



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

RAONI ALVES DE LIMA

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO PARA TESTE DE
LUBRICIDADE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES MINERAIS E SINTÉTICOS**

FORTALEZA

2022

RAONI ALVES DE LIMA

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO PARA TESTE DE LUBRICIDADE
DE ÓLEOS LUBRIFICANTES MINERAIS E SINTÉTICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de mestre em Engenharia Mecânica. Área de concentração: Processos, Equipamentos e Sistemas para Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. André Valente Bueno.
Coorientadora: Prof.^a Dra. Maria Alexandra de Sousa Rios.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L71p Lima, Raoni Alves de.
PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO PARA TESTE DE LUBRICIDADE DE ÓLEOS
LUBRIFICANTES MINERAIS E SINTÉTICOS / Raoni Alves de Lima. – 2022.
96 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. André Valente Bueno.

Coorientação: Profª. Dra. Maria Alexsandra de Sousa Rios.

1. Lubricidade. 2. Projeto. 3. Lubrificante. I. Título.

CDD 620.1

RAONI ALVES DE LIMA

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO PARA TESTE DE LUBRICIDADE
DE ÓLEOS LUBRIFICANTES MINERAIS E SINTÉTICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de mestre em Engenharia Mecânica. Área de concentração: Processos, Equipamentos e Sistemas para Energias Renováveis.

Aprovada em: 14/01/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Valente Bueno (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Maria Aleksandra de Sousa Rios (coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Ada Amelia Sanders Lopes
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Raimundo e Lêene.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade da vida e por me presentear o conhecimento necessário para fazer o que tem que ser feito nesta pequena eternidade.

À CAPES, CNPQ e FUNCAP pelo apoio financeiro ao programa de pós graduação da Universidade Federal do Ceará .

Ao Prof. Dr. André Valente Bueno, pela orientação e a Prof.^a Dra. Maria Alexsandra de Sousa Rios pela coorientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof.^a Dra. Ada Amelia Sanders Lopes e o Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões para a melhoria deste trabalho.

Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

Ao colega de pesquisa Victor Gualberto Soares pelo empenho e dedicação na contribuição da elaboração de algumas partes constituintes do equipamento construído.

Ao Senhor Paulo Sérgio pela ajuda e doação de alguns equipamentos eletrônicos, os quais foram de grande ajuda na construção desse equipamento.

À Oficina Metamorfose pelo suporte e pela disponibilidade do ferramental para a construção do equipamento.

“O destino se revela na forma mais simples”

Autor.

RESUMO

O estudo sobre lubrificação atua em várias áreas, como por exemplo, na indústria onde cada tipo de lubrificante possui sua especificação com o intuito de gerar economia, um maior ganho de tempo de uso e uma redução nas falhas por desgaste. Cada aplicação exige um estudo adequado, uma avaliação prévia realizada em condições similares de atuação, mantendo-se uma faixa de garantia de forma que se tenha uma confiabilidade e melhoria em desempenho. Dessa forma tem-se o objetivo de projetar e construir um equipamento de teste para avaliação de lubrificidade de óleos lubrificantes minerais e sintéticos. O equipamento aplica o tipo de ensaio bloco no cilindro, no qual os corpos de prova utilizados estão imersos no fluido e confeccionado de aço trefilado 1020. A estrutura do equipamento consiste em um motor elétrico de 0,7 CV e rotação livre de 1100 ± 50 rpm transmitindo seu movimento para um sensor de torque que capta a influência que um determinado fluido lubrificante faz em um contato forçado no período de até 15 minutos por teste. Os dados captados para cada análise são de tempo (s) e de torque (N.m) decorrente da carga aplicada. As cargas aplicadas variam de 1kg a 10kg. O volume de óleo utilizado em cada teste corresponde aproximadamente a 5,0 ml. Para avaliação do equipamento protótipo foram realizados dois testes de 15 (quinze) minutos com a carga de 5,0 kg e com o tempo de descanso de 5 minutos utilizando o óleo (A) lubrificante mineral 20w50 e o óleo (B) lubrificante sintético 5w40, de modo que os resultados foram comparados aos resultados de teste realizando um equipamento normatizado “*Four ball*” com os mesmos parâmetros de cargas e tempo de ensaio. Um ensaio de micrografia dos desgastes de ambos os testes comprovou que o óleo (A) tem maior lubrificidade que o óleo (B). A diferença de precisão entre o ensaio Bloco no cilindro e o “*Four Ball*” ficou em torno de 0,022 N.m para o Óleo A e 0,147 N.m para o Óleo B, mostrando que o equipamento protótipo está seguindo o resultado desejado. Com isso o equipamento está apto para uso no qual torna-se necessário fazer mais testes com outros fluidos lubrificantes e combinar possibilidades de tempo de trabalho e cargas aplicadas com o objetivo de criar um banco de dados para servir de comparação para futuros materiais em pesquisa. Os corpos de provas utilizados em cada teste podem ser levados para outras análises e o óleo para o ensaio de ferrografia.

Palavras-chave: Lubrificidade. Projeto. Lubrificante.

ABSTRACT

The study on lubrication works in several areas, for example, in the industry where each type of lubricant has its specification in order to generate savings, a greater gain in time of use and a reduction in wear failures. Each application requires an adequate study, a previous evaluation carried out under similar operating conditions, maintaining a guarantee range so that there is reliability and performance improvement. Thus, the objective is to design and build a test equipment to evaluate the lubricity of mineral and synthetic lubricating oils. The equipment applies the block-in-cylinder type of test, in which the specimens used are immersed in the fluid and made of 1020 drawn steel. The structure of the equipment consists of an electric motor of 0.7 hp and free rotation of 1100 ± 50 rpm transmitting its movement to a torque sensor that captures the influence that a given lubricating fluid makes on a forced contact within a period of up to 15 minutes per test. The data captured for each analysis are time (s) and torque (N.m) resulting from the applied load. The applied loads range from 1kg to 10kg. The volume of oil used in each test corresponds to approximately 5.0 ml. To evaluate the prototype equipment, two tests of 15 (fifteen) minutes were carried out with a load of 5.0 kg and with a rest time of 5 minutes using oil (A) mineral lubricant 20w50 and oil (B) synthetic lubricant 5w40 , so that the results were compared to the test results performing a standardized “Four ball” equipment with the same load parameters and test time. A micrograph test of the wear of both tests proved that oil (A) has greater lubricity than oil (B). The difference in precision between the Block in the cylinder test and the “Four Ball” was around 0.022 N.m for Oil A and 0.147 N.m for Oil B, showing that the prototype equipment is following the desired result. With this, the equipment is ready for use in which it is necessary to carry out more tests with other lubricating fluids and combine possibilities of working time and applied loads in order to create a database to serve as a comparison for future materials in research. The specimens used in each test can be taken for further analysis and the oil for the ferrography test.

Keywords: Lubricity. Project. Lubricant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Movimento de rolamento e deslizamento.....	21
Figura 2 – Contato Bloco no Cilindro (Block on Ring).....	22
Figura 3 – Contato Pino em bloco V - bucha bipartida com cortes em V ou U.....	23
Figura 4 – Contato pino no disco (Pin on disk).....	24
Figura 5 – Ensaio com contato Quatro Bolas (Four Ball).....	25
Figura 6 – Tipo de contatos para o ensaio Linear Alternativo.....	26
Figura 7 – Estrutura com todos os componentes conectados.....	29
Figura 8 – Componentes internos acoplados.....	30
Figura 9 – Visualização da contra ponta.....	31
Figura 10 – Painéis digitais inclinados 45°.....	31
Figura 11 – Posicionamento das cargas aplicadas ao ensaio nos corpos de provas.....	32
Figura 12 – Reservatório de óleo.....	33
Figura 13 – Máquina desenvolvida.....	34
Figura 14 – Conexão máquina - computador.....	35
Figura 15 – Corpos de prova fixos antes (A) e depois (B) do processo de acabamento superficial.....	37
Figura 16 – Micrografias Óleos A e B no ensaio FB.....	39
Figura 17 – Micrografias Óleos A e B no ensaio BC.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva de Torque x Tempo ensaio FB.....	38
Gráfico 2 – Curva de Torque x Tempo ensaio BC.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ensaio e contatos de Lubricidade.....	27
Tabela 2 – Diâmetro e Velocidade tangencial.....	33
Tabela 3 – Propriedades dos óleos lubrificantes analisados.....	35
Tabela 4 – Parâmetro do ensaio de teste FB.....	36
Tabela 5 – Parâmetro do equipamento desenvolvido - BC.....	36
Tabela 6 – Dados captados durante toda a execução - FB.....	39
Tabela 7 – WSD para ensaios FB.....	39
Tabela 8 – Dados captados durante toda a execução - BC.....	40
Tabela 9 – WSD do ensaio BC.....	41
Tabela 10 – Dados de comparação do torque médio entre os ensaios BC e FB teórico....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EP	Extrema Pressão
HFRR	High Frequency Reciprocating Rig
SAE	Society of Automotive Engineers
BC	Ensaio Bloco no cilindro
FB	Ensaio Four Ball
WSD	Wear Scar Diameter - Diâmetro de cicatriz de desgaste

LISTA DE SÍMBOLOS

μ	Coeficiente de atrito
Fa	Força de atrito
W	Força Normal
Cr	Carga Resultante
C	Carga aplicada
cSt	Centistoke
G	Centro de massa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.2	Objetivo geral.....	18
1.3	Objetivos específicos.....	18
1.4	Justificativa.....	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Tipos de Lubrificação.....	19
2.2	Atrito.....	20
2.3	Desgaste.....	20
2.4	Tipos de Ensaios Aplicados.....	21
2.4.1	<i>Ensaio com contato Bloco no Cilindro (Block on Ring).....</i>	21
2.4.2	<i>Pino e bloco V (Pin and Vee Block).....</i>	23
2.4.3	<i>Pino no disco (Pin on Disk).....</i>	24
2.4.4	<i>Quatro bolas (Four Ball).....</i>	25
2.4.5	<i>Contato Linear Alternativo (Linear Reciprocating).....</i>	26
2.4.6	<i>Parâmetros comparativos para os ensaios.....</i>	27
3	MÉTODOLOGIA.....	28
3.1	Projeto e construção do Protótipo.....	28
3.2	Cargas aplicadas nos corpos de prova.....	32
3.3	Os corpos de prova.....	32
3.4	Reservatório de óleo para o teste.....	33
3.5	Máquina desenvolvida.....	34
3.6	Primeiro teste de funcionamento.....	34
3.7	Teste Experimental.....	35
3.7.1	<i>Óleos Analisados.....</i>	35
3.7.2	<i>Ensaio de teste Four Ball (FB).....</i>	36
3.7.3	<i>Ensaio de teste Bloco no cilindro (BC).....</i>	36
3.7.4	<i>Preparação dos corpos de prova do ensaio BC.....</i>	37
3.7.5	<i>Micrografia.....</i>	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1	Avaliação dos dados de torque no ensaio FB.....	38
4.2	Micrografia dos corpos de prova do ensaio FB.....	39

4.3	Avaliação dos dados de torque no ensaio BC.....	40
4.4	Micrografia dos corpos de prova do ensaio BC.....	41
4.5	Resultado de comparação entre o ensaio FB e BC.....	42
5	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE A – PROJETO MECÂNICO – EQUIPAMENTO PARA TESTE DE LUBRICIDADE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES MINERAIS E SINTÉTICOS.....	48
	APÊNDICE B - ESQUEMA ELÉTRICO.....	66
	APÊNDICE C - ESQUEMA ELETRÔNICO.....	67
	APÊNDICE D - MANUAL DO USUARIO E DE SERVIÇO.....	68
	APÊNDICE E - ORÇAMENTO - EQUIPAMENTO PARA TESTE DE LUBRICIDADE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES MINERAIS E SINTÉTICOS.....	89
	APÊNDICE F - FOTOGRAFIAS.....	91
	ANEXO A – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS	93

1 INTRODUÇÃO

Todo equipamento que possui um funcionamento com partes mecânicas em contato de baixa ou alta pressão de atuação utiliza um lubrificante, que pode ser um material no estado físico líquido, sólido ou gasoso, no qual tem a função de reduzir e retirar parte do atrito e calor gerado por ele. Os lubrificantes líquidos são mais comuns em uso diversificado, por exemplo, utilizado no motor de combustão interna que é um mecanismo que possui sua grande demanda, seja em automóveis, motocicletas, caminhões, navios, etc. Dessa forma em todo o mundo, são gerados anualmente mais de 20 bilhões de litros de óleos lubrificantes (TRISTÃO ET AL, 2017).

Segundo Azevedo, Carvalho e Fonseca (2005), as máquinas podem ter seu desempenho afetado no decorrer do tempo, porém o uso de óleos lubrificantes pode aumentar a vida útil de um equipamento, por ser um agente de extrema importância na redução de elementos de desgaste e contaminação. Dessa forma, um dos mecanismos de redução do atrito entre peças mecânica é a lubrificação, a qual se utiliza de lubrificantes que são majoritariamente produzidos a partir de derivados do petróleo (CAVALCANTI, 2014).

A lubrificação tem a finalidade de reduzir fricção, o desgaste e o aquecimento de partes de máquinas que se movem em relação umas às outras e é qualquer substância que, quando inserida entre superfícies que se movem, alcançam esses propósitos (BUDYNAS & NISBETT, 2011). Na mesma linha de pensamento, o óleo lubrificante não deve apenas separar com uma película as partes de contato que estão em fricção, mas deve também eliminar o calor produzido por esta fricção nas superfícies e em algumas aplicações serve como vedação adicional, como por exemplo nos anéis de pistão (DUBBEL, 1979).

O lubrificante em sua forma semiacabada é chamado comercialmente de óleo básico e dependendo do tipo de processo de refino, pode ser chamado de mineral, semissintético e sintético. Os óleos minerais são obtidos pelo processo de refino por solvente tratando-se de um processo mais simples que envolve a separação de componentes do petróleo. Os óleos semissintéticos são uma mistura de óleos básicos minerais e aditivos que segundo Carreiro (2006), os aditivos são compostos químicos que adicionados aos óleos básicos reforçam algumas de suas qualidades, lhes cedem novas ou eliminam propriedades indesejáveis. Os óleos semissintéticos foram criados no intuito de um melhor custo benefício para o mercado em relação ao óleo sintético, pois estes são produzidos por um processo de obtenção de óleo básico muito mais complexos como por exemplo a síntese química e possuem características superiores aos óleos minerais, como por exemplo a estabilidade da

viscosidade em temperaturas variadas de trabalho.

Para Airey et al (2020) a busca de um melhor desempenho na lubrificação, os óleos sintéticos apresentam maior estabilidade com relação à lubricidade. Isso é devido às moléculas de ésteres serem flexíveis, permitindo livre rotação dos componentes e deslizamento mais fácil entre as cadeias de moléculas, onde nessa mesma linha de raciocínio Höhn (2001), afirma que o comportamento do melhor desempenho dos óleos sintéticos na lubrificação pode ser causado devido a eficiência de empacotamento molecular, polaridade e a uma maior proporção de substituintes cíclicos e ramificados (HÖHN, 2001). Dessa forma, em uma aplicação para um motor de combustão interna, por exemplo, para o funcionamento a frio, ou seja, quando o motor não está na sua temperatura ideal de trabalho, o lubrificante ideal é aquele que reduz o desgaste inicial até que todo o sistema esteja estabilizado, com isso permite a redução do consumo de combustível e uma maior vida útil dos componentes internos do motor.

Segundo Barata (2016) o desgaste pode ser indicativo da condição de determinadas peças constituintes dos motores. Gerando custos elevados para os setores industriais e de transporte, principalmente quanto à substituição de peças desgastadas e com relação à energia dissipada por atrito e o estudo sobre o desgaste está ligado inteiramente ao estudo da tribologia que estuda os fenômenos do atrito e desgaste das peças com a utilização de óleo que atua como meio de interação entre as duas superfícies de contato.

Gualberto et al (2020) afirma que muitos experimentos devem ainda ser realizados para identificar a performance de novos conforme suas condições de uso. Devido as várias características dos óleos lubrificantes há uma necessidade de avaliar seus comportamentos e determinar suas especificações em suas aplicações, no qual depende de análises e testes para comparar de que forma é possível melhorar seu desempenho, sendo ele na troca de calor, na pouca variação de viscosidade devido ao tempo de trabalho, na redução de atrito e que atue numa faixa de garantia de forma que se tenha uma confiabilidade a cada período de troca dos lubrificantes.

Segundo Fitch e Troyer (2004) uma análise de óleo bem-sucedido requer um investimento de tempo e dinheiro para garantir a amostragem adequada. Ao longo do tempo vários equipamentos foram criados conforme a necessidade dos materiais utilizados em sua época, os tipo de contatos que mais exigiam observação ao desgaste, a forma de analisar os lubrificantes, suas viscosidades diferentes foram padronizados pelos fabricantes dos lubrificantes, então houve a necessidade de comparações e que muitas das vezes um equipamento transfere uma determinada informação que trás a melhor forma de

interptração que os outros, com isso entrou o estudo das especificações dos lubrificantes direcionada para cada aplicação. Para a elaboração de testes de lubricidade deve-se usar um mecanismo que mais se assemelhe ao tipo de contato utilizado para o determinado lubrificante em análise. No ensaio pode ser avaliar o desempenho do lubrificante em termos de coeficiente de atrito em função do torque e também avaliar as impressões de desgaste que o contato realizou durante o teste.

