibração é um tópico significativo em muitos projetos de engenharia, pois em muitos casos a vibração pode gerar danos e comprometer o funcionamento ideal do equipamento (THOMSON, 1998).

Os controladores de vibração são uma opção para ter o controle desse fenômeno não desejável para a realização dos ensaios, promovendo um bom funcionamento e estabilidade estrutural. As aplicações desses componentes são

vastas, desde uma máquina de lavar roupas até grandes construções como pontes e prédios.

Outra característica que se destaca é a espessura das paredes das chapas presentes na estrutura de 10 milímetros, que é uma espessura padrão encontrada para chapas de aço, cujos componentes são soldados à base e apresentam reforços estruturais para evitar deformações indesejadas. Tais deformações podem afetar nos resultados dos testes, como também na integridade da estrutura.

Há uma regulagem de altura para o conjunto da haste do equipamento para possibilitar ensaios em amostras com diferentes alturas, mantendo o contato entre o pino e o disco, de forma que sempre estejam perpendiculares. Portanto, foi realizado um caminho nas chapas laterais, como é indicado na Figura 13 pelo item 1, possibilitando que o conjunto da haste seja regulado de acordo com a necessidade do realizador do ensaio.

Figura 13 - Ilustração do conjunto completo.



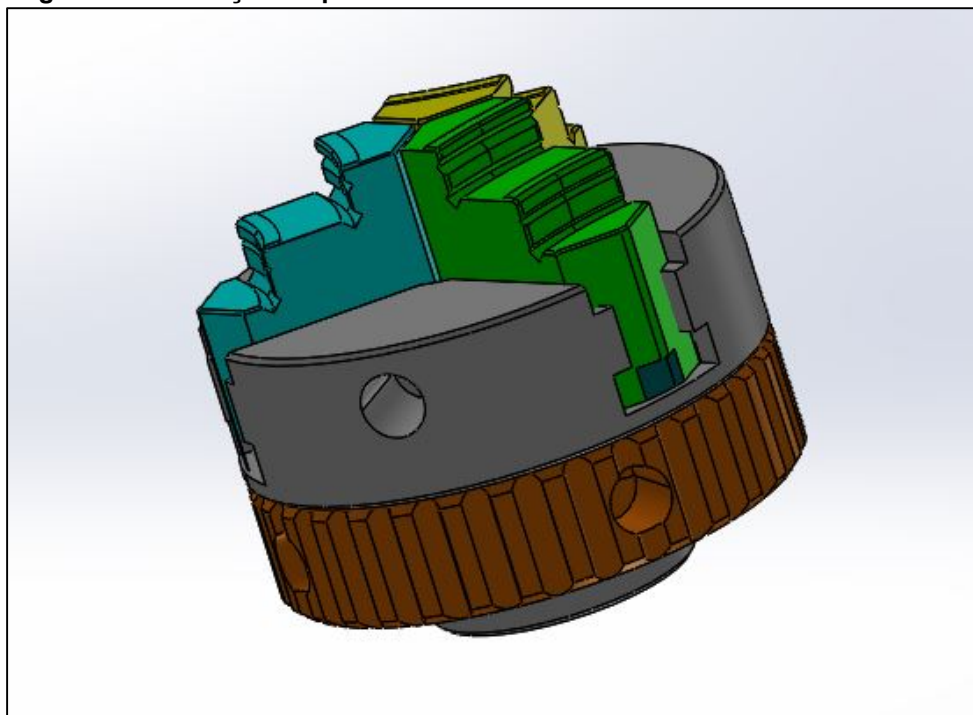
Fonte: Autoria Própria.

4.2.2 Sistema de Fixação da Amostra

A amostra (disco) é fixada na placa de castanhas, onde existem três garras que são ajustáveis de acordo com o diâmetro do disco. A amostra deve ter formato circular, com diâmetro e altura que podem variar de tamanho e ainda a placa de três castanhas, que atende um intervalo de diâmetros de até 52 milímetros.

Na Figura 14, é mostrado o modelo do sistema de fixação, que deve ser acoplado ao eixo do motor para possibilitar o movimento de rotação desejado para o disco. O motor deve ser fixado na estrutura base para permitir que o sistema de fixação esteja bem firme e estável durante o teste. A estabilidade é fundamental para que o desgaste gerado no contato entre os componentes gere um caminho regular e homogêneo.

Figura 14 - Ilustração da placa de castanhas.



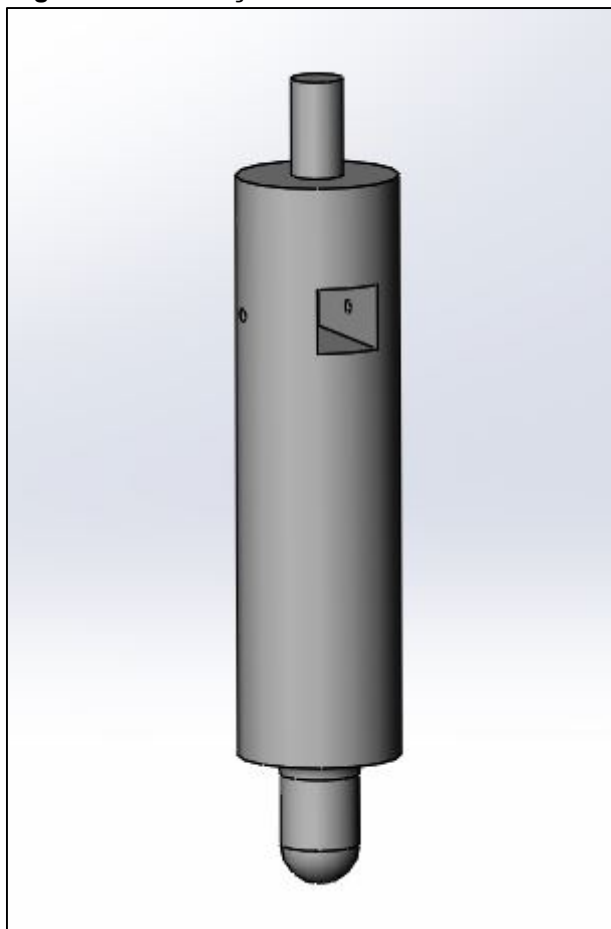
Fonte: Autoria Própria.

4.2.3 Sistema de Contracorpo

Na Figura 15, pode-se observar o suporte para o contracorpo do equipamento, que possui uma altura de 100 mm e um diâmetro de 25 mm. As dimensões de altura e diâmetro foram tomadas como base o modelo utilizado no dispositivo já existente.

Este sistema contém um furo quadrado localizado em sua metade superior (10 mm x 10 mm), que tem por objetivo correr dentro de um eixo quadrado que é acoplado à estrutura do dispositivo, de acordo com uma regulagem.

Figura 15 - Ilustração do Pino.



Fonte: Aatoria Própria.

Seguindo a orientação normativa (Norma ASTM G 132, 1996), o pino deve se manter fixo de forma segura a fim de impedir o deslocamento lateral devido à força de arrasto proveniente da rotação do disco. A haste com seção quadrada foi desenvolvida nesse formato para evitar que o pino se desloque quando submetido ao atrito com o disco. No plano perpendicular ao furo quadrado, há um outro furo passante com 3 mm de diâmetro para que um par de parafusos mantenha o pino fixo na posição desejada.