Mundialmente existem dezenas de equipamentos responsáveis para avaliação de lubricidade de óleos lubrificantes em geral tanto para uso industrial, automobilístico e recentemente a tribologia tem sido usada para estudar as propriedades de fricção de sistemas alimentícios como por exemplo óleo em água, emulsões, laticínios e chocolate (TAYLOR, 2020). Neste mesmo pensamento tem havido um interesse considerável no teste de contatos em escala micro e nano, no intuito de fornecer informações sobre o desempenho de contatos tribológicos para o desenvolvimento de nano e microdispositivos e permitir que sejam feitas medições da resposta de materiais sob condições que são representativas nas rugosidades típicas em contatos de macroescala (GEE, M. G., 2007). Os testes em escala micro também traz a ideia de validação, pois retrata uma visão de resposta mais precisa para o ensaio tribológico, um exemplo é o teste de micrografia das regiões que sofream o contato de desgaste, que pela sua precisão é possível ver a dimensão dos arranhões gerados e serve de uma segunda comprovação.

Ao se falar sobre ensaios tribológicos deve-se que existem vários tipos de contatos utilizados nos quais pelo menos um dos corpos de prova está em velocidade nula em reação ao equipamento, já outro corpo de prova está realizando um movimento linear ou de rotação. Segundo Moura (1975), existem vários tipos de testes para avaliação de desempenho de lubrificantes, sendo praticamente semelhantes em seu princípio onde se faz atuar uma crescente carga sobre duas superfícies em contato com um lubrificante de teste. Um exemplo é o tribômetro que é o equipamento utilizados para medir o atrito e o desgaste em duas ou mais superfícies em contato.

Em uma pesquisa o tribômetro pino no disco é usado para medir a vida útil de revestimentos duros em temperaturas variadas, no qual sua estrutura é montada por um mandril que pode ser girado a uma velocidade predeterminada, utilizando uma esfera ou outro corpo estático montado em contato com a amostra rotativa por meio de um braço elástico que pode se mover lateralmente e, portanto, medir as forças tangenciais, ou seja, a força de atrito por meio de um sensor (NAIR ET AL, 2009).

Com isso cada equipamento lançado ao mercado deve ter sua eficiência em utilização, então critérios são exigidos para controlar os erros de medição para assim seguir um padrão de repetitividade em qualquer instituição de estudo da área. Nos últimos anos, vários projetos de alto perfil questionaram a repetitividade e a validade da pesquisa científica na área da tribologia. Um conjunto de critérios simples para fatores como teste aleatório, teste às cegas “blinding”, uso de controle de dados e testes repetidos tem sido feito (WATSON ET AL, 2019).

Os testes aleatórios mostram um desvio que são particularmente introduzidos por degradação do equipamento, pelas amostras dos testes ou mudanças em condições ambientais. Já os testes às cegas exigem fazer análise de uma forma objetiva mesmo as cegas, sem esperar resultado desejado e para perceber as variações numéricas os testes de controle de dados devem ser realizados em amostras idênticas ao teste principal com apenas a variável de interesse variando entre os testes para fornecer uma linha de base com a qual todas as alterações podem ser comparadas, dessa forma trazendo uma confiabilidade os testes repetidos são essenciais para garantir que as mudanças observadas entre os grupos não são devidas as mudanças aleatórias ou correlacionadas com variáveis invisíveis, sem testes de repetição, nenhuma estimativa da variação dentro de um grupo pode ser feito.

Com todas essas informações uma análise estatística é necessária para indicar a probabilidade dos efeitos da medição devido à variação aleatória, no qual a sua omissão deixa os experimentos sem nenhuma medida de confiabilidade para seus resultados no qual o sistema de aquisição de dados pode registrar por exemplo o torque aplicado, a força de atrito em função do tempo, número de revoluções, a diferença de temperatura, etc.

Existem muitos motivos para resultados errôneos em ensaios de certa forma é possível que o os testes aleatórios possam produzir um resultado que parece importante quando nenhum efeito real está presente (WATSON ET AL, 2019). Nessa linha de pensamento buscando evitar os resultados errôneos, ao se criar algum equipamento novo deve-se fazer um comparativo com um equipamento já normatizado no qual ambos estejam na mesma faixa de medição e que atendam as mesmas especificações de materiais de análise e assim é possível reduzir a tendência do erro, visando os mesmos resultados chegando assim a uma validação, trazendo a possibilidade de uso de mais um equipamento na área da lubricidade.

Um bom projeto necessita de um estudo de revisão, que neste presente caso é a área da tribologia visando avaliar os principais métodos, os tipo de equipamentos existentes, os tipo de contatos e as normas e a partir daí elaborar um projeto que de preferência seja de

baixo custo, tanto para os materiais utilizados quanto ao processo de fabricação, já que todos os equipamentos em estudo tem como base fazer atuar uma força entre dois corpos rígidos onde um tem o movimento diferente do outro, podendo ser rotativo ou linear, de modo que, as variações de atrito, desgaste e torque possam ser computadas e comparadas em um período de tempo.

1.2 Objetivo geral

Desenvolver uma bancada de teste, para analisar a lubricidade de óleos lubrificantes seja mineral e sintético.

1.3 Objetivos Específicos

- Avaliar todos os tipos de processos de teste de lubricidade existentes que mais se adequam as possibilidades de fabricação, diferenciando suas aplicações, os tipos de contatos, tempo de operação, etc.
- Elaborar um projeto de estrutura mecânica utilizando materiais de fácil acesso comercial, buscando a redução de custos e garantindo possibilidades de mudanças posteriores, caso necessário, para melhoria do equipamento.
- Obter dados de torque em função do tempo referente no qual o contato de atrito transmite ao meio computacional que servem de análise para verificar o seu comportamento físico.
- Realizar testes experimentais, seguindo um procedimento repetitivo para avaliar resistência, durabilidades de algumas partes móveis e das instalações elétrico-eletrônicas e compará-los aos resultados de um equipamento normatizado que atenda a mesma faixa de análise.

1.4 Justificativa

Todo equipamento utilizado para o estudo de lubricidade traz um valor agregado elevado o que por vezes pode inviabilizar a sua compra, dessa forma, a justificativa para a elaboração desse trabalho vem da necessidade de fazer um equipamento que possa transmitir informações de alguns comportamentos físicos de um lubrificante em relação ao contato entre duas superfícies, de modo que tenha um significado semelhante ao equipamento industrializado normatizado e usar materiais de fácil acesso comercial na sua construção.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Tipos de Lubrificação

No estudo da lubrificação costumam ser discriminados cinco regimes distintos: Hidrodinâmica, Hidrostática, Elasto-Hidrodinâmica, Contorno e Filme Sólido.

Lubrificação Hidrodinâmica, por exemplo, as superfícies de carregamento encontram-se separadas por um filme relativamente espesso de lubrificante a fim de prevenir o contato metal-metal, e que a estabilidade assim obtida possa ser explicada pelas leis da mecânica dos fluidos, não dependendo da introdução de lubrificante sob pressão, embora isso possa ocorrer, mas requer, sim a existência de um suprimento adequado em todos os momentos (BUDYNAS & NISBETT, 2011). Este regime também é denominado como lubrificação de filme completo.

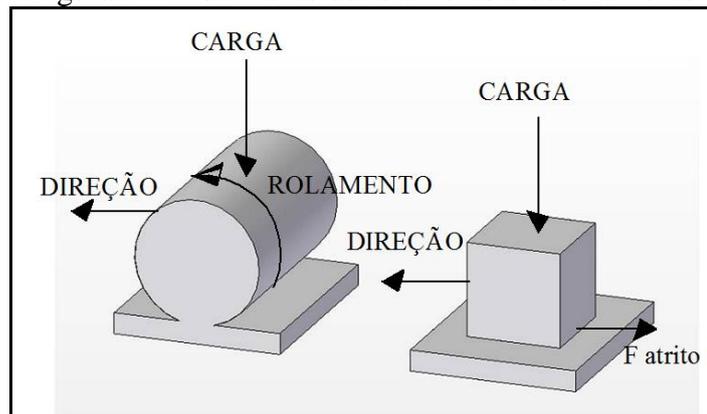
Já a lubrificação hidrostática é obtida pela introdução do lubrificante sobre pressão, podendo ser usado o ar ou a água como meio fluido. Nesse caso não se requer movimento entre as superfícies. A própria condição de alta pressão do fluido gera o afastamento das superfícies. Por outro lado, a lubrificação elasto-hidrodinâmica é o fenômeno que ocorre quando um lubrificante é introduzido entre superfícies que estão em contato de rolamento, como por exemplo, os dentes das engrenagens (NIEMANN, 1971).

A lubrificação de contorno ocorre no caso em que a área superficial é insuficiente, a velocidade das superfícies cai, a quantidade de lubrificante enviada para o local diminui ou a viscosidade diminui com o acréscimo da temperatura, caso no qual a espessura do filme é muito fina, já o lubrificante de filme sólido é necessário quando os óleos minerais não são satisfatórios, em temperaturas extremas usa-se o grafite ou bissulfeto de molibdênio (NORTON, 2013).

2.2 Atrito

Segundo Clower (1939), a força de atrito é definida como sendo a força resistente que um corpo em movimento faz em outro corpo. e confirmando por Olds (1973), onde sempre que uma superfície se mover em relação a outra superfície, haverá uma força contrária a esse movimento, chamado de atrito. Nesse ponto de vista ao se analisarem superfícies sólidas é possível encontrar duas situações: Rolamento e Deslizamento. No caso de uma situação de rolamento puro não existe a possibilidade de escorregamento entre os corpos, acontecendo o atrito de rolamento, como é visto comumente devido a rotação de corpos cilíndricos ou esféricos colocados entre as superfícies em movimento, porém quando um dos corpos não exerce o rolamento acontece aí um deslizamento e ocorre atrito deslizante como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Movimento de rolamento e deslizamento



Fonte: GUALBERTO ET AL. 2020.

Então o estudo sobre os efeitos da força de atrito está direcionado a situação de deslizamento puro, sendo a base para os tipos de mecanismos de ensaios. O coeficiente de atrito μ é o parâmetro matemático estudado sendo a relação entre a força de atrito F_a e a força normal W atuando numa faixa entre 0,1 e 1 adimensional.

2.3 Desgaste

Quando duas superfícies são pressionadas uma contra a outra por uma carga, algumas das asperezas em contato tenderão a aderir umas às outras devido as forças de atração entre os átomos superficiais dos dois materiais (NORTON, 2013).

No momento em que se introduz um escorregamento entre as superfícies, essas

adesões são quebradas, de modo que algumas vezes uma partícula de um dos materiais é liberada e permanecerá livre, podendo então riscar as superfícies e cavar sulcos. Esse tipo de dano é chamado de Escoramento (scoring) ou scuffing (BUDYNAS & NISBETT, 2011).

Um dos fatores que são utilizados em projetos é a compatibilidade dos materiais utilizados, onde os dois materiais são escolhidos de tal forma para que um tenha um desempenho de deslizamento com intensidade de arrancamento de material relativamente baixa na busca da suavidade relativa (NORTON, 2013).

Neste caso o acabamento superficial tem uma fundamental importância, pois dependendo do processo de usinagem o índice de rugosidade é muito baixo (BHUSHAN, 2000).

Aditivos e detergentes especiais também são adicionados aos lubrificantes direcionados para retirar as possíveis impurezas soltas dos caminhos de fluidez de escoamento (SNYDER AND GSCHWENDER, 1991).

2.4 Tipos de Ensaios Aplicados

Há uma ampla gama para testes tribológicos, com variação de metodologia de ensaio, duração do teste e investigação de parâmetros disponível para avaliar a lubricidade de lubrificantes minerais e sintéticos (GUALBERTO ET AL, 2020).

Sob o ponto de vista do tipo de contato entre os corpos de provas existentes, deve-se observar que cada alternativa de ensaio pode melhorar a leitura de determinados significados tribológicos em detrimento de outros. A partir do compêndio dos múltiplos princípios de ensaio é possível buscar uma combinação de ideias capaz de entregar o projeto de um dispositivo de teste que agregue simplicidade e bom desempenho.

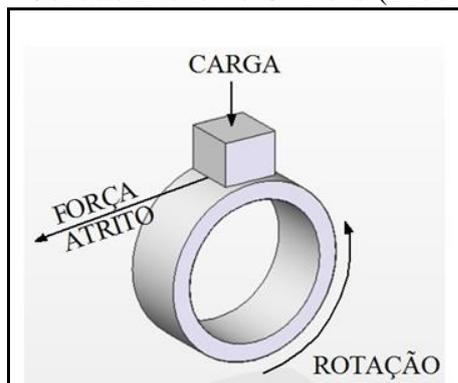
Com isso entender como um ensaio tribológico funciona facilitará o processo de elaboração deste equipamento.

2.4.1- Ensaio com contato Bloco no Cilindro (Block on Ring)

Trata-se de um ensaio onde um bloco de aço é pressionado contra a superfície de um anel cilíndrico ou um cilindro maciço que possui movimento rotativo, durante um determinado tempo. Esse tipo de contato é principalmente usado para medições de taxa de desgaste e para classificar materiais em relação a sua resistência ao movimento de deslizamento puro (BHUSHAN, 2000).

Segundo Gualberto et al (2020), este é o método mais utilizado para medição de desgaste que é a medição do volume perdido devido ao desgaste. Entretanto, se os materiais em contato são iguais, apenas a medição da largura da cicatriz do desgaste é suficiente para validação do teste. Este tipo de ensaio é mais conhecido como Ensaio Timken que é utilizado para de pressão extrema cujo tempo de duração é de dez minutos, onde pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Contato Bloco no Cilindro (Block on Ring)



Fonte: GUALBERTO ET AL. 2020.

Hattori et al (2016), avaliaram as propriedades tribológicas do revestimento de nitreto de carbono com deposição realizada pelo sistema de deposição de ar filtrado e feixe de íon de nitrogênio, em comparação com o revestimento macio de nitreto de carbono).

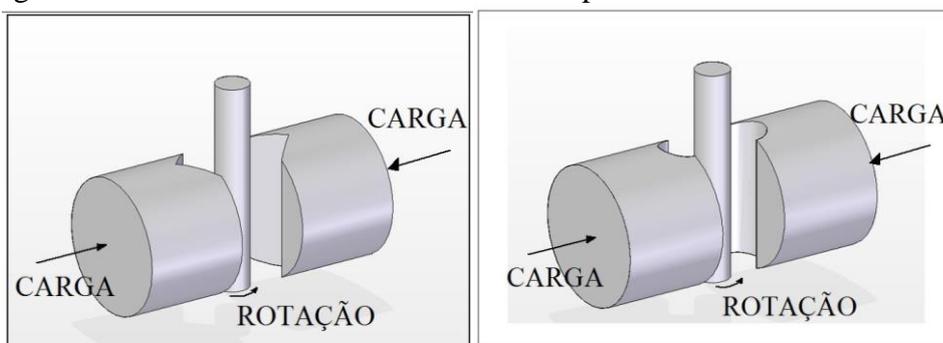
Em outro teste, Wang et al (2018) analisaram a influência do grafeno como aditivo em 0,5 wt% em graxa e foi observado que em relação a graxa sem aditivo de grafeno e graxa com aditivo de grafeno. Os resultados indicam que houve redução de 37,6% na perda por desgaste e 16,8% no coeficiente de atrito sob aplicação de uma carga de 200 N. Para aplicação de carga de 400 N houve rápido desgaste, mesmo assim, em comparação com a submissão da mesma carga com graxa sem grafeno, houve redução de 23,4% na perda por desgaste e 54,8% no coeficiente de atrito.

Cavalcante (2014) avaliou um biolubrificante produzido com base no óleo da carnaúba, uma planta abundante no nordeste brasileiro, utilizando uma máquina para realização de teste tribológico de contato do tipo Block-On-Ring, seguindo a norma ASTM G-174. Os testes duraram 2 horas ininterruptas, com rotação de 1500 RPM. A carga de contato foi de 1,2 Newton com vazão do óleo a uma taxa de 1 gota por minuto, de modo que foi avaliada a temperatura do sistema com um pirômetro, observando-se que o óleo de carnaúba dissipou mais calor do que o óleo mineral de viscosidade SAE 10W30 API SM e o sistema lubrificado com o biolubrificante apresentou menor desgaste.

2.4.2 Pino e bloco V (Pin and Vee Block)

Esse tipo de ensaio consiste em ter um eixo girando numa determinada rotação entre uma bucha circular bipartida pressionando o eixo. O tempo de aplicação atua em intervalos de 10 segundos e as cargas aplicadas estão em libras (MOURA, 1975). As informações do coeficiente de fricção estão diretamente ligadas à medição do torque no pino giratório e quando as buchas bipartidas possuem um perfil de U é chamada de Ensaio Almen já o ensaio Falex possui o mesmo princípio, mas a bucha bipartida tem uma forma de corte em V (MOURA, 1975). Como podem ser vistos na Figura 3.

Figura 3– Contato Pino em bloco V - bucha bipartida com cortes em V ou U.



Fonte: GUALBERTO ET AL. 2020.

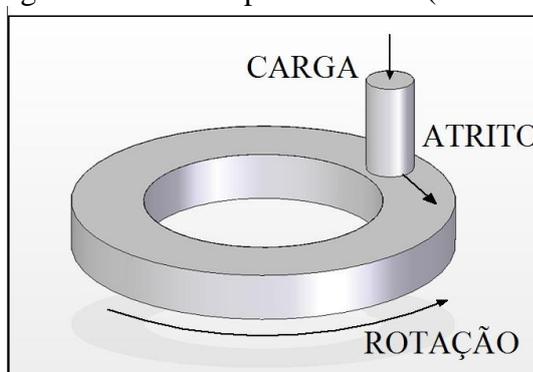
Junxiu e Yuansheng (1991) avaliaram aditivos de lubrificantes adicionados a um óleo mineral como base, realizando testes com superfícies de cobre, aço e ferro fundido com os seguintes aditivos: dibenzil bissulfeto, fosfito di-n-butil, dialquilditiofosfato de zinco e organoboro. Os autores aplicaram uma carga inicial de 88,9 N, sendo acrescentado 88,9 N a cada dois minutos de teste, tendo sido observado que o aditivo organoboro apresenta ótimas propriedades antidesgaste, principalmente quando atuou entre superfícies de cobre e aço. O fosfito di-n-butil apresentou boa lubrificação quando submetido entre as superfícies de cobre e aço e também nas superfícies de ferro fundido e aço. Já o dibenzil bissulfeto e o dialquilditiofosfato de zinco se destacaram como bons aditivos lubrificantes entre superfícies de aço segundo estes autores.

Em outro estudo Riddler e Bailerare (2005) analisam a resistência ao desgaste de superfície submetida ao revestimento de níquelboro foi utilizada a tecnologia do banho de revestimento Ultracem™ e pressão aplicada de 3.447 Mpa por 15 minutos. O sistema apresentou pouca perda de massa e o valor do coeficiente de atrito foi menor em relação aos outros revestimentos, sendo eles níquel não eletrizado, carbetto de tungstênio e cromo duro.

2.4.3 Pino no disco (Pin on Disk)

Esse tipo de contato consiste basicamente de um disco em rotação em contato com a carga aplicada em um pino, de modo que o disco pode tocar a mesma região radial ou variar sua posição, tocando em regiões que ainda não possuem desgaste no pino. (GUALBERTO ET AL, 2020). A medição de desgaste pode ser feita por um perfilômetro ótico, que avalia a profundidade das ranhuras formadas no disco devido ao desgaste. Este tipo de contato como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – Contato pino no disco (Pin on disk).



Fonte: GUALBERTO ET AL. 2020.

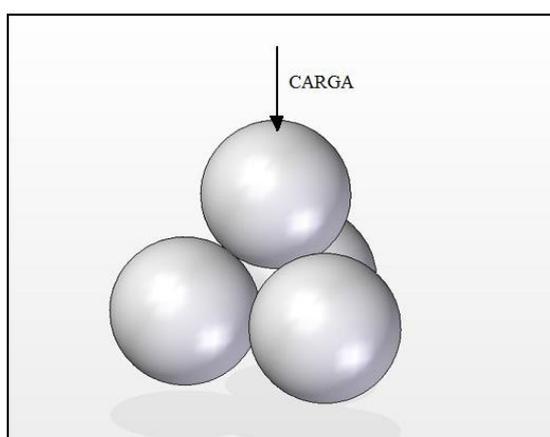
Dos ensaios executados, equações para a previsão da temperatura na região de contato para amostras de cerâmica (zircônia), metal (aço inoxidável) e polímero (polietileno), apresentando nos resultados obtidos através de simulação computacional por elementos finitos e testes físicos em laboratório que o desgaste em sistemas com disco de cerâmica e pino metálico pode acarretar no aumento do desgaste na cerâmica devido a transformação de fase ocorrida devido a alta temperatura de contato (KENNEDY, LU E BAKER, 2015).

Em outro estudo Syahrullail et al (2013) testa a lubrificidade de um óleo fabricado com base em óleo de palma em comparação a um óleo hidráulico, foi aplicada uma carga vertical de 10 N no pino parado e testado o comportamento do óleo em duas velocidades, 0,4 m/s e 4 m/s, seguindo a norma ASTM G99. A ponta do pino possui formato semiesférico e com o mesmo material do disco, sendo aço inoxidável 316L e com o tempo de duração de uma hora.

2.4.4 Quatro bolas (Four Ball)

É o tipo de contato em que se utiliza quatro esferas, sendo uma esfera apoiada em outras três em forma de pirâmide e normalmente as três esferas inferiores são menores e mantidas estacionárias enquanto a esfera superior é rotacionada, dessa forma, é possível obter desgaste de deslizamento. A medição do desgaste é feita através da análise das ranhuras nas três bolas menores estacionárias, através de um microscópio ótico (GUALBERTO et al, 2020). O posicionamento das quatro esferas é visto na Figura 5.

Figura 5 – Ensaio com contato Quatro Bolas (Four Ball).



Fonte: GUALBERTO ET AL. 2020.

Zulkiflu et al (2013) avaliaram a lubrificidade de óleo oriundo do petróleo e de um biolubrificante éster trimetilpropano adicionado de partículas de óxido de titânio (TiO_2). O experimento ocorreu com a análise do uso de diferentes cargas, sendo elas de 40 kg, 80 kg, 120 kg e 160 kg à rotação de 1200 rpm por 10 minutos, com temperatura do teste sendo a temperatura do laboratório e utilizados 10 ml de lubrificante. Foi constatado que houve mudança abrupta do coeficiente de fricção quando utilizado carga de 80kg e quando utilizado carga de 160kg. Essa mudança no coeficiente de fricção ocorreu devido o filme de fluido não ter se desenvolvido devido a alta carga aplicada entre as superfícies. Com isso, o biolubrificante adicionado de TiO_2 apresentou redução de 15% no coeficiente de atrito para altas cargas. O biolubrificante com aditivo também teve menor diâmetro de ranhura especialmente para cargas de 40kg.

Já Asrul et al (2013) avaliaram a influência de partículas suspensas de óxido de cobre em diferentes concentrações diluídas em lubrificante feito à base de petróleo, tendo sido aplicada uma carga de 40kg com rotação de 1200 rpm com o lubrificante a temperatura que variou entre 60°C e 70°C com duração de 15 minutos. Foi constatado que a adição de

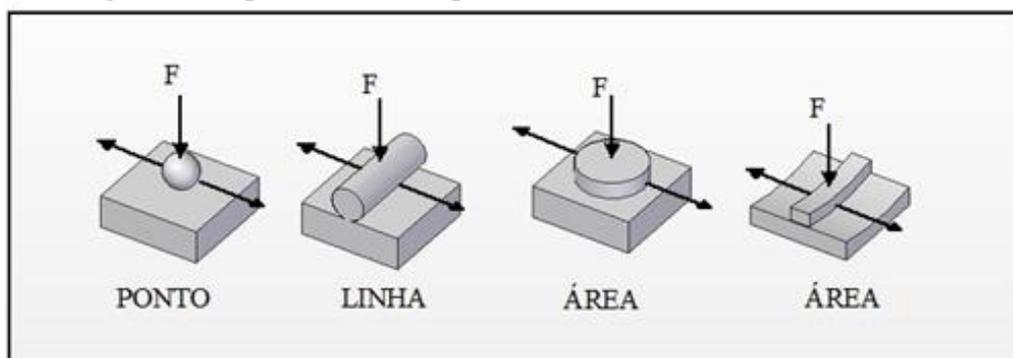
micropartículas melhora a lubrificação entre as superfícies, isso ocorre devido ao fato de que as micropartículas se acumulam entre as superfícies, principalmente quando a espessura do filme lubrificante se torna pequena devido a altas cargas, distribuindo parte da carga aplicada entre as partículas e a superfície. Além disso, devido a geometria esférica das partículas de óxido de cobre, elas acabam funcionando como elementos rolantes, auxiliando no movimento de deslizamento entre as superfícies.

2.4.5 Contato Linear Alternativo (*Linear Reciprocating*)

Esse tipo de contato se dá no movimento alternativo, é um modelo de teste que se diferencia dos outros testes aplicados devido possuir um movimento de “vai e vem”, no qual permite bons resultados em análise de desgaste onde a medição da velocidade do teste se dá em Hertz ou em ciclos por segundo, devido ao tipo de movimento oscilatório realizado pelo contato entre a carga e a amostra estacionária. O ensaio HFRR (High Frequency Reciprocating Rig) utiliza esses tipos de contatos, sendo bastante empregado para avaliação tribológica de diesel misturado com diferentes concentrações de etanol, devido a sua sensibilidade nos resultados quando o fluido lubrificante em questão é adicionado em pequenas concentrações de aditivo, sendo ideal para testes de combustíveis.

A Figura 6 apresenta a disposição do contato, podendo ter suas variações para cada aplicação.

Figura 6 – Tipos de contatos para o ensaio Linear Alternativo.



Fonte: GUALBERTO ET AL. 2020.

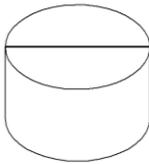
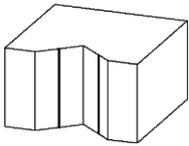
Kuszewski et al (2017) realizaram testes seguindo a norma ISO 121156-1 com duração de 75 minutos, a uma frequência de 50 Hz, comprimento de curso de 1mm e com volume de amostra de 2 cm³. Após a realização dos testes, foi constatado que a adição de etanol até a concentração de 14% (v/v) não causa nenhuma mudança significativa em relação

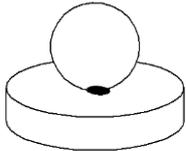
a lubricidade do diesel comum, entretanto, a mistura atinge os requisitos de lubricidade para um combustível segundo as normas. Mesmo assim, pôde-se constatar que houve dificuldade na realização dos testes devido à alta volatilidade do etanol.

2.4.6 Parâmetros comparativos para os ensaios

Considerando os diversos métodos apresentados é possível fazer um comparativo dos parâmetros dos ensaios estudados com o intuito de escolher o tipo de contato que seja mais adequado a possibilidade de fabricação de um equipamento de ensaio tribológico. Dessa forma a Tabela 1, mostra o tipo de contato e o tipo de desgaste gerado no ensaio conforme sua especificação.

Tabela 1– Ensaios e contatos de Lubricidade

Ensaio	T (min)	V	C (kg)	M	CPD	E	Contato de desgaste
Bloco no Cilindro BC	10 a 9999	1000 a 1500 rpm	1 a 10	Motor de passo de controle de loop fechado aplicada força de ensaio	Quadrado 12.32mm x 19.05mm Cilindro Ø49.22mm	ASTM D 2782 Timken	 1 Linha
Pino e Bloco v	10 a 240	270 rpm inicial	1 a 12	Motor de passo	Blocos em V ou U 20mm de altura Pino Ø12,7mm	ASTM D 2670, D2626, D3233, D5620	 2 linhas
Pino no disco	10 a 60	0,4 a 4 m/s	1 a 12	Motor de passo	Disco Ø 200mm Pino Ø 10mm	ASTM G99	 Um disco
Four Ball FB	60 a 9999	1000 a 3000 rpm	1 a 40	1,5 kW (2cv)	Esferas Aço cromo Diâmetro de 12,7mm	ASTM D2266, D2596, D2783, D4172, D5183, IP 239	 Uma região circular 0,1 a 1mm de diâmetro

Contato Linear Alternativo	60 a 120	10 a 200 Hz	0,1 a 1	Motor de Frequência variável de 10 Hz a 200 Hz via software	Disco: Ø10 mm e 3 mm de espessura esfera de Ø 6 mm	ASTM D6079, D7688; ISO 12156; IP 450; EN 590; CEC F-06-A	 <p>20µm a 2mm de comprimento</p>
----------------------------	----------	-------------	---------	---	--	--	--

Legenda: T – tempo de Duração, V - Velocidade ou frequência, C – Carga, M - Motor de acionamento, CPD – Corpo de prova e dimensão, E – Especificações

Fonte: Adaptado de GUALBERTO ET AL. 2020.

Seguindo-se os dados da Tabela 1 observa-se que o tipo de contato mais simples para seguir esse projeto foi bloco no cilindro, porque pode-se usar dois corpos de prova cilindros de mesma dimensão no qual reduz um trabalho de fabricação, já que é possível comprar o material em perfil circular com um bom acabamento superficial e para o equipamento protótipo será utilizado um motor elétrico monofásico 6 polos 220 V a 60 Hz com 1100 ± 50 RPM no qual o tempo de teste vai depender o tipo de controlador encontrado no comércio eletrônico e as cargas aplicadas variam de 1 a 10 kg.

O material adotado para os corpos de prova será o aço 1020 trefilado, material com ampla disponibilidade e razoável repetitividade quanto à sua estrutura interna. A partir desse ponto, ajustou-se o projeto conceitual do equipamento proposto, materiais selecionados, aproveitando-se configurações e dimensões advindas de experiências prévias tais como o estudo de revisão de Gualberto et al (2020), a pesquisa de Wang et al (2018) e Cavalcante (2014).

3 MÉTODOLOGIA

3.1 Projeto e construção do Protótipo

Seguindo as afirmações do tópico 2.4.6 para a criação desse equipamento foi escolhido o contato Bloco no cilindro que por sua vez é usado a sigla BC para facilitar o entendimento. A estrutura do equipamento deve ser metálica em forma de caixa com um barramento firme e dobras para garantir estabilidade e amortecimento de vibrações. Um mandril de furadeira manual (especificado de 1/2 polegada) será colocado para fixar o corpo de provas que será rotacionado. Foram utilizados dois painéis eletrônicos, encontrados

comercialmente como um controlador de tempo na faixa de 0 a 900 segundos e mostrador de temperatura em °C no qual utiliza um sensor externo posicionado no compartimento de óleo a ser analisado e o outro painel digital que mostra o número de rotações em RPM de saída no corpo de provas rotativo.

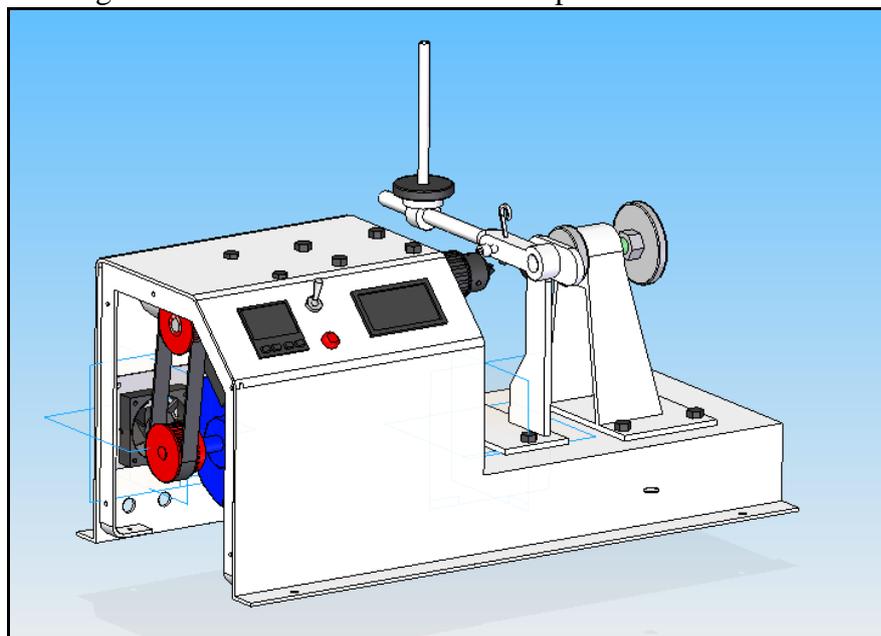
O motor elétrico de ligação monofásico de 0,7 CV 220 V a 60 Hz e rotação livre de 1100 ± 50 rpm é ajustado ao projeto de forma que disponibilize espaço para acoplar o sensor de torque com seu ajuste por correia e todos os outros componentes internos, de modo que, não ocorra nenhuma interferência e uma altura de trabalho para facilitar o acesso a troca de corpos de provas e ao manuseio diverso.

Sobre os corpos de provas devem ter uma dimensão padrão para não gerar desvios das análises, sendo assim utilizados duas unidades por teste, onde um possui um movimento de rotação apoiando o outro corpo em uma das suas faces transversais e as suas substituições devem ser de simples acesso e uma exigência é que o corpo de provas rotativo deve ter um apoio na outra extremidade para garantir alinhamento quando for aplicado a carga de teste.

Ao juntar todas as informações usa-se um software de modelagem no qual agiliza e facilita a gestão do projeto, deixando a escolha do projetista qual o software que melhor lhe convém, sendo que neste caso foi utilizado SOLID EDGE.

Uma estrutura com as posições de alguns componentes pré-estabelecidos, onde cada componente existente comercialmente é desenhado com suas dimensões originais, são conectados uns aos outros sequencialmente e um alinhamento é estabelecido como é visto na Figura 7.

Figura 7- Estrutura com todos os componentes conectados.