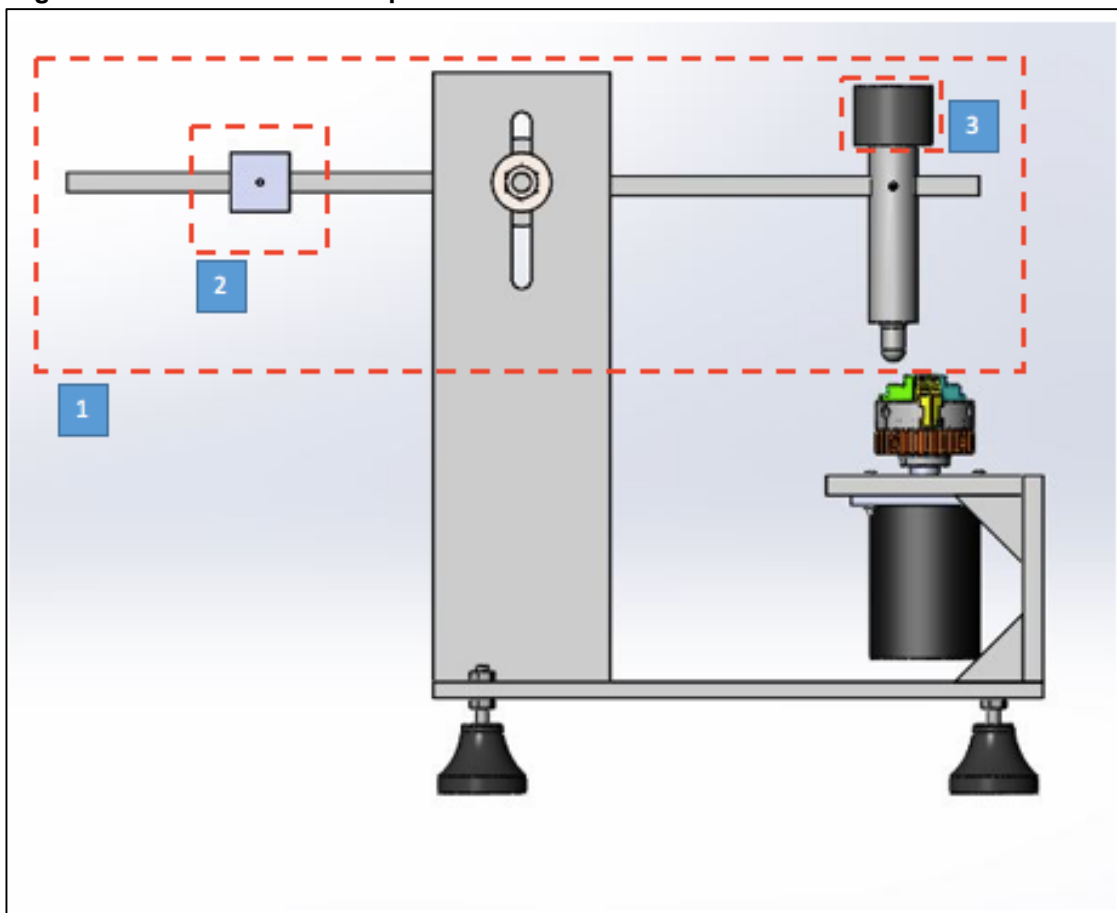
Na parte superior da haste, encontra-se uma escala graduada em milímetros, sendo que o zero é localizado no centro do eixo do motor e castanha de fixação. A

implementação dessa melhoria permite ao realizador do teste executar o experimento, ter o controle do tamanho do raio da trilha formada na amostra.

4.2.4 Sistema de Aplicação de Carga

O desenvolvimento de um sistema de contrapeso para o equipamento possibilita que o conjunto da haste e do pino fiquem em equilíbrio, mas para sair do equilíbrio basta a adição das cargas. O sistema tem como princípio de funcionamento as balanças mecânicas, onde numa haste há o pino que vai em contato com o disco e na outra extremidade um peso que se desloca ao decorrer da haste de seção quadrada, até chegar ao equilíbrio do conjunto.

Na figura 16, podem-se observar as hastes do dispositivo, onde o pino vai em contato com o disco e recebe a aplicação da carga e a outra, voltada ao lado oposto, funciona como contrapeso, conforme itens 1 e 2 indicados na Figura 16. Na mesma figura, ainda é possível perceber um corpo de massa conhecida sob o pino, que se refere à aplicação de carga (item 3 indicado na figura).

Figura 16 - Vista lateral do dispositivo.

Fonte: Autoria Própria.

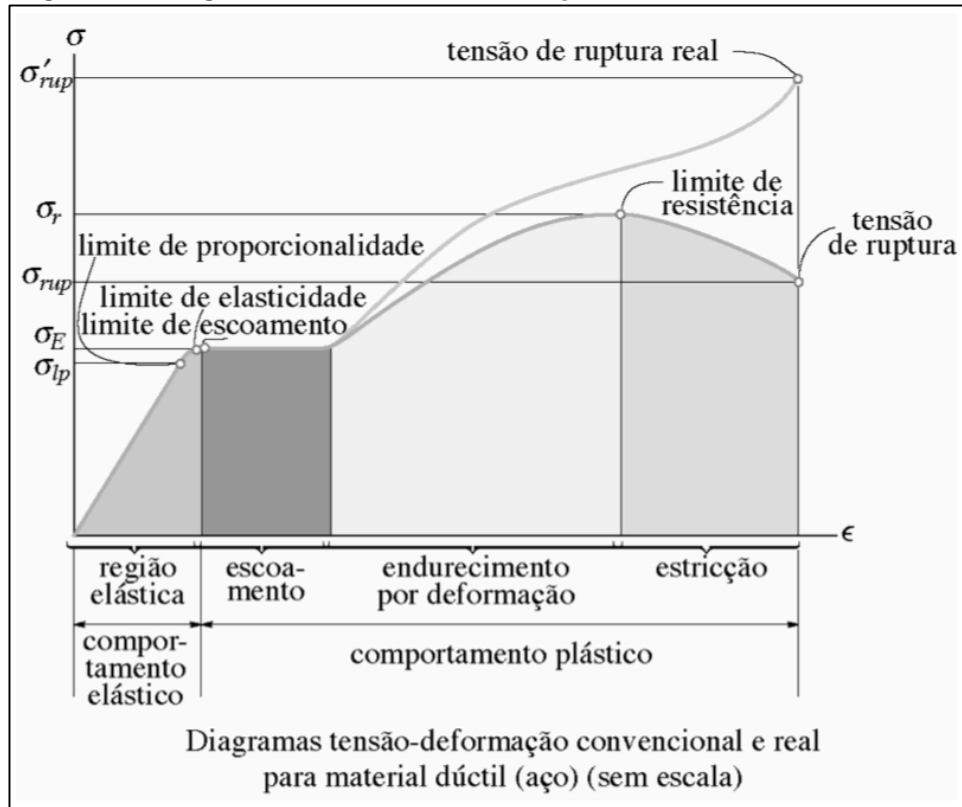
4.2.5 Sensores

A implementação de extensômetros de resistência elétrica, conhecidos como *strain gage*, nas laterais da haste onde o pino é alocado, possibilita a medição da deformação provocada na barra devido à rotação do disco. Os extensômetros funcionam de maneira a interpretar uma variação elétrica e transformá-la em valores de deformações referentes à ação de uma força. Com os dados da deformação gerado pelo sensor, é possível calcular fatores como a força de atrito e coeficiente de atrito do material estudado nos ensaios.

Como o material dos componentes da estrutura são conhecidos, logo informações como módulo de elasticidade e tensões podem ser encontrados em um diagrama de Tensão x Deformação, mostrado na Figura 17, de acordo com a Lei de Hooke, evidenciada na equação 1.

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (\text{Eq. 1})$$

Figura 17 - Diagrama de Tensão x Deformação.



Fonte: HIBBELER, 2010.

A partir do valor de Tensão normal encontrado, é possível calcular a força de atrito gerada no ensaio. Sendo que a tensão normal é o resultado do quociente da força pela área. O valor da área (A) é referente a extensão lateral da haste.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Eq. 2})$$

Para calcular o valor da força de atrito (F), é necessário isolar o valor de F na equação 2, então tem-se:

$$F = \sigma \cdot A \quad (\text{Eq. 3})$$

E para a determinação do coeficiente de atrito do material estudado são utilizados os dados da força de atrito calculada e a força normal aplicada no ensaio, que é a força peso gerada pela adição da carga conhecida no sistema.

$$F_N = m \cdot g \quad (\text{Eq. 4})$$

$$F = \mu \cdot F_N \quad (\text{Eq. 5})$$

4.2.6 Motor

Um motor de passo NEMA 17 mm, que atende a faixa de rotação necessária para os ensaios, possui dimensões ideais para o tamanho do dispositivo, tendo em vista que deve ficar alojado abaixo da placa da estrutura, cujo espaço destinado ao motor do dispositivo é de 85 milímetros, sendo fixado na chapa metálica por parafusos. O motor WOTIOM mostrado na Figura 18 possui dimensões máximas de 40 milímetros de comprimento e 42 milímetros de largura, cujos os dados são fornecidos pelo fabricante. Portanto o sistema base e o motor estão compatíveis fisicamente. Na Figura 18, mostra-se um exemplo de um motor que apresenta compatibilidade para o dispositivo, da marca WOTIOM, que possui baixo índice de manutenção, bom custo-benefício e suas especificações atendem as necessidades do projeto.

Figura 18 - Modelo de Motor de Passo (WOTIOM).



Fonte: WOTIOM.

Na Figura 19, são mostrados os dados técnicos do motor de passo compatível as necessidades do projeto, contendo informações do padrão NEMA 17, torque de retenção e suas características elétricas.

Figura 189 - Especificações do Motor de Passo (WOTIOM).

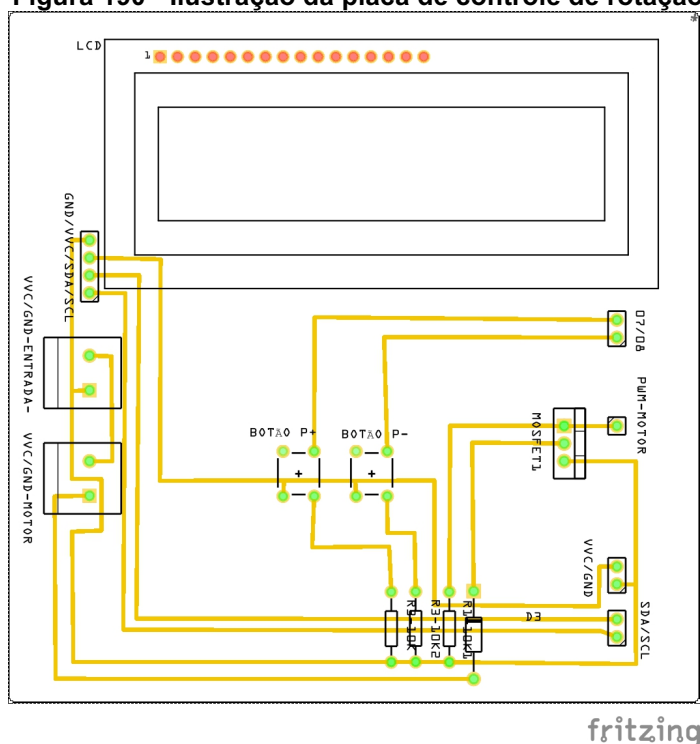
Dados Técnicos	
Padrão	NEMA 17
Ângulo de passo	1.8° ± 5%
Corrente / Fase	0.4A
Tensão / Fase	8.0V
Nº de Fases	2
Resistência	20 ± 10% Ω
Resistência de isolamento	100MΩ (500V DC)
Indutância	35 ± 20% mH
Classe de Isolação	B
Holding Torque	3.5kgf.cm

Fonte: WOTIOM.

4.2.7 Sistema de Controle de Rotação

Para ter o controle da rotação do motor foi desenvolvido um sistema com o auxílio de micro controlador ATmega328P, cujo sistema permite aumentar e diminuir a rotação do disco de acordo com a necessidade e características do teste, assim como ligar e desligar o motor do dispositivo. Primeiramente o sistema foi elaborado e testado através do Software livre denominado FRITZING, como mostra a Figura 20, que permite ao usuário elaborar os sistemas eletrônicos com toda a parte referente à programação e ao funcionamento, customizar e testá-los antes de confeccionar o sistema físico. O software possui uma interface simples, sendo uma alternativa boa e acessível para a implementação desses sistemas de controle e automação em dispositivos e em outros sistemas.

Figura 190 - Ilustração da placa de controle de rotação.



Fonte: Autoria Própria.

A implementação desse sistema permite aumentar a precisão dos resultados do teste, pois tem-se o controle da quantidade de potência que o motor está liberando para o disco, assim um dos parâmetros do teste é conhecido.

Para a montagem do sistema de controle, é necessário o agrupamento de alguns componentes eletrônicos. Os resistores têm a função de limitar a corrente elétrica que alimenta o sistema, para evitar que os componentes do sistema eletrônico não recebam uma tensão ou corrente superior ao limite e assim sejam danificados (OLIVEIRA, 2015, p. 40).

O diodo utilizado no sistema tem como função permitir que a corrente do sistema flua somente em um sentido, assim preservando a integridade do sistema eletrônico, pois em caso da corrente fluir no sentido oposto pode gerar danos a placa, como queimar algum componente (OLIVEIRA, 2015, p. 42).

O transistor, que segundo Oliveira (2015), é um componente semiconductor que atua como uma chave eletrônica e amplificador de sinais elétricos. Para o sistema em questão, é utilizado um do modelo MOSFET, que ajuda no controle do fluxo da corrente elétrica entre entradas e saídas de energia.

Quanto aos botões para controle do sistema, como é um esquema simplificado para fácil entendimento e funcionalidade, contém um botão com função de ligar e desligar e outros dois botões para o aumento e diminuição da potência do motor, assim aumentando ou diminuindo a quantidade de rotações do disco.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido proporcionou um aprendizado significativo na área da ciência dos materiais, ampliando os conhecimentos sobre a tribologia e o desgaste dos materiais, as etapas de desenvolvimento de um produto, bem como a melhoria das habilidades de desenho em computador e eletrônica aplicada.