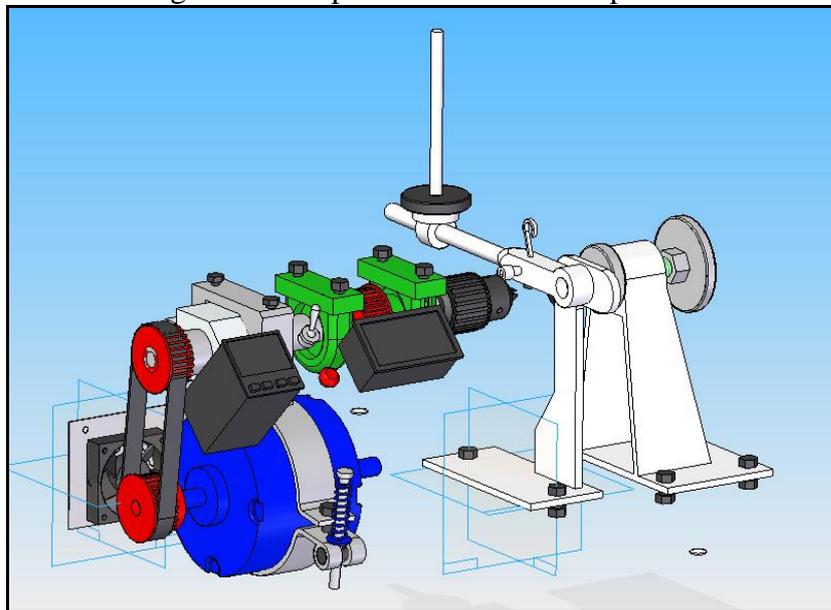


Fonte: Autor.

Internamente o motor elétrico transmite movimento rotativo para o sensor de torque por meio de uma correia dentada onde evitam um possível escorregamento que por sua vez o sensor está acoplado ao eixo árvore, sendo apoiado por dois mancais e entre eles está um sensor magnético de rotação para captar a variação de rotações.

Na parte externa, o mandril está acoplado ao eixo árvore cuja função é fixar o corpo de provas rotativo para que no procedimento do teste o corpo de provas fixo entre em contato. Esse esquema é visto na Figura 8, que mostra toda a montagem dos componentes sem a estrutura externa, facilitando o entendimento de como cada componente está interligado a outro.

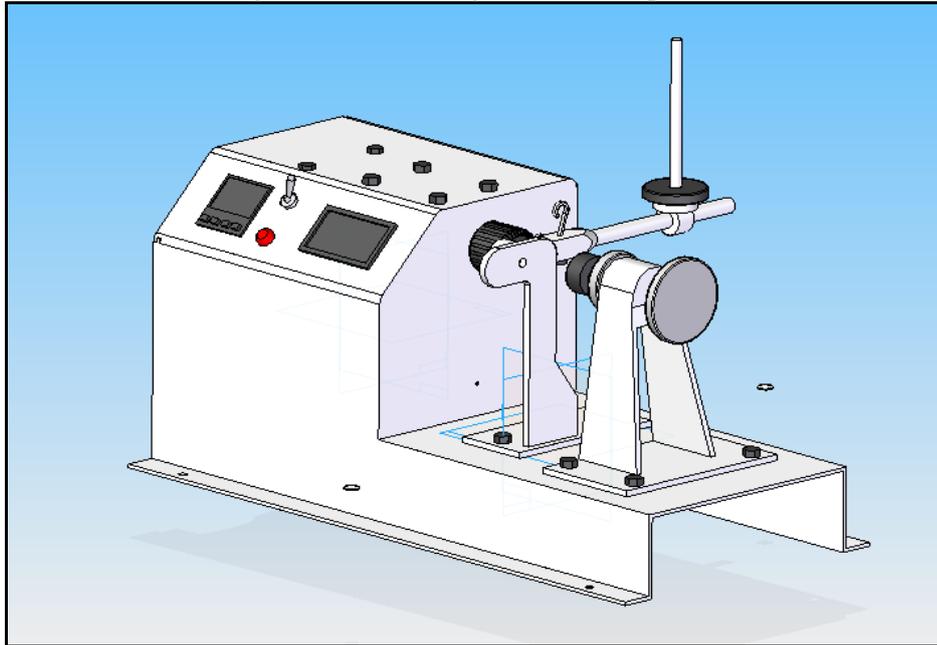
Figura 8: Componentes internos acoplados.



Fonte: Autor.

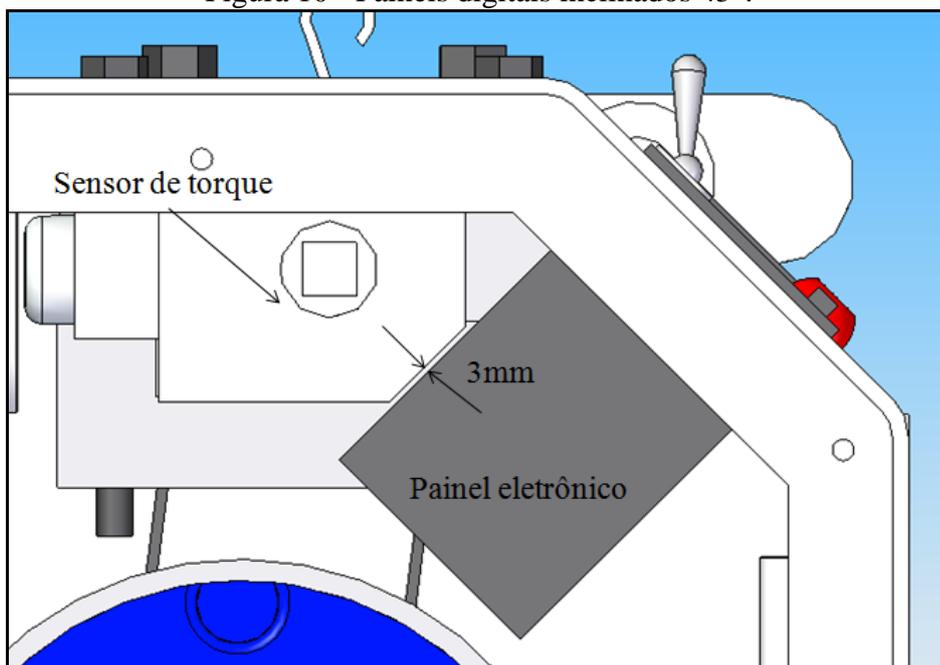
Um eixo de apoio ou contra ponta é utilizado para garantir que o corpo de provas rotativo não flexione, ele é um parafuso ajustador de modo que ajustado ao furo de centro do corpo de provas rotativo deve ser travado com um auxílio de uma porca recartilhada. A Figura 9 mostra como está organizado a locação de cada parte e a forma que a contra ponta se ajusta para o processo de substituição dos corpos de prova rotativo.

Figura 9: Visualização da contra ponta.



Fonte: Autor.

A inclinação de 45° na face frontal da estrutura foi estabelecida para que cada painel digital fique numa posição mais cômoda ao operador, de tal forma que aproveitasse o formato do sensor de torque para ter uma redução de espaço interno e como pode ser visto na Figura 10, o painel eletrônico fica a uma distância de 3mm do sensor sem complicar o processo de montagem ou algum risco de interferência com algum outro componente.

Figura 10 - Painéis digitais inclinados 45° .

Fonte: Autor.

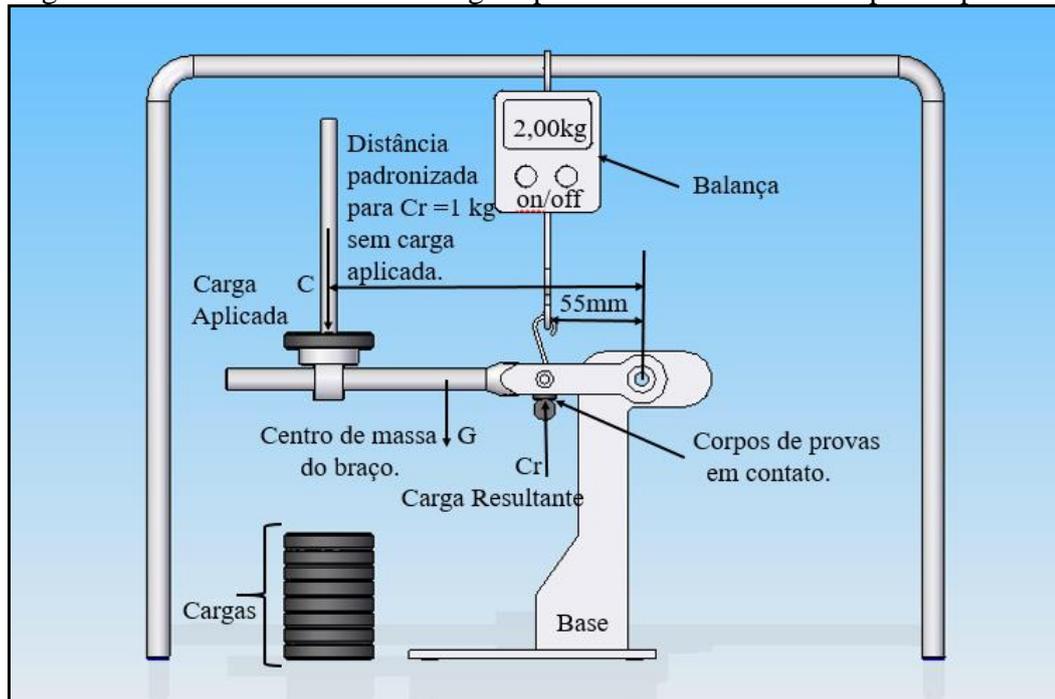
3.2 Cargas aplicadas nos corpos de prova

De início a primeira carga aplicada é o somatório das massas referentes à estrutura do braço de suporte. O ponto localizado a 55 mm do centro de rotação do braço foi escolhido para o melhor aproveitamento de espaço e a posição de encaixe das cargas foi encontrada utilizando o aparato onde uma balança digital suspensa para aferir no ponto da Carga Resultante C_r correspondente ao valor de 1kg.

São utilizadas 9 (nove) cargas, sendo que cada carga é ajustada para acrescentar 1 kg no qual um total de 10 kg. O material utilizado para a fabricação de cada unidade de carga é o chumbo.

O procedimento de aferimento é visto na Figura 11, que nesse exemplo possui 2 kg, sendo uma carga adicionada de 1 kg somada a 1kg da reação do braço no ponto C_r .

Figura 11 - Posicionamento das cargas aplicadas ao ensaio nos corpos de provas.



Fonte: Autor.

3.3 Os corpos de prova

Para realizar cada teste será utilizado um par de corpo de provas, sendo um com comprimento de 25 mm, este sendo fixo a estrutura e o outro com 50 mm, pois 25 mm de seu comprimento será usado para fixação no mandril.

O material aplicado é aço 1020, trefilado, seu comprimento por vara é de 6000 mm, de modo que é possível fabricar 76 pares de corpos de prova, realizando 38 testes.

Como é visto na Tabela 1, o ensaio contato BC, disponibiliza uma variação de rotação entre 1000 e 1500 RPM, como neste projeto é usado um motor com rotação constante então é escolhido um faixa de corpos de prova com dimensões diferentes.

Tem-se três possibilidades de diâmetros com suas respectivas velocidades tangenciais correspondentes a rotação do motor de 1100 ± 50 rpm, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2– Diâmetro e Velocidade tangencial

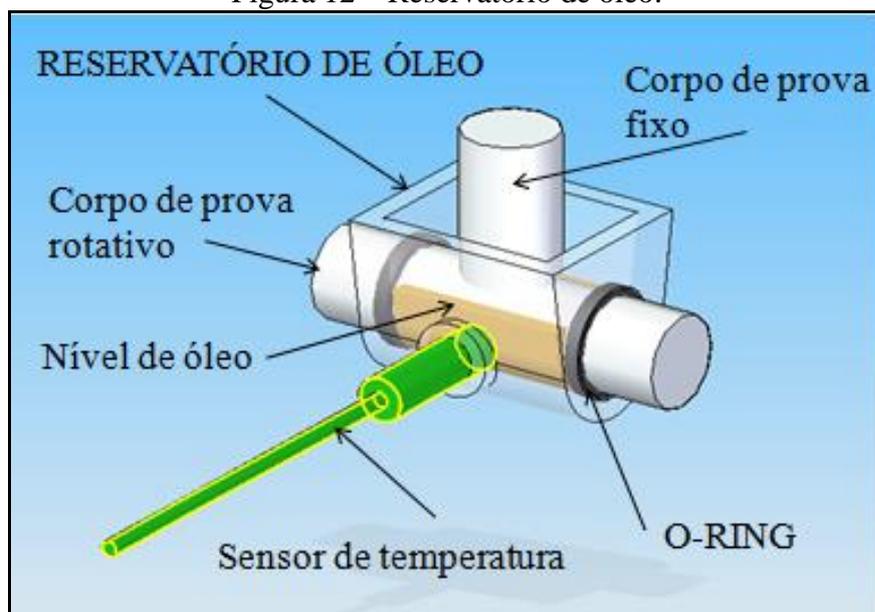
Diâmetro (" - mm)	Velocidade Tangencial (m/s)
5/16 - 7,9	0,417
3/8 - 9,5	0,502
1/2 - 12,7	0,671

Fonte: Autor.

3.4 Reservatório de óleo para o teste

É necessário que se tenha no contato entre os corpos de provas óleo lubrificante de teste de forma que um reservatório deve ser acoplado para garantir que o fluido permaneça durante o teste. Foi desenvolvida uma estrutura de polímero (Nylon) que não possua absorção do óleo e que tenha a menor capacidade volumétrica no qual 5,0 ml, onde é possível ver na Figura 12.

Figura 12 – Reservatório de óleo.



Fonte: Autor.

3.5 Máquina desenvolvida

O projeto finalizado é apresentado no APÊNDICE A – PROJETO MECÂNICO – EQUIPAMENTO PARA TESTE DE LUBRICIDADE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES MINERAIS E SINTÉTICOS , onde todas as peças foram construídas e montadas seguindo padrões de processos de fabricação e usinagem convencional.

O APENDICE B – ESQUEMA ELÉTRICO e o APENDICE C- ESQUEMA ELETRÔNICO são apresentados para fins de algum ajuste posterior, como por exemplo, adicionar um novo sensor qualquer, de modo que sua estrutura elétrico-eletrônica seja interligado ao equipamento sem nenhum dano.

A máquina possui 55 cm de comprimento, 25 cm de largura e 41 cm de altura com a haste de suporte das cargas, como pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 – Máquina desenvolvida.



Fonte: Autor.

A máquina acompanha 9 (nove) cargas feitas de chumbo, uma chave Allen 1/8”, uma chave de mandril, a estrutura de suporte da balança suspensa e o APÊNDICE D – MANUAL DO USUÁRIO E DE SERVIÇO.

3.6 Armazenamento de dados dos testes

O processo de aquisição de dados requer a interação entre o equipamento e um computador, de modo que o meio que interliga os dois é um conjunto eletrônico Arduino e os cabos de alimentação, como pode ser visto na Figura 14.

Figura 14: Conexão máquina - computador.



Fonte: Autor.

O banco de dados será o responsável para explicar o resultado do comportamento dos materiais em estudo, comparando os torques aplicados no decorrer do tempo.

Os dados de rotação do motor em RPM, não são transmitidos para o Arduino, mas constam em forma visual para o operador no segundo painel digital.

3.7 Teste Experimental

3.7.1 Óleos Analisados

Os óleos lubrificantes utilizados para os experimentos foram o Óleo Mineral SAE 20W50 (Óleo A) produzido para lubrificação de motores de combustão interna monocilíndricos 4 tempos e o Óleo Sintético duplo éster (di-éster) SAE 5W40 (Óleo B) produzido para lubrificação de motores de motos esportivas, que funcionam com altas rotações e elevadas temperaturas, cujas propriedades podem ser comparadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades dos óleos lubrificantes analisados

Número da propriedade	Propriedade	Óleo A	Óleo B	Padrão
1	SAE Grade	20W-50	5W-40	-
2	Viscosidade 40°C (cSt)	146	72,7	ASTM D445
3	Viscosidade 100°C (cSt)	17,8	13,32	ASTM D445
4	Índice de viscosidade	135	187	ASTM D 2270
5	Ponto de fluidez (°C)	-18	-45	ASTM D 97

Fonte: Autor.

3.7.2 Ensaio de teste *Four Ball (FB)*

Para facilitar o entendimento é usado a sigla FB para o ensaio Four Ball, de modo que foram realizados dois testes, sendo que o equipamento disponibiliza o tempo mínimo de 15 minutos, utilizando a carga máxima disponível de 5kgf no reômetro Discovery HR-3, a velocidade de rotação 1150 ± 50 RPM e temperatura ambiente de $30,9^{\circ}\text{C}$.

Para a execução do ensaio FB foram utilizadas 4 esferas Aço Cromo de 12,7 mm de diâmetro, retificadas e limpas com solvente acetona. Inicialmente, inseriu-se as esferas em seus receptáculos. Após isso, inseriu-se o óleo a ser utilizado em um volume aproximadamente 8mL. Com o óleo condicionado no recipiente, definiram-se os parâmetros de teste e executou-se o experimento. Ao final do teste coletaram-se os dados no computador para análise. A Tabela 4 mostra as propriedades seguidas neste ensaio.

Tabela 4 – Parâmetro do ensaio de teste FB

Número do Parâmetro	Parâmetro de teste	Valores
1	Carga normal aplicada (kg)	5
2	Velocidade Angular (RPM)	1150±50
3	Tempo de Duração (min)	15
4	Temperatura Ambiente ($^{\circ}\text{C}$)	30.9
5	Volume de óleo (mL)	8

Fonte: Autor.