Elaborar um projeto buscando apresentar melhorias para um dispositivo já existente, além de um embasamento teórico, demandou um estudo do tribômetro em questão para perceber as fragilidades e buscar mecanismos que possibilitassem a utilização efetiva e a obtenção de resultados concretos. Neste contexto, foi possível perceber a importância dos diversos conhecimentos teóricos obtidos durante a graduação, os quais possibilitaram detectar o processo de produção de um produto nas diferentes etapas, ampliando a capacidade de observação e de fazer associação da teoria à prática.

As melhorias projetadas para o dispositivo a ser desenvolvido e utilizado por docentes e discentes no laboratório da UTFPR visaram dar ao produto segurança e funcionalidade, mas também apresentar condições de desenvolver um produto de baixo custo, de acordo com os recursos físicos, materiais, tecnológicos e financeiros da realidade em questão, servindo de incentivo à comunidade acadêmica para desenvolver e aprimorar a cultura do desenvolvimento de produtos, principalmente daqueles que atendem as necessidades existentes. Neste sentido, os objetivos deste projeto foram atingidos, pois foi possível detectar carências e propor melhorias para o dispositivo existente, considerando as condições de recursos disponíveis.

A elaboração deste projeto permitiu perceber que com o desenvolvimento e aprimoramento das áreas da tribologia podem-se encontrar oportunidades para aplicações de diferentes materiais em diversos tipos de projetos. Além de que os ensaios desenvolvidos em tribômetros possibilitam auxiliar na seleção de materiais para aplicação em projetos, pois permitem aos realizadores dos testes obterem informações de características e propriedades dos materiais estudados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Critério de Classificação dos aços, NBR 172/2000. Rio de Janeiro, 2000.

ALVES RADI, P.; et al. Tribologia, conceitos e aplicações. In: XIII ENCITA - 13º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA. São José dos Campos, SP. ITA, 2007.

ASTM G99-00, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000.

ASTM G133-05, Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005.

ASTM G190-06, Standard Guide for Developing and Selecting Wear Tests (Withdrawn 2015), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto**: Guia prático para o design de novos produtos. 3. ed. São Paulo, SP: E. Blücher, 2011.

BHUSHAN, Bharat. **Introduction to tribology**. 2nd ed. Chichester, UK: Wiley, 2013.

CASTRO NEVES, M. G., et al. Design and Fabrication of a Linear Reciprocating Tribometer Using Sensors with Strain-gages. In XXII COBEM – Congresso Internacional de Engenharia Mecânica (COBEM). Ribeirão Preto, SP. 2013.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. São Paulo: ABM, 1988.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

OLIVEIRA, C. L. V. **Arduino descomplicado: como elaborar projetos de eletrônica**. São Paulo: Erica, 2015.

ROMEIRO FILHO, Eduardo (Coord.); et al. **Projeto do produto**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2010.

ROZENFELD, Henrique et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo, SP: Saraiva, 2006.

STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. **Engineering tribology**. 3rd ed. Amsterdam, HO; Boston, MA: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.

STEVAN JUNIOR, S. L. **Automação e instrumentação industrial com Arduino: teoria e projetos**. São Paulo: Erica, 2015.

THOMPSON, W. T.; DAHLEH, M. D. **Theory of vibration with applications**. Prentice-Hall, 1998.

UFSC. Apostila de Extensometria. **GRANTE – Grupo de Análise e Projeto Mecânico**. Julho, 2004. Disponível em: <<http://grante.ufsc.br/download/Extensometria/SG-Apostila.pdf>>. Acesso em: 15 jun 2019.

UNESP. Extensometria Básica. 2004. Disponível em: <<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/extensometria-basica.pdf>>. Acesso em: 15 jun 2019.

UNIMAQ. Máquinas e Equipamentos. Disponível em: <<https://www.unimaq.com.br/produto/placa-universal-hovam200-mm3-castanhas.html>>. Acesso em: 13 maio 2019.

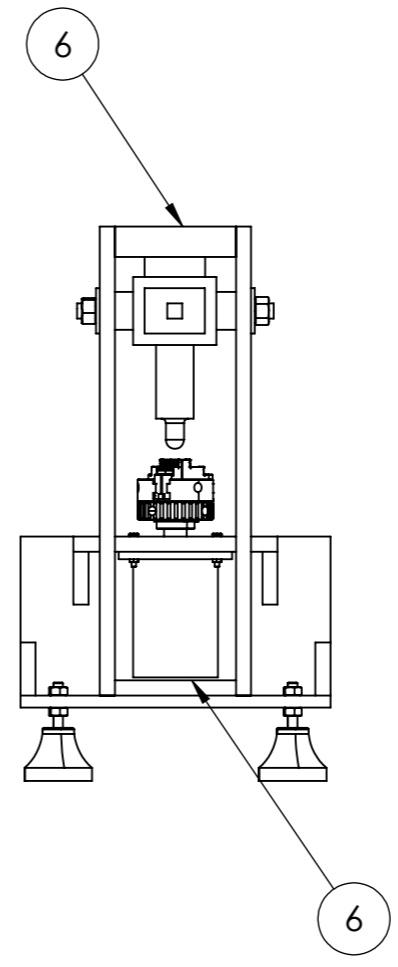
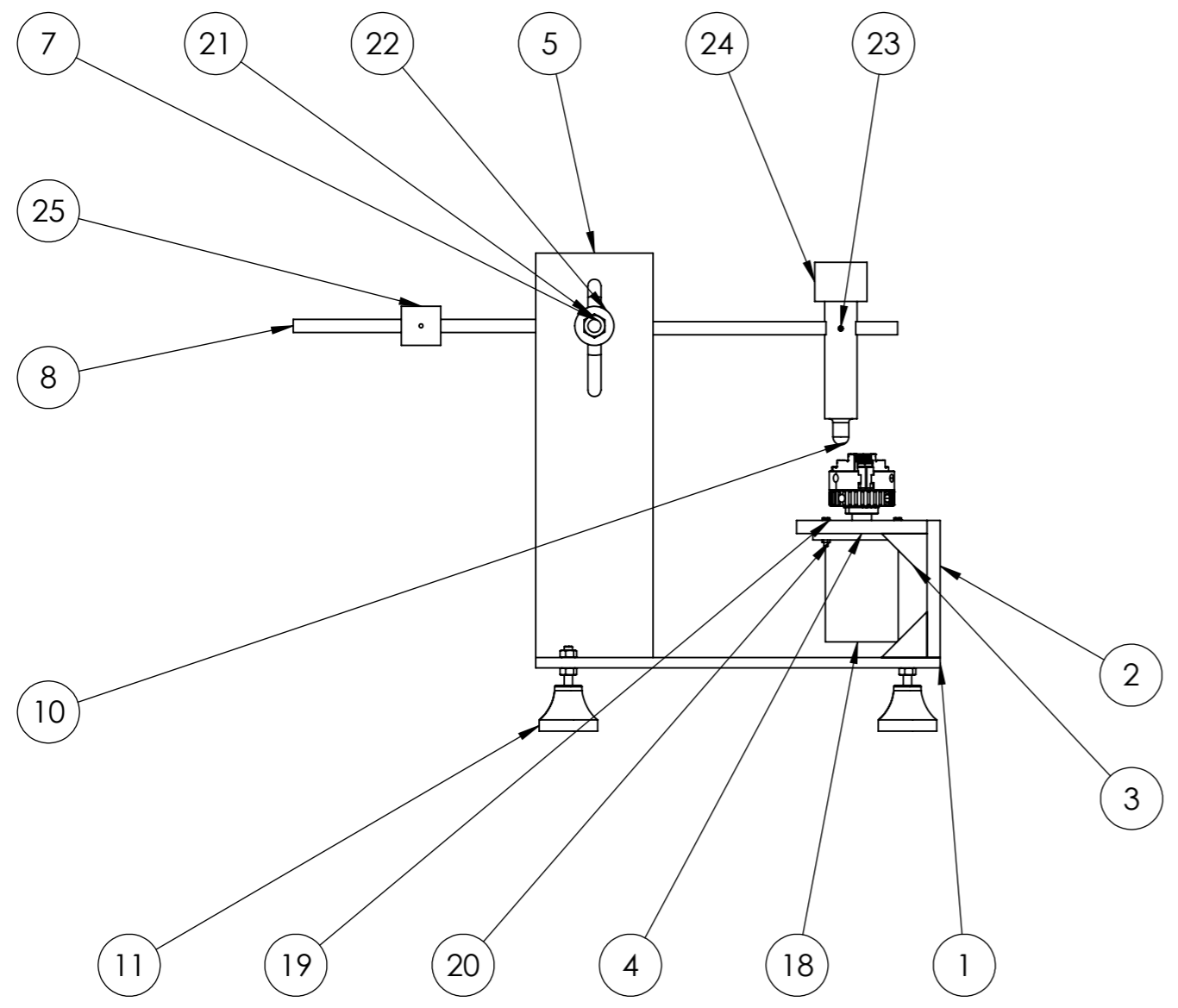
WINDARTA, M. Bin Sudin; FUAD, Khairul. Influence of Applied Load on Wear Characterizations of Rail Material. *Journal of Applied Sciences*. 2011.

WOTIOM. Motor de Passo. Disponível em: <<http://www.wotiom.com/produto/motor-de-passo-nema-17-3-5-kgf-cm-0-4a/>>. Acesso em: 17 maio 2019.

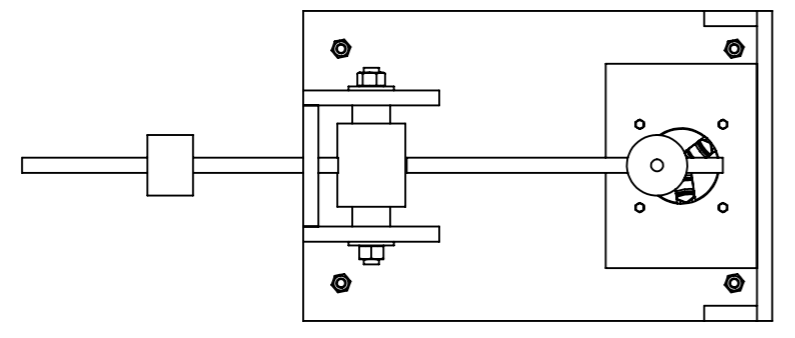
ANEXO A - Desenhos Técnicos dos Componentes do Equipamento

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	BASE	1
2	CHAPA_VERTICAL	1
3	APOIO_TRIANGULO	4
4	CHAPA_CASTANHA	1
5	LATERAL	2
6	APOIO_TRASEIRO	2
7	EIXO_HASTE	1
8	HASTE_2	2
10	PINO_2	1
11	vibra_stop	4
18	MOTOR	1
19	ISO 4014 - M3 x 20 x 12-N	4
20	ISO - 4036 - M3 - N	4
21	ISO - 4033 - M10 - W - N	2
22	Washer ISO 7093 - 10	2
23	ISO 4762 M2 x 10 - 10N	2
24	PESO	1
25	contrapeso	1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
DRAWN			NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:		
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A							MATERIAL:		DWG NO.		
									MOTAGEM CONJUNTO		
							WEIGHT:		SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

A

A

25.00

25.00

310.00

Ø 6.36

205.00

8.00

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.		A4	
								1 - BASE			
						WEIGHT:		SCALE:1:4		SHEET 1 OF 1	

4

3

2

1

F

F

205.00

E

E

105.00

D

D

C

C

10.00

B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME

SIGNATURE

DATE

TITLE:

DRAWN

CHK'D

APPV'D

MFG

Q.A

MATERIAL:

DWG NO.

2 - CHAPA VERTICAL ⁴

WEIGHT:

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

A

A

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

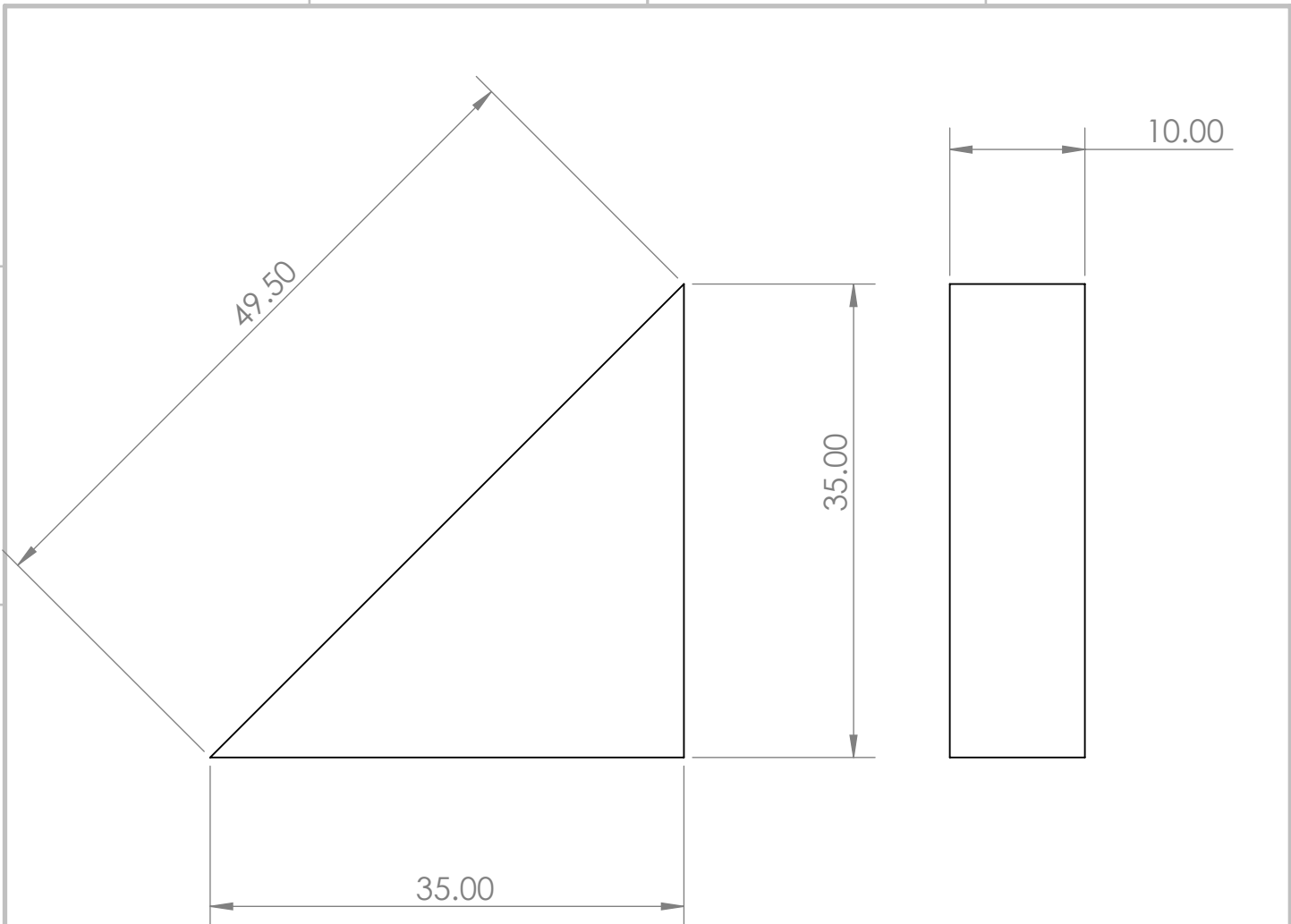
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:			DEBURR AND BREAK SHARP EDGES			DO NOT SCALE DRAWING			REVISION		
DRAWN			SIGNATURE			DATE			TITLE:					
CHK'D														
APPV'D														
MFG														
Q.A						MATERIAL:			DWG NO.			A4		
									3 - APOIO_TRIANGULO					
						WEIGHT:			SCALE:2:1			SHEET 1 OF 1		