3.7.3 Ensaio de teste *Bloco no cilindro (BC)*

Para avaliar o comportamento do equipamento desenvolvido, foram realizados dois testes com os parâmetros semelhantes ao teste FB, sendo de 15 minutos com a carga estabelecida de 5,0 kg, no qual o tempo de preparação do reservatório e substituições dos corpos de provas de 5 minutos após cada teste e foi utilizado 5,0 mL de lubrificante em cada ensaio. Todos os parâmetros podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetro do equipamento desenvolvido - BC

Número do Parâmetro	Parâmetro de teste	Valores
1	Carga normal aplicada (kg)	5
2	Velocidade Angular (RPM)	1100
3	Tempo de Duração (min)	15
4	Tempo de preparação entre testes (min)	5
5	Temperatura Ambiente ($^{\circ}\text{C}$)	31
6	Volume de óleo (mL)	5

Fonte: Autor.

O procedimento de ensaio se deu pela seguinte sequência. Primeiramente, inseriu-se o óleo no reservatório, ligou-se o equipamento sem a aplicação da carga, esperou-se dez segundos, tempo suficiente para o óleo circular pelo sistema e permitir sua acomodação no recipiente e ao redor do corpo de prova rotativo por capilaridade e para normalizar forças inerciais. Após isso, a carga de 5kg é aplicada e iniciou-se o processo de coleta de dados de torque.

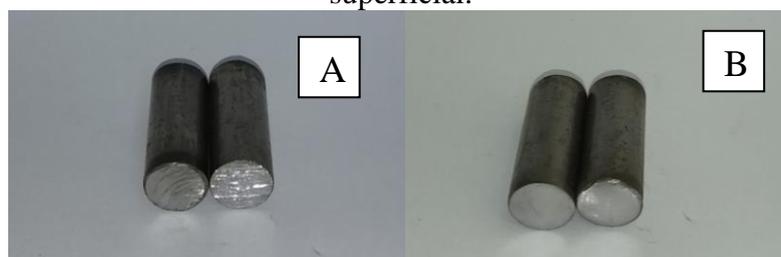
Ao final a carga é retirada e os corpos de provas juntamente com o óleo são separados e guardados em um recipiente plástico e os dados obtidos são armazenados para avaliação.

3.7.4 Preparação dos corpos de prova do ensaio BC

Para a realização de cada teste as superfícies de contato são preparadas, de modo que, os corpos de prova rotativo recebem um processo de lixamento no torno mecânico já que estão no processo de fabricação e, neles são usados a lixa de granulação número 1200 com aplicação de água.

Já os corpos de prova fixos receberam um tratamento diferenciado, pois somente uma das faces é analisada e mostram as impressões de desgaste devido o contato. No tratamento são usadas as lixas de granulação número 200, 400 e 1200, nessa sequência, com adição de 15 mL de água por corpo de prova em um processo de lixamento manual numa mesa retificada em um movimento alternativo, ou seja, de vai e vem 40 vezes em uma única direção arbitrária, depois os mesmos são rotacionado em 90° e efetuou-se o lixamento por mais 40 vezes em sentido único. É importante relatar que cada procedimento de lixamento utiliza uma unidade nova de lixa cuja dimensão é de 100 mm de comprimento por 50 mm largura. A Figura 15 apresenta o acabamento dos corpos de prova antes e depois do processo de lixamento manual.

Figura 15: Corpos de prova fixos antes (A) e depois (B) do processo de acabamento superficial.



Fonte: Autor.

E para a realização dos testes, antes da inserção de cada corpo de prova na bancada de testes, foi efetuada limpeza com álcool com concentração de 70% nos corpos de prova.

3.7.5 Micrografia

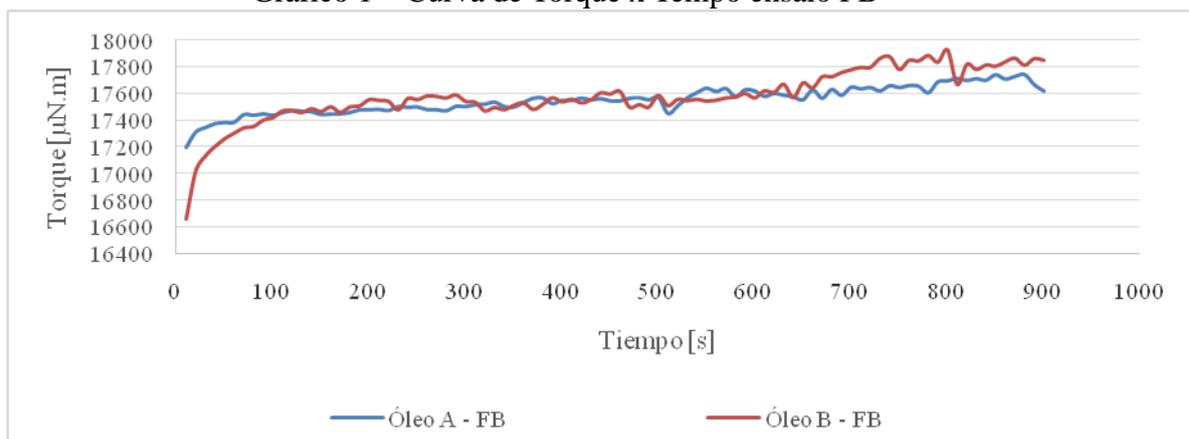
A fim de se realizar as análises das ranhuras de desgaste por meio de micrografias, foi utilizado o microscópio de platina invertida Leica DMI 3000 M com câmera digital Leica DFC295.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação dos dados de torque no ensaio FB

Com a realização do ensaio FB, foi possível coletar dados de torque em função do tempo de execução. Ao observar o Gráfico 1 é possível notar que o Óleo A iniciou com uma curva de torque mais elevada que o Óleo B entre 0 e 100 segundos e no decorrer deste período quase que estabilizou, ocorreu uma elevação na faixa de 17400 $\mu\text{N.m}$ para 16500 $\mu\text{N.m}$.

Gráfico 1 – Curva de Torque x Tempo ensaio FB



Fonte: Autor.

O Óleo B seguiu estabilizados em curtas oscilações como a mesma elevação de coeficiente angular que o óleo A entre 100 segundos e 650 segundos, porem a partir daí registou uma elevação no Torque, chegando a 17750 $\mu\text{N.m}$ em 800 segundos.

A Tabela 6 mostra os resultados do torque médio e desvio padrão em cada óleo analisado.

Tabela 6 – Dados captados durante toda a execução - FB

Óleo	Torque Médio ($\mu\text{N.m}$)	Desvio padrão do Torque
A	17549,4	100,5
B	17579,8	198,3

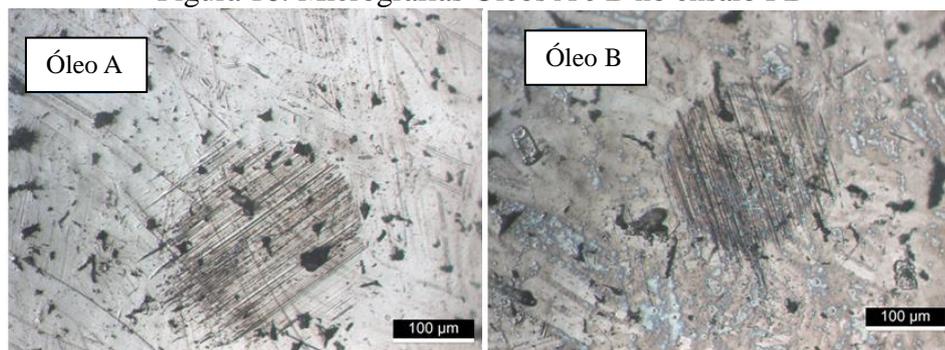
Fonte: Autor.

Foi observado que o torque médio do Óleo A é menor que o torque médio para o Óleo B em relação ao período de teste, desse modo, o óleo A apresenta maior lubricidade do que o óleo B.

4.2 Micrografia dos corpos de prova no ensaio FB

Também foram realizadas micrografias das amostras do Ensaio FB, apresentadas na Figura 16.

Figura 16: Micrografias Óleos A e B no ensaio FB



Fonte: WearScarDiameter (WSD).

As imagens da Figura 16 foram feitas em uma única esfera utilizada no ensaio de cada óleo analisado, pode-se verificar que a ranhura causada devido ao atrito nos corpos de prova lubrificadas pelo Óleo A são menores em relação aos corpos de prova lubrificadas com Óleo B. A Tabela 7 apresenta os valores WSD das micrografias.

Tabela 7 – WSD do ensaio FB

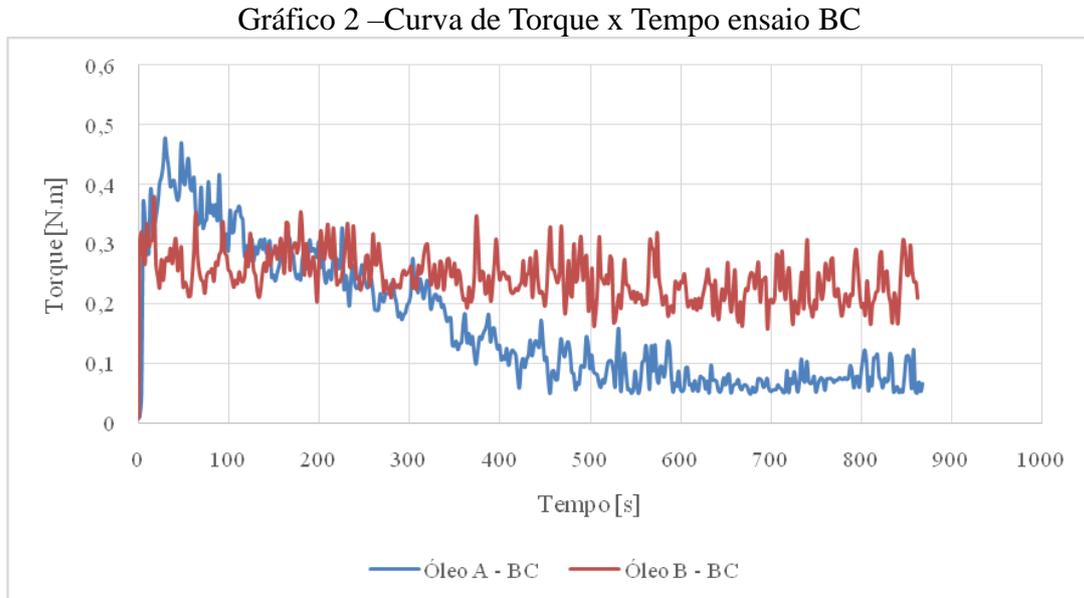
Óleo	Comprimento de cicatriz (μm)
A	202,30
B	266,49

Fonte: Autor.

Portanto, por meio da análise do torque e do WSD, é possível verificar que no ensaio FB o Óleo A apresentou maior lubricidade em comparação ao óleo B.

4.3 Avaliação dos dados de torque no ensaio BC

Os dados de torque em função do tempo do ensaio Bloco no cilindro são captados para o Óleo A e o Óleo B e são convertidos para o Gráfico 2 a seguir.



Foi observado que para o óleo A houve uma elevação do torque próximo a 0,48 N.m entre o período de 0 a 80 segundos, já entre o período de 80 segundo e 600 segundos a curva mostra um decaimento quando a estabilizar a partir dos 650 segundos entrando em um regime de lubricidade constante pois as oscilações ficaram mais curtas numa mesma faixa de torque localizado entre 0,05 e 0,08 N.m.

Ao observar o Óleo B, entre 0 e 25 segundos aproximadamente ocorre um pico de torque 0,38 N.m, mostrando a mesma característica do Óleo A para a acomodação das superfícies de contato, porem em menor tempo.

Ocorreu um decaimento suave entre os 25 e 600 segundos, no qual se torna uma distribuição horizontal a partir desse período. A Tabela 8 mostra os resultados do torque médio e desvio padrão em cada óleo analisado durante o período de 900 segundos.

Tabela 8 – Dados captados durante toda a execução - BC

Óleo	Torque Médio (N.m)	Desvio padrão do Torque
A	0,14	0,08
B	0,24	0,04

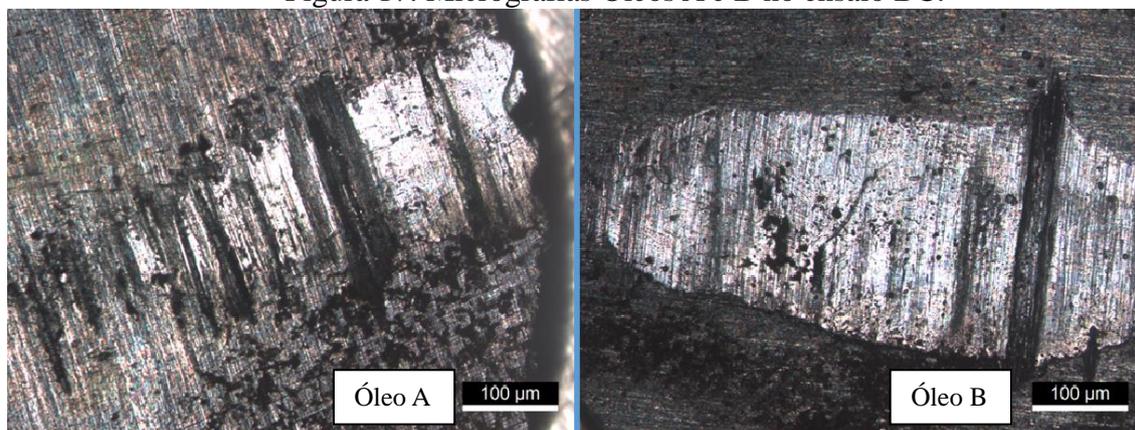
Fonte: Autor.

Avaliando-se a Tabela 8, percebe-se que o óleo A apresentou menores valores de torque médio que o Óleo B, porém o Óleo A demonstra ser mais instável ao longo do ensaio que o óleo B.

4.4 Micrografia dos corpos de prova do ensaio BC

Os corpos de provas fixos são levados para o ensaio de micrografia *WearScarDiameter (WSD)*, onde é esperado que o corpo de prova que apresentou maior valor de torque apresente também o maior valor de desgaste e podem ser vistos na Figura 17.

Figura 17: Micrografias Óleos A e B no ensaio BC.



Fonte: WearScarDiameter (WSD).

Pela Tabela 9 pode-se observar que os menores valores de WSD estão relacionados ao sistema que utilizou o Óleo A, onde também é afirmado pela análise do valor do torque resistivo que são de menores valores que o Óleo B.

Tabela 9 – WSD para ensaios BC

Óleo	Medida de cicatriz de desgaste (μm)	Comprimento do desgaste em linha (mm)
A	203,64	0,780
B	238,00	0,782

Fonte: Autor.

Desse modo, para avaliar se o equipamento protótipo de ensaio BC tem relevância no qual ficou explícito que o Óleo A apresentou melhor desempenho de lubricidade em comparação com o Óleo B, então é usando o Ensaio FB como comparação.

4.5 Resultados de comparação entre os ensaios FB e BC

O resultado qualitativo para a comparação entre os ensaios BC e FB demonstra que o Óleo B apresentou maior valor de torque médio com relação ao Óleo A, ou seja, o torque necessário para realizar um movimento é proporcional ao atrito de resistência para começar e manter o movimento.

Ambos os óleos tiveram um pico de torque inicial relacionados ao acabamento superficial sem desgaste. Neste início de contato, as superfícies se acomodam estabilizando as rugosidades fazendo que uma camada fina do lubrificante fique presente nesses vazios do desgaste inicial.

Segundo Gualberto et al (2020), os regimes de lubrificação podem ser verificados na curva de Stribeck, que é um gráfico do coeficiente de fricção, como função do produto da viscosidade absoluta e da velocidade de rotação em revolução por segundo.

No início do contato ocorre a lubrificação limite, onde há um desgaste maior, pois a espessura do filme lubrificante é menor que as asperezas das rugosidades dos corpos e no decorrer do movimento as rugosidades se ajustam modificando a espessura do filme de lubrificante entrando na região de lubrificação elasto-hidrodinâmica onde pode haver contatos mínimo entre as rugosidade e esse ajuste ainda segue até que o contato entre na região de lubrificação hidrodinâmica onde o filme é mais espesso que as rugosidades, o desgaste ainda vai continuar, mas agora devido o contato das partículas separadas e suspensas no lubrificante devidos os regimes anteriores.

Pode-se afirmar que na primeira montagem de um equipamento, os acabamentos superficiais se acomodam no decorrer de um curto tempo encontrando um equilíbrio de acabamento superficial, e para se manter essa qualidade vem a necessidade de substituição do lubrificante para retirar em parte o particulado solto no meio.

No teste FB, os corpos de provas possuem acabamento superficial bastante superior com relação aos corpos de provas do ensaio BC. As esferas de aço Cromo do ensaio FB possuem uma dureza maior que o aço 1020 do ensaio BC e como o contato é pontual, ou seja, as esferas se tocam em um único ponto, as oscilações são menores e traz uma sensibilidade maior aos dados de torque em comparação o ensaio BC onde a região de contato é uma reta de comprimento proporcional ao comprimento do desgaste do corpo de prova fixo.

De uma forma matemática a Equação 1 mostra:

$$\frac{\text{Torque Médio FB}}{\text{Torque Médio FB Teórico}} = \frac{\text{WSD FB}}{\text{Desgaste Corpo de prova fixo BC}}$$

$$\frac{0,017540 \text{ N.m}}{\text{Torque Médio FB Teórico}} = \frac{0,2023 \text{ mm}}{0,782 \text{ mm}} \quad 2$$

Seguindo essa analogia é possível ver na Tabela 10 a seguinte correspondência para os óleos A e B.