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

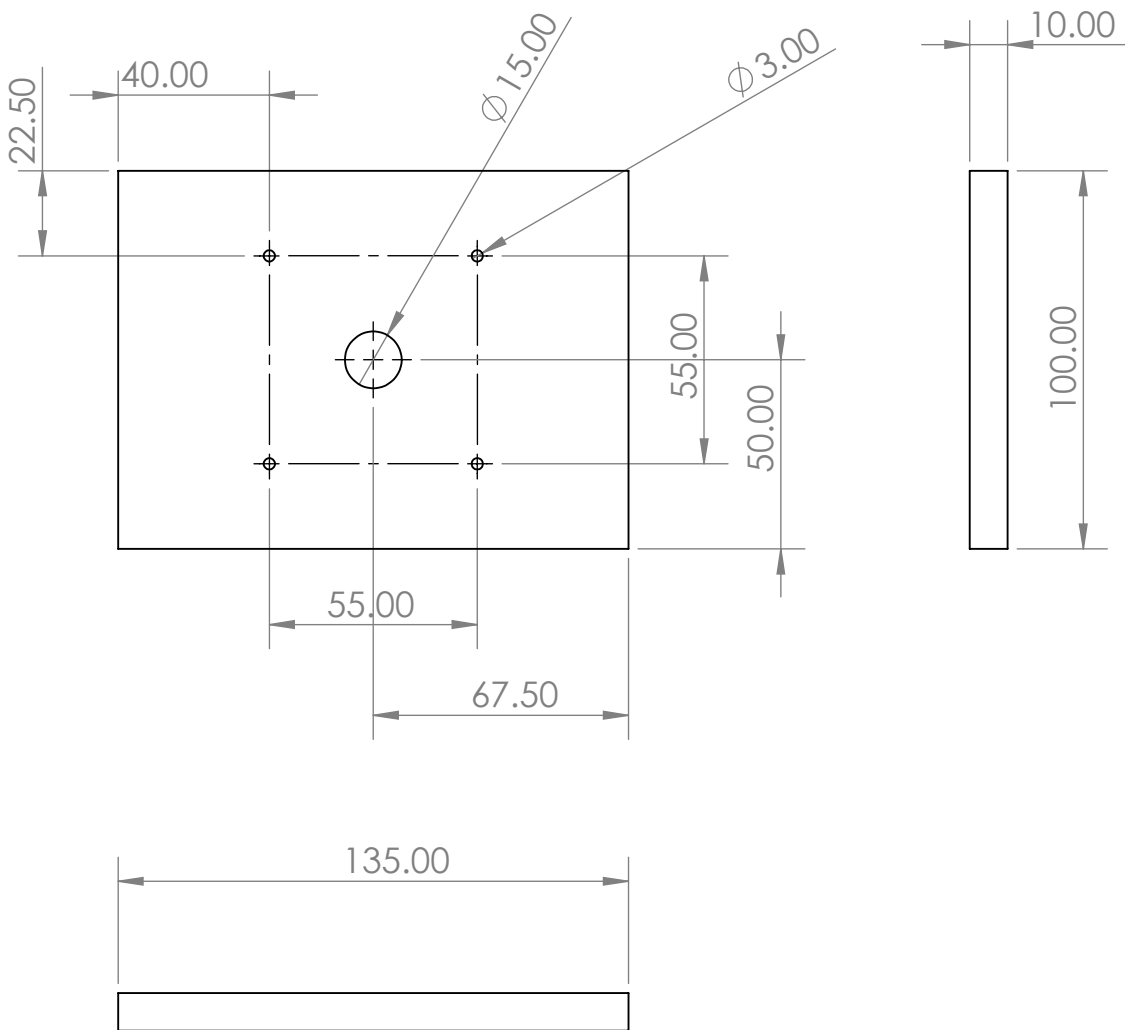
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN			SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D										
APPV'D										
MFG										
Q.A							MATERIAL:		DWG NO.	
							4 - CHAPA_CASTANHA		A4	
							WEIGHT:		SCALE:1:2	
									SHEET 1 OF 1	