Tabela 10 – Dados de comparação do torque médio entre os ensaios BC e FB teórico

	Ensaio BC	Ensaio FB	Ensaio FB Teórico		
Óleo	Torque Médio (N.m)	Torque Médio (N.m)	Torque Médio (N.m)	 Torque médio FB teórico – Torque médio FB 	 Torque médio FB teórico – Torque médio BC
A	0,14	0,0175494	0,0676451	0,050	0,072
B	0,24	0,0175798	0,0514550	0,033	0,188

Fonte: Autor.

O módulo da diferença entre o torque teórico FB e os torques médios de FB e BC mostra uma região de precisão de modo que traz o quão próximo estão os dados que o equipamento projetado está do equipamento padronizado. Outra característica é a forma que os óleos analisados são comparados, ou seja, o Óleo A para os dois testes tem uma proximidade de 0,022 N.m, e para o Óleo B uma diferença de 0,147 N.m.

5 CONCLUSÃO

Realizou-se a análise de lubricidade para dois tipos de óleos lubrificantes com especificações diferentes no equipamento protótipo de ensaio Bloco no cilindro, obtendo-se um resultado análogo ao proporcionado pelo equipamento padronizado *Four Ball*. Em ambos os procedimentos o Óleo A apresentou dados de torque médio menores que os dados de torque médio do óleo B e a diferença de precisão em torno de 0,022 N.m para o Óleo A e 0,147 N.m para o Óleo B em relação os dois testes comparados.

O equipamento para testes de lubricidade de óleos lubrificantes minerais e sintéticos foi validado para o uso seguindo as recomendações adequadas de preparação dos corpos de provas e o tempo de teste com seu respectivo tempo de descanso, ou seja, é recomendado que o tempo de cada teste seja proporcional ao tempo de descanso para o próximo teste, com o intuito de preservar as partes constituintes e ter um maior tempo de vida para o equipamento e levando em conta o aquecimento proporcional de algumas peças móveis no processo, garantindo uma repetitividade a cada teste.

A configuração do equipamento tipo bloco no cilindro baseia-se em um motor elétrico com ligação monofásica de 6 polos de 0,7 CV, 220 V a 60 Hz com a rotação inicial livre de 1100 ± 50 rpm. Foram adquiridos dados de tempo (s), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e de torque (N.m), e podem ser acrescentados outros parâmetros no decorrer da evolução dos testes realizados. Os corpos de provas utilizados em cada teste são de aço 1020 trefilado, trazendo um baixo custo por teste, pois é um material de fácil acesso e boa compatibilidade para outras análises, tais como por exemplo, o ensaio de micrografia para medir a dimensão dos arranhões decorrentes do contato além disso a análise de ferrografia para o óleo.

Sua estrutura dá liberdade para futuras modificações e aprimoramento, possui uma facilidade de possíveis manutenções, pois suas peças constituintes são de fácil acesso comercial e de baixo custo e está disponível o MANUAL DE USO E DE SERVIÇO. Porém há a necessidade de realizar mais ensaios com diversos tipos de lubrificantes, combinar possibilidades de tempo de trabalho e cargas variadas aplicadas que possa vir a servir de comparação para outros testes.

O custo deste equipamento mostrou compatível com os objetivos do trabalho e um valor consideravelmente inferior ao de um dispositivo de teste comercial devido ao uso de materiais de baixo custo no qual pode ser verificado no APENDICE E, também levando em conta que não foi produzido numa indústria e sim num ambiente de pesquisa no qual se teve disponibilidade de um ferramental apropriado.

REFERÊNCIAS

- AIREY, Jake et al. The effect of gas turbine lubricant base oil molecular structure on friction. **Tribology International**, v. 146, p. 106052, 2020.
- ASRUL, M. et al. Tribological Properties and Lubricant Mechanism of Nanoparticle in Engine Oil. *Procedia Engineering*, [s.l.], v. 68, p.320-325, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.186>.
- AZEVEDO, Joyce Batista; CARVALHO, LH de; FONSECA, Viviane Muniz. Efeito da degradação do motor automotivo nas propriedades termogravimétricas de óleos lubrificantes minerais e sintéticos. Em: **Anais do 3o Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador**. 2005.
- BARATA, Cláudia Cristina de Oliveira Luís Nunes. Desenho e Dimensionamento de um Sistema de Detecção de Metais de Desgaste em Lubrificantes Automóveis, Navais e Aeronáuticos. 2016. Tese de Doutorado.
- BHUSHAN, Bharat. **Modern tribology handbook, two volume set**. CRC press, 2000.
- BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de máquinas de shigley: projeto de engenharia mecânica**. Porto Alegre, RS: AMGH Editora, 2011. 1084 p. ISBN 9788563308207 (broch.).
- CARRETEIRO, Ronald P.; BELMIRO, Pedro Nelson A. **Lubrificantes & lubrificação industrial**. Rio de Janeiro, RJ: Interciência; Instituto Brasileiro de Petróleo, 2006. 504 p. ISBN 8571931585 (broch.).
- CAVALCANTI, Synara Lucien de Lima. Caracterização do óleo de carnaúba para uso como biolubrificante. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- CLOWER, James I. **Lubricants and lubrication**. New York: McGraw-Hill, 1939. viii, 464p.
- DUBBEL, Heinrich. **Dubbel manual do engenheiro mecânico**. São Paulo: Hemus, 1979. 6v. ISBN 0387063897 (enc.)
- DUTTA, S.R.; SINGH, S.K. Development of Industrial Tribology in India. *International Journal of Science and Research*, v.3, p.336-338, 2014.
- FITCH, Jim; TROYER, Drew. The basics of used oil sampling. **Machinery Lubrication**, 2004.
- GEE, M. G.; GEE, A. D. A cost effective test system for micro-tribology experiments. **Wear**, v. 263, n. 7-12, p. 1484-1491, 2007.

GUALBERTO, Victor Soares, et al. "Metodologias de ensaios de lubrificidade: uma revisão de literatura." *Cadernos de Ciência&Tecnologia* 37.3 (2020): 26745.
DOI: 10.35977/0104-1096.cct2020.v37.26745

HATTORI, Takafumi et al. Tribological Properties of High Hardness ta-CN_x Coatings Deposited by Filtered Arc Deposition with Block-on-Ring Tribotester. **Procedia Manufacturing**, [s.l.], v. 5, p.1224-1233, 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.096>.

HÖHN, B.-R.; MICHAELIS, K.; DOLESCHER, A. Frictional behaviour of synthetic gear lubricants. In: **Tribology series**. Elsevier, 2001. p. 759-768.

KENNEDY, F.E.; LU, Y.; BAKER, I. Contact temperatures and their influence on wear during pin-on-disk tribotesting. **Tribology**

KUSZEWSKI, Hubert; JAWORSKI, Artur; USTRZYCKI, Adam. Lubricity of ethanol–diesel blends – Study with the HFRR method. *Fuel*, [s.l.], v. 208, p.491-498, nov. 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2017.07.046>.

MOURA, Carlos Roberto dos Santos; CARRETEIRO, Ronald P. **Lubrificantes e lubrificação**. Rio de Janeiro: LTC, 1975. x, 443 p. ISBN broch

NAIR, Rahul Premachandran; GRIFFIN, Drew; RANDALL, Nicholas X. The use of the pin-on-disk tribology test method to study three unique industrial applications. **Wear**, v. 267, n. 5-8, p. 823-827, 2009.

NIEMANN, Gustav. **Elementos de máquinas**. São Paulo: Blucher: 1971. 3 v. ISBN broch.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. xxx, 1028 p. + 1 CD ROM ISBN 9788582600221 (enc.).

OLDS, Wilbert J. **Lubricants, cutting fluids and coolants**. Boston: Cahners Books, c1973. 212p.

SNYDER, C.E., Jr. and Gschwender, L.J. (1991), Perfluoropolyalkylethers — liquid lubricants of the future?,

SYAHRULLAIL, S. et al. Wear Characteristic of Palm Olein as Lubricant in Different Rotating Speed. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 68, p.158-165, 2013. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.162>.

TAYLOR, Brogan L.; MILLS, Tom B. Using a three-ball-on-plate configuration for soft tribology applications. *Journal of Food Engineering*, v. 274, p. 109838, 2020.

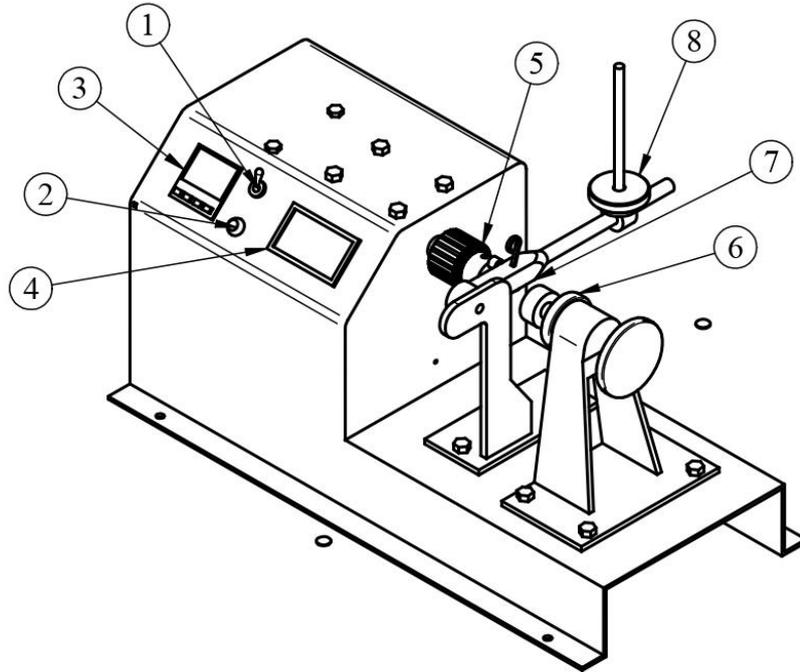
TRISTÃO, José Américo Martelli; TRISTÃO, Virgínia Talaveira Valentini; FREDERICO, Elias. O processo de reciclagem do óleo lubrificante. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 2, p. 224-238, 2017.

WANG, Xinbo et al. Experimental research on tribological properties of liquid phase exfoliated graphene as an additive in SAE 10W-30 lubricating oil. *Tribology International*, [s.l.], v. 135, p.29-37, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2019.02.030>.

WATSON, Michael et al. An analysis of the quality of experimental design and reliability of results in tribology research. **Wear**, v. 426, p. 1712-1718, 2019.

ZULKIFLI, N.w.m. et al. Experimental Analysis of Tribological Properties of Biolubricant with Nanoparticle Additive. *Procedia Engineering*, [s.l.], v. 68, p.152-157, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.161>.

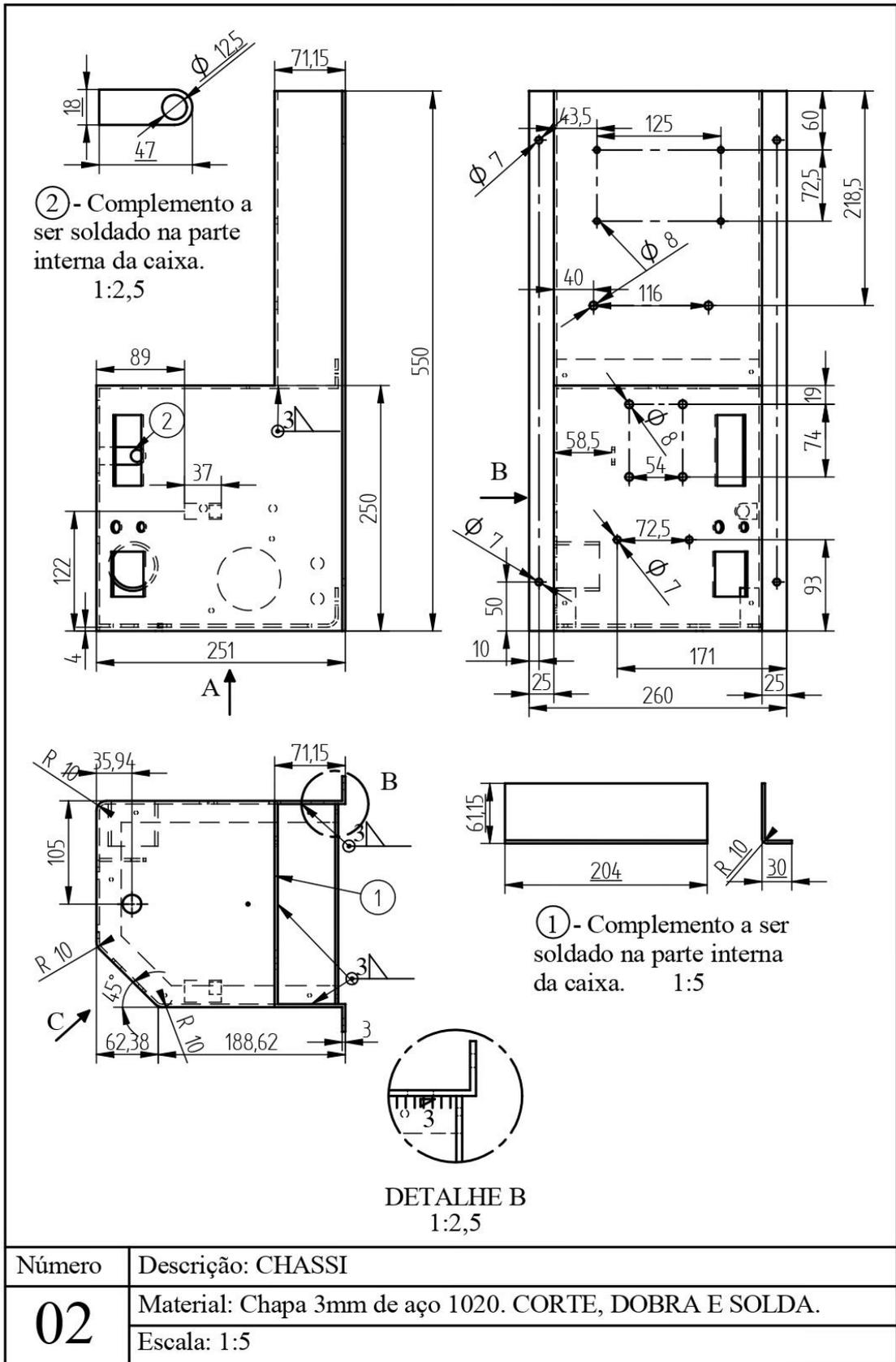
APÊNDICE A – PROJETO MECÂNICO – EQUIPAMENTO PARA TESTE DE LUBRICIDADE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES MINERAIS E SINTÉTICOS

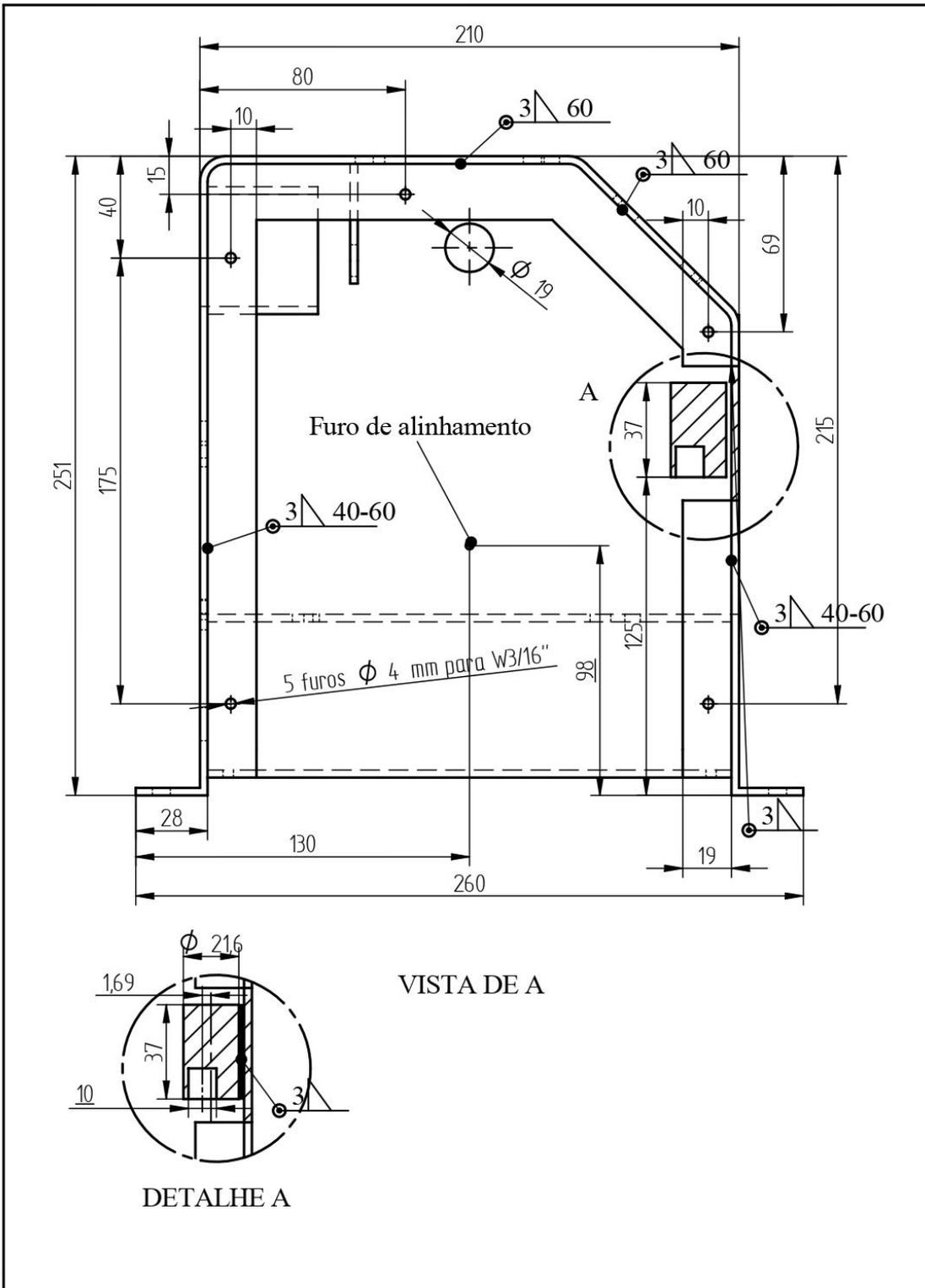


Legenda	
Ítem	Descrição
1	LIGA/DESLIGA
2	START
3	PAINEL CONTROLADOR DIGITAL- TEMPO, TEMPERATURA
4	RPM
5	MANDRIL- SUPORTE DO CORPO DE PROVA ROTATIVO
6	CONTRA PONTA DE APOIO
7	SUPORTE DO CORPO DE PROVA FIXO
8	CARGA