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

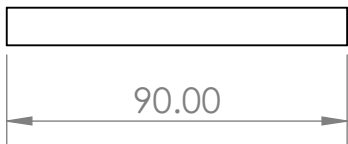
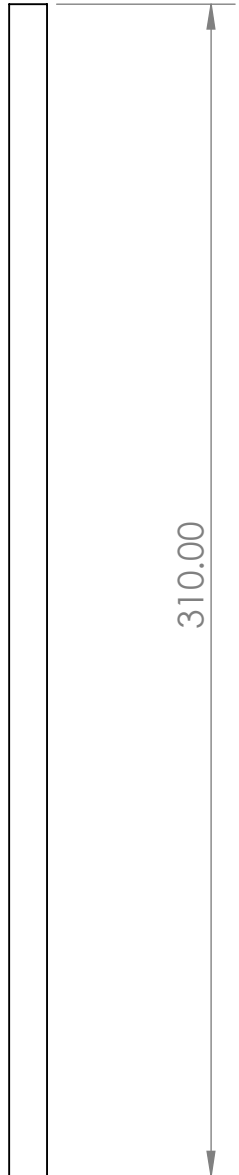
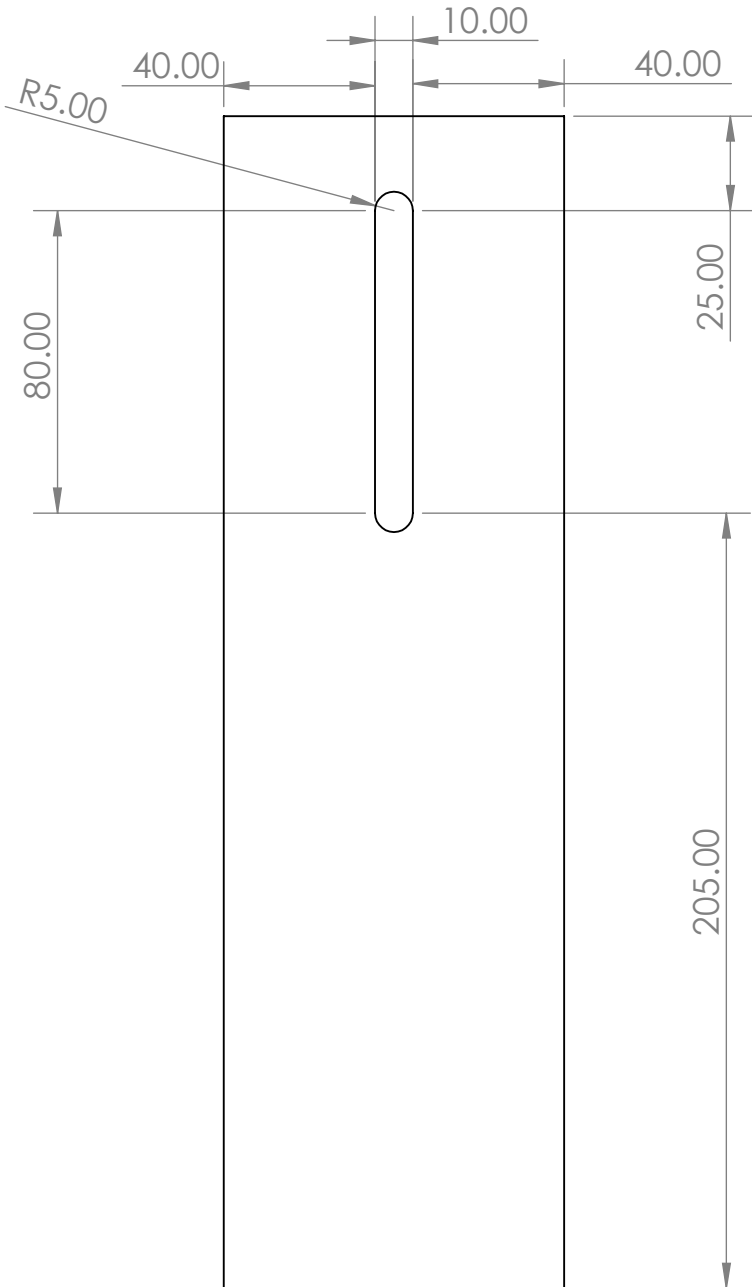
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
DRAWN			SIGNATURE		DATE		TITLE:				
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A							MATERIAL:		DWG NO.		A4
									5 - LATERAL		
							WEIGHT:		SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

4

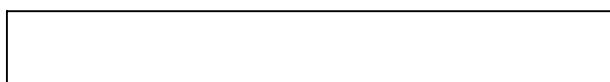
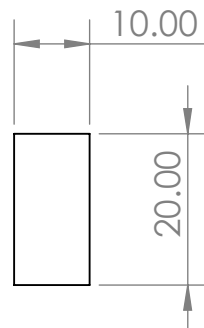
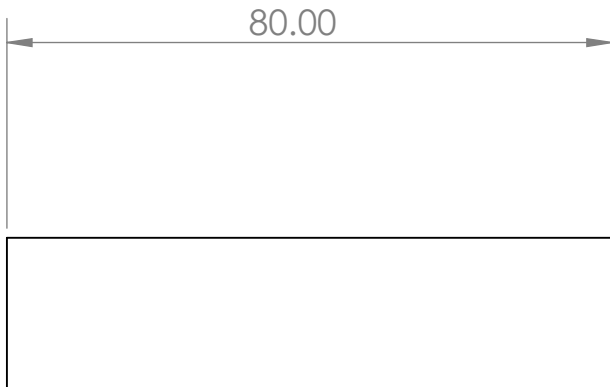
3

2

1

F

F



E

E

D

D

C

C

B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		A4	
						6 - APOIO TRASEIRO			
				WEIGHT:		SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	

A

A

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

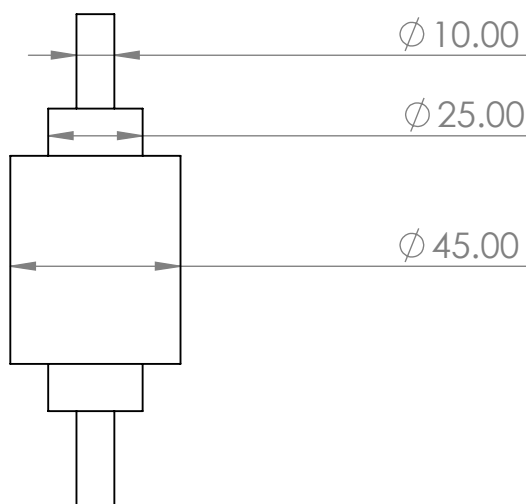
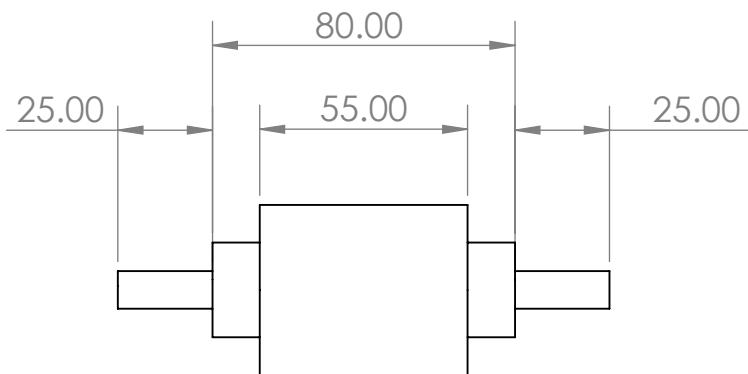
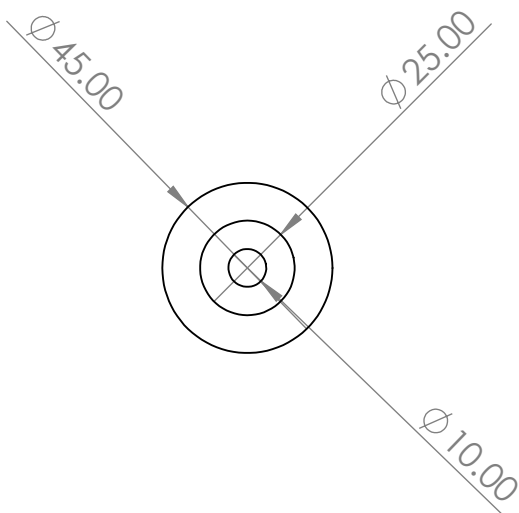
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
							TITLE:			
							DWG NO.		A4	
							7 - EIXO HASTE			
							SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1	

4

3

2

1

4

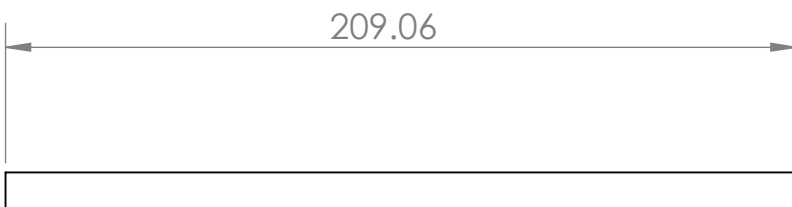
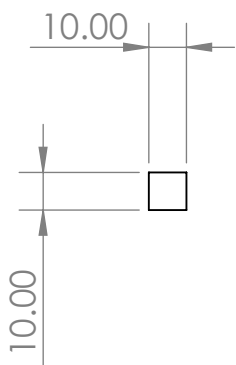
3