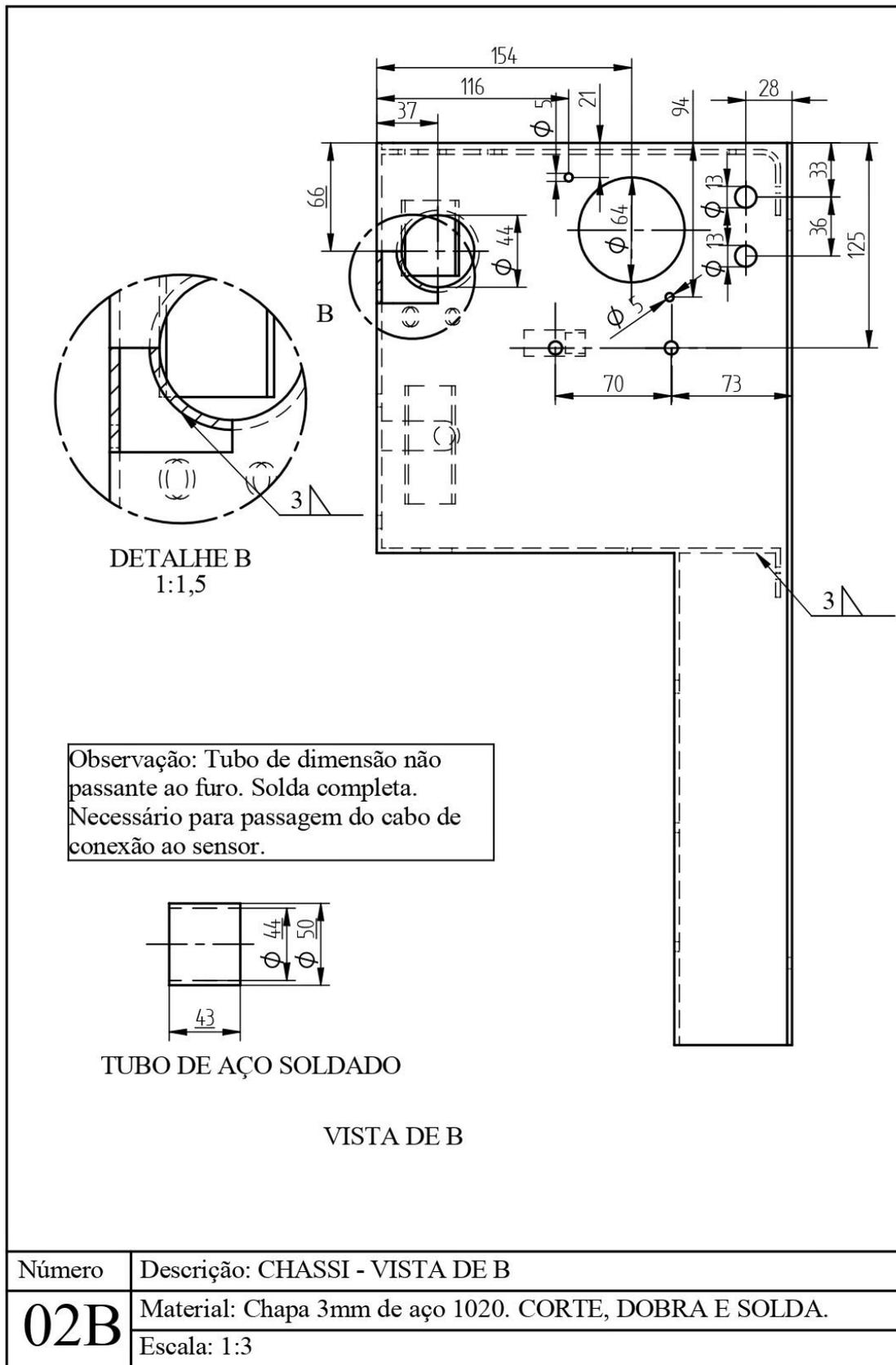
Número	Descrição: MAQUINA PARA TESTE DE LUBRICIDADE
00	Projetista: Raoni Alves de Lima
	Escala: 1:5

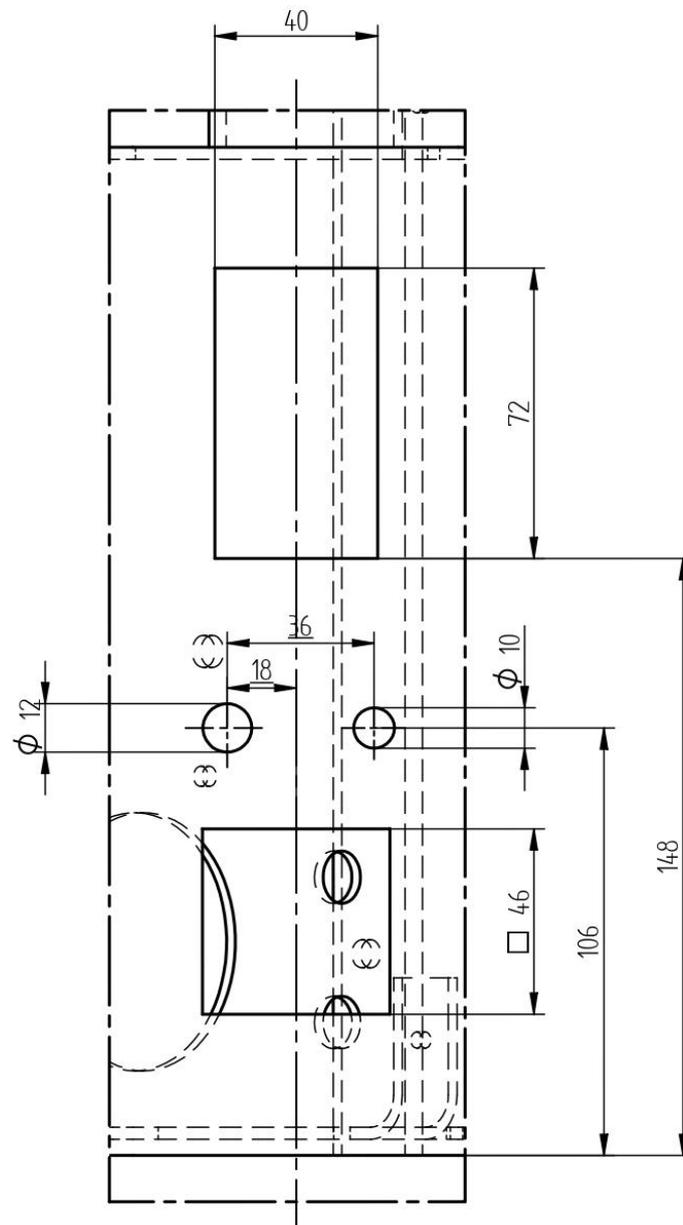
-	Vista Explodida	14
01	Tampa	13
01	Conjunto base do suporte de cargas	12
01	Conjunto haste do corpo de provas	11
01	Suporte do corpo de provas	10
01	Rolamento 608Z - 22x8x7	-
02	Rolamento 698Z - 19x8x6	-
03	Parafusos W1/4x20 88mm de comprimento	-
01	Base da abraçadeira	09
01	Abraçadeira	08
01	Disco recartilhado travante	07
01	Disco recartilhado fixo	07
01	Ponta rotativa	07
01	Eixo contra ponta	07
01	Base da contra ponta	06
01	Suporte do sensor (Suoperior e Inferior)	05
01	União Sensor	04
02	Engrenagens Z30-M1,5	04
01	Eixo Árvore	03
01	Chassi	02
01	Correia dentada- Megadyne Isoran - 150XL-649	-
01	Mandril 1/32"-1/2"	-
01	Motor elétrico monofásico 0,7cv 1010 RPM 60Hz	-
02	Mancal de pé - 3/4" de furo	-
01	Parafuso sextavado aço M8x50mm com porca trancante	-
12	Parafuso sextavado aço M8x25mm	-
09	Parafuso Panhead fenda 3/16"x1/2"	-
Quant:	Descrição	Projeto
Número	Descrição: LISTA DE PEÇAS	
01	Projetista: Raoni Alves de Lima	
	Engenheiro Mecânico: Raoni Alves de Lima	





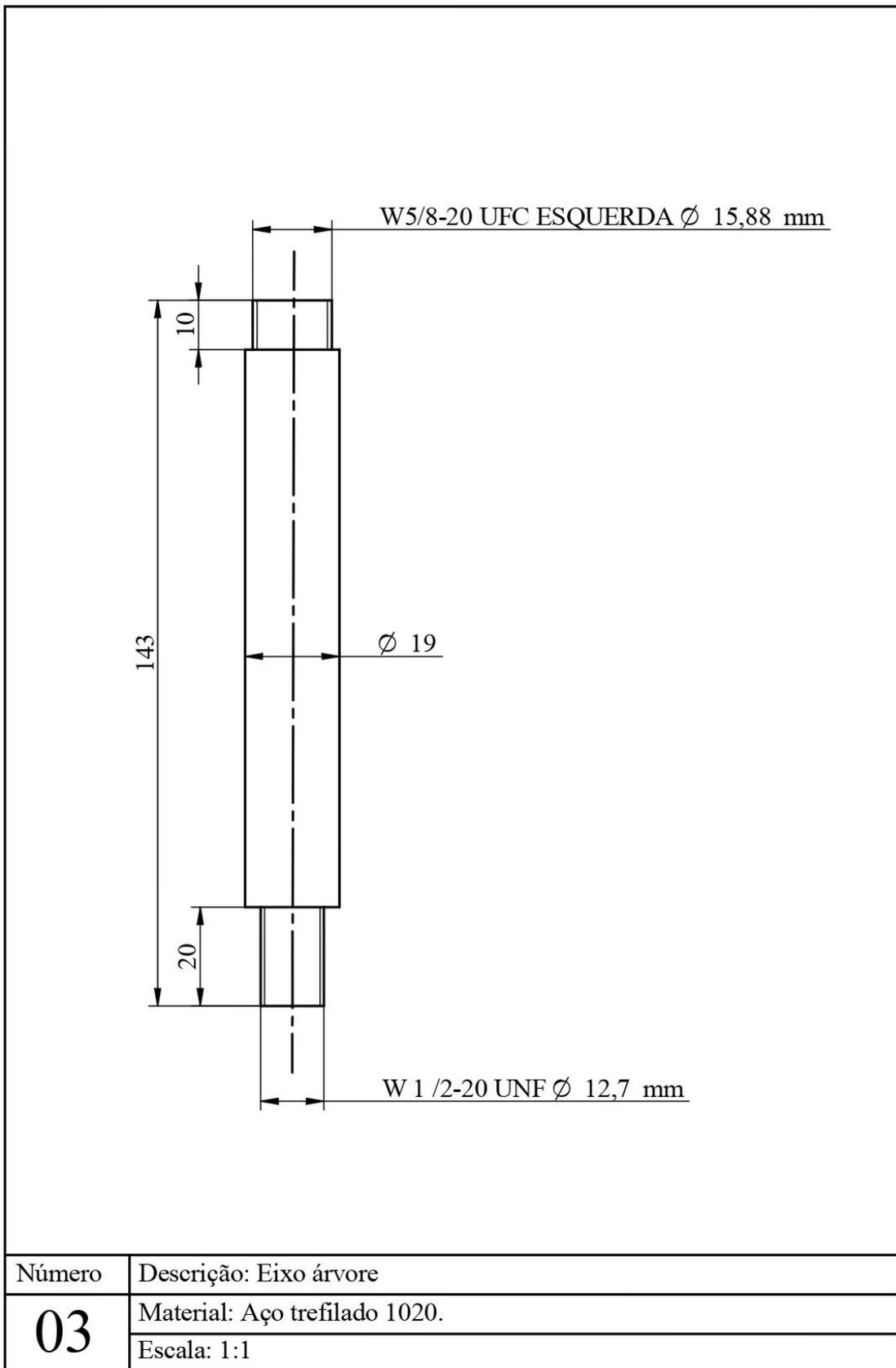
Número	Descrição: CHASSI - VISTA DE A
02A	Material: Chapa 3mm de aço 1020. CORTE, DOBRA E SOLDA.
	Escala: 1:2

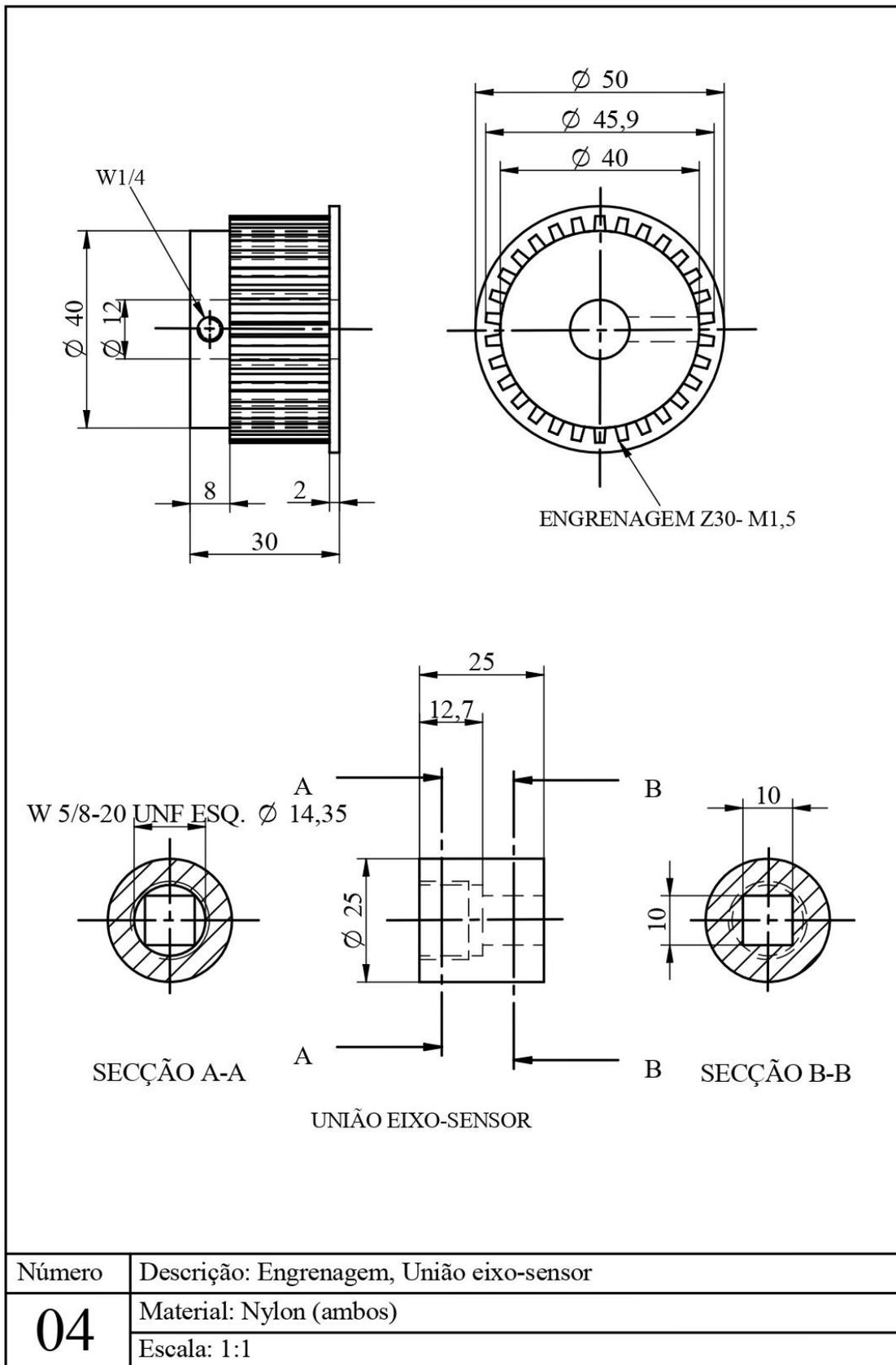


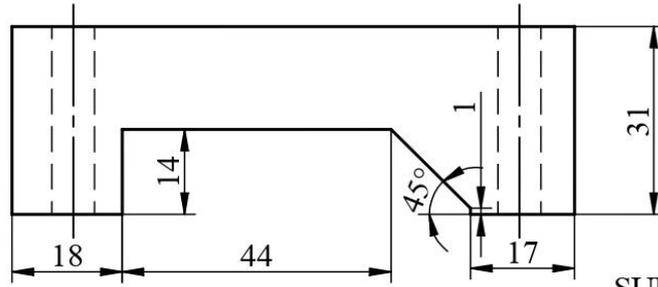


VISTA C

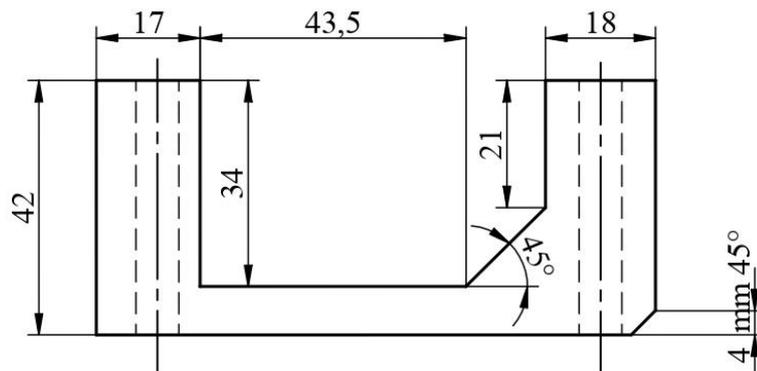
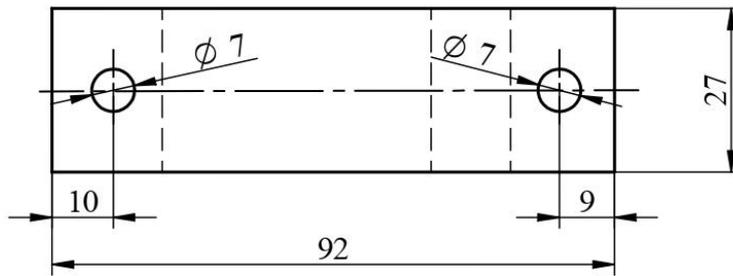
Número	Descrição: CHASSI - VISTA DE C
02C	Material: Chapa 3mm de aço 1020. CORTE, DOBRA E SOLDA.
	Escala: 1:1,5