2

1

F

F



E

E

D

D

C

C

B

B

A

A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		A4	
						8 - HASTE			
				WEIGHT:		SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1	

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

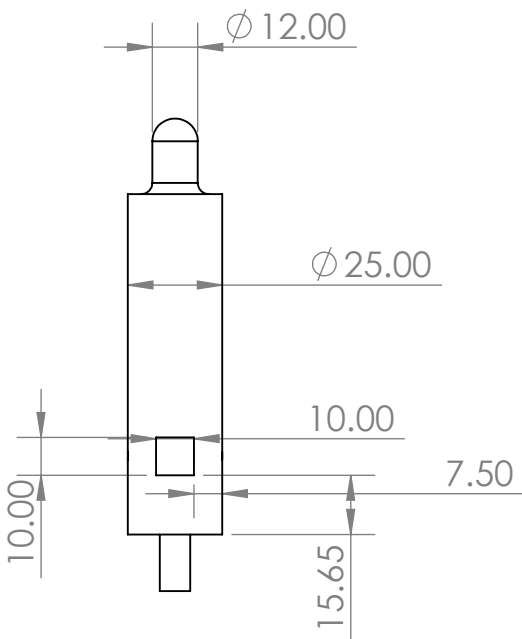
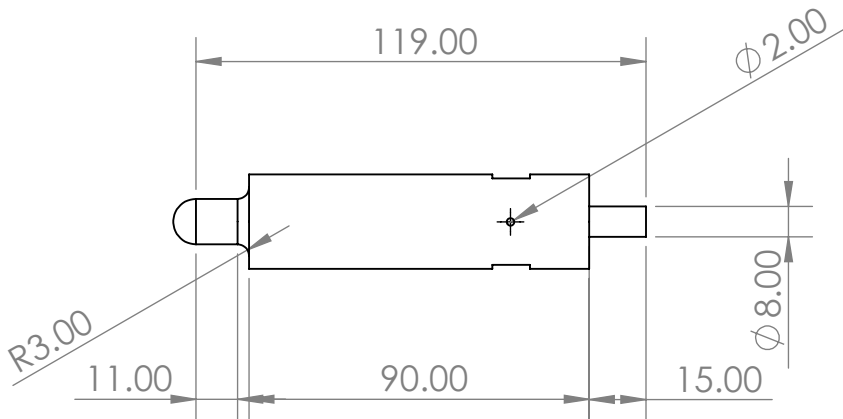
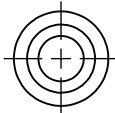
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
DRAWN			SIGNATURE		DATE		TITLE:				
CHK'D							DWG NO. 10 - PINO				
APPV'D											
MFG											
Q.A											
					MATERIAL:		SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1		
					WEIGHT:				A4		

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

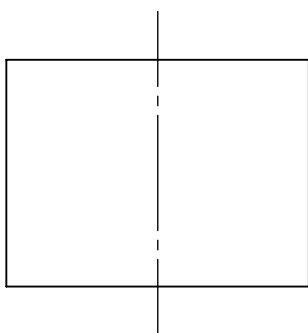
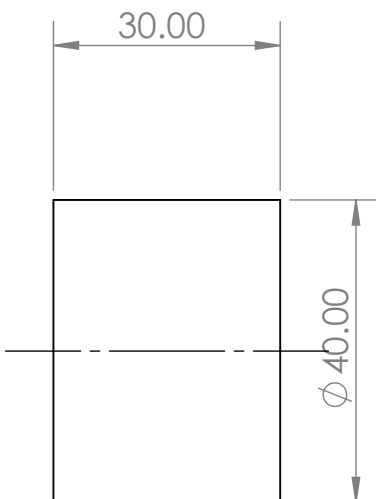
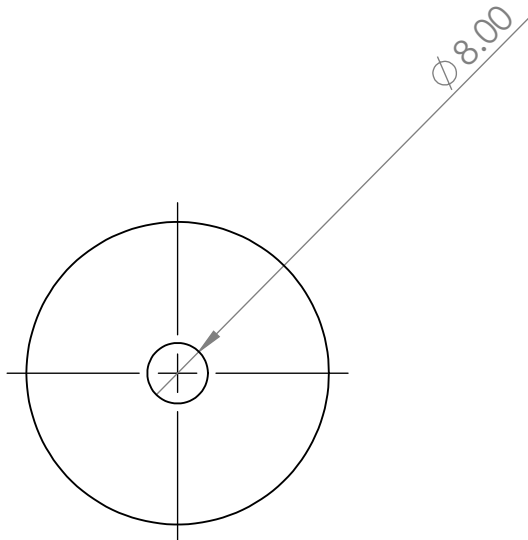
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
DRAWN			SIGNATURE		DATE		TITLE:				
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A							MATERIAL:		DWG NO.		A4
									24 - PESO		
							WEIGHT:		SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

4

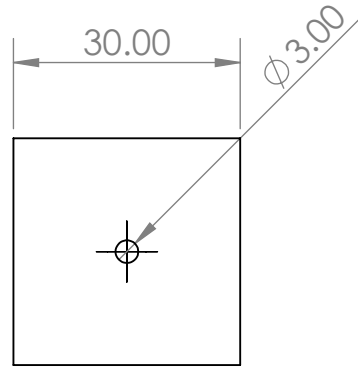
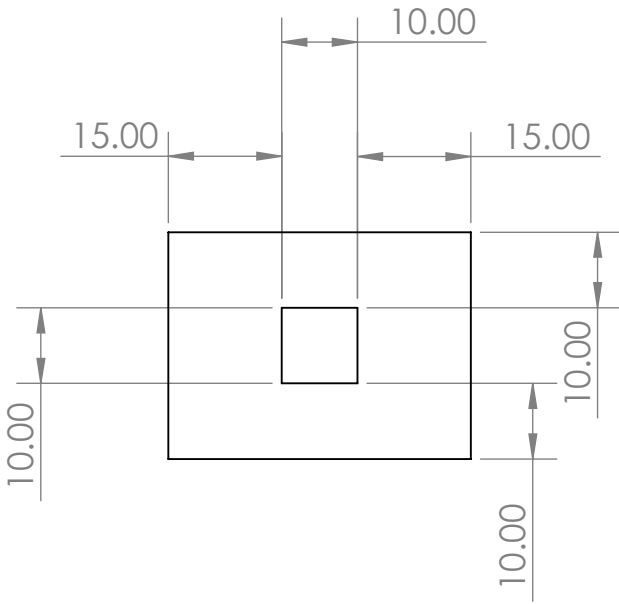
3

2

1

F

F



E

E

D

D



C

C

B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
DRAWN			SIGNATURE		DATE		TITLE:				
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A							MATERIAL:		DWG NO.		
									25 - CONTRAPESO ^{A4}		
							WEIGHT:		SCALE:1:1		
									SHEET 1 OF 1		

A

A

4

3

2

1