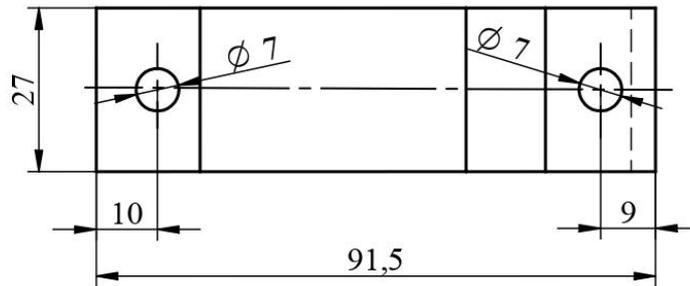




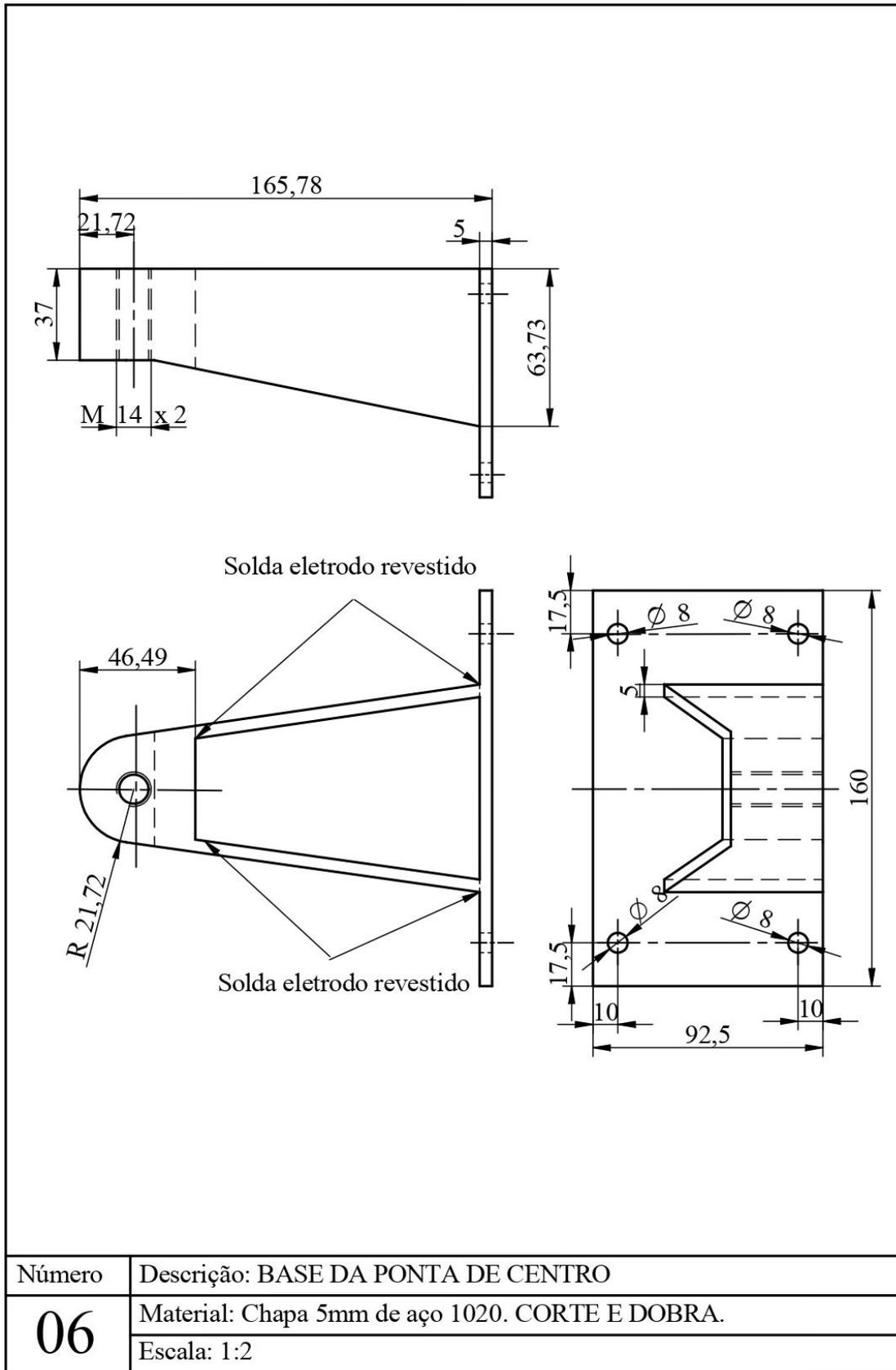
SUPORTE SUPERIOR

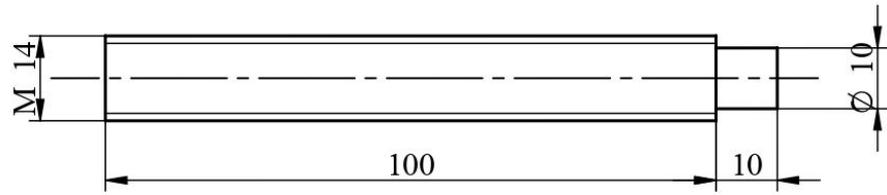


SUPORTE INFERIOR

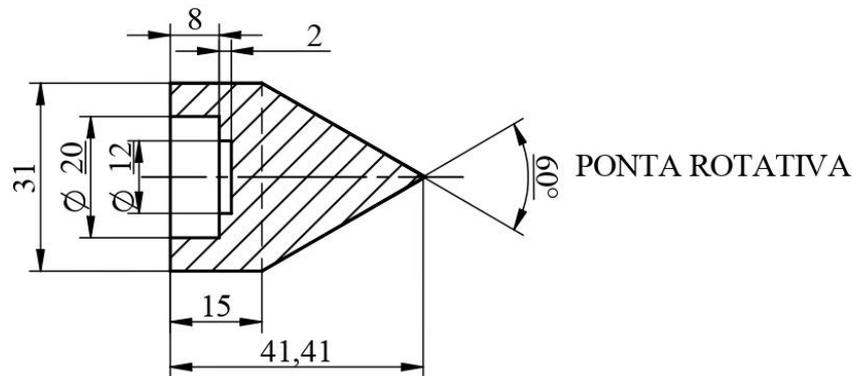


Número	Descrição: SUPORTE SUPERIOR E INFERIOR DO SENSOR
05	Material: Nylon
	Escala: 1:1

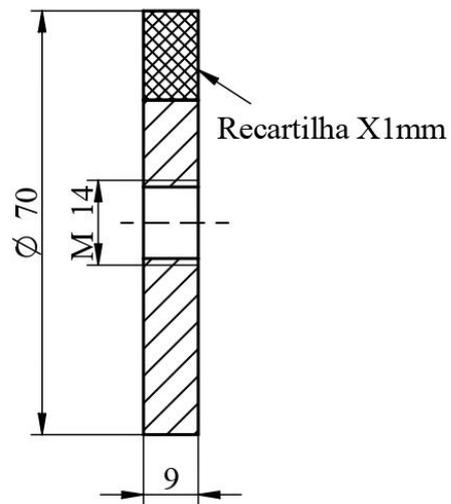




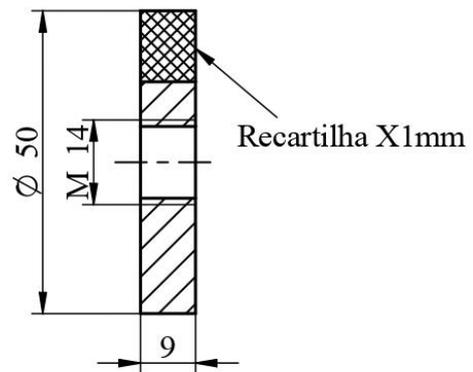
EIXO CONTRA PONTA



PONTA ROTATIVA

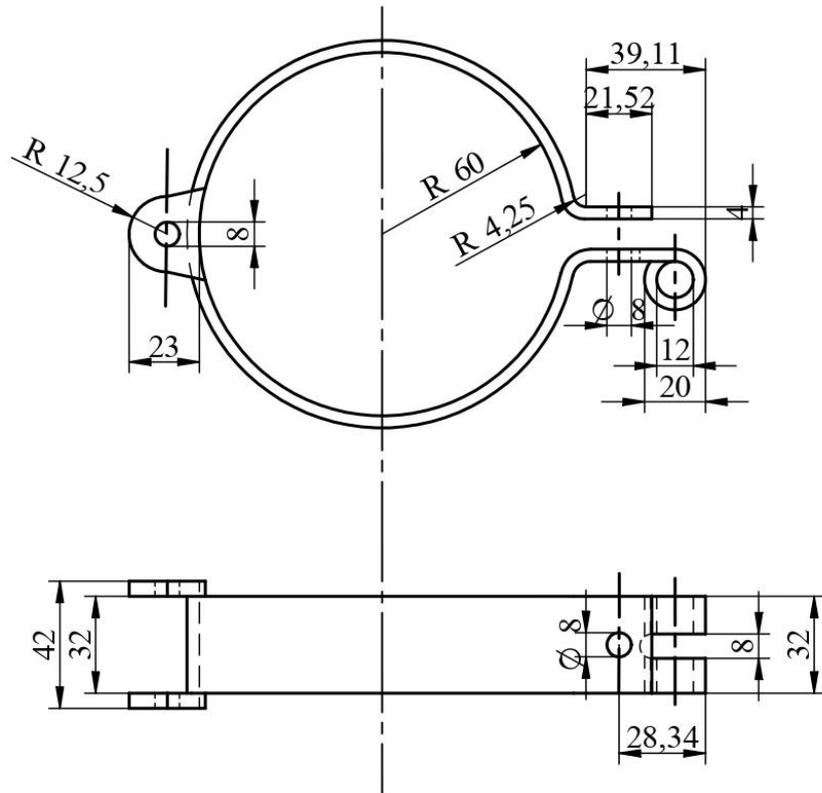


DISCO TRAVADO

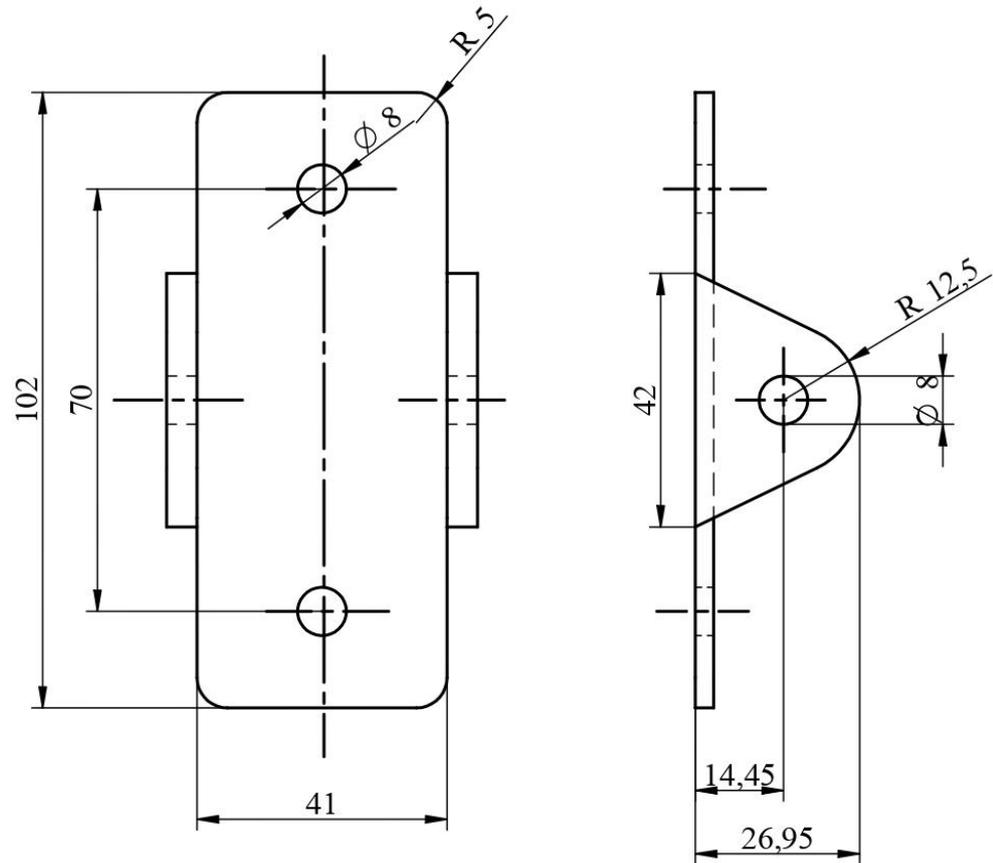


DISCO TRAVANTE

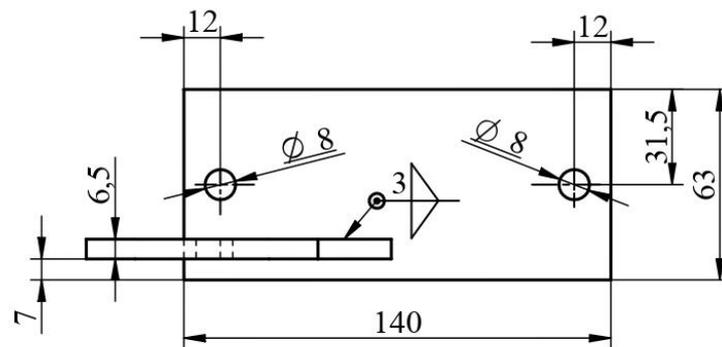
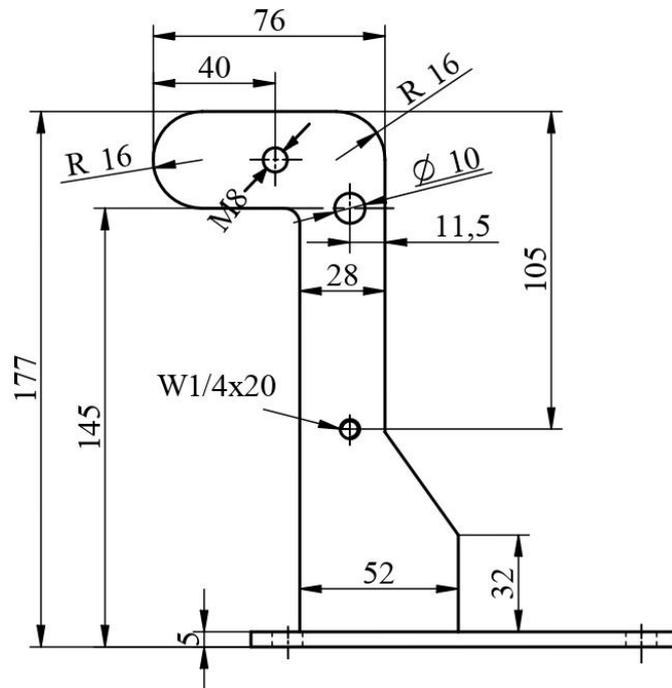
Número	Descrição: EIXO, CONTRA PONTA E DISCOS .
07	Material: Aço 1020.
	Escala: 1:1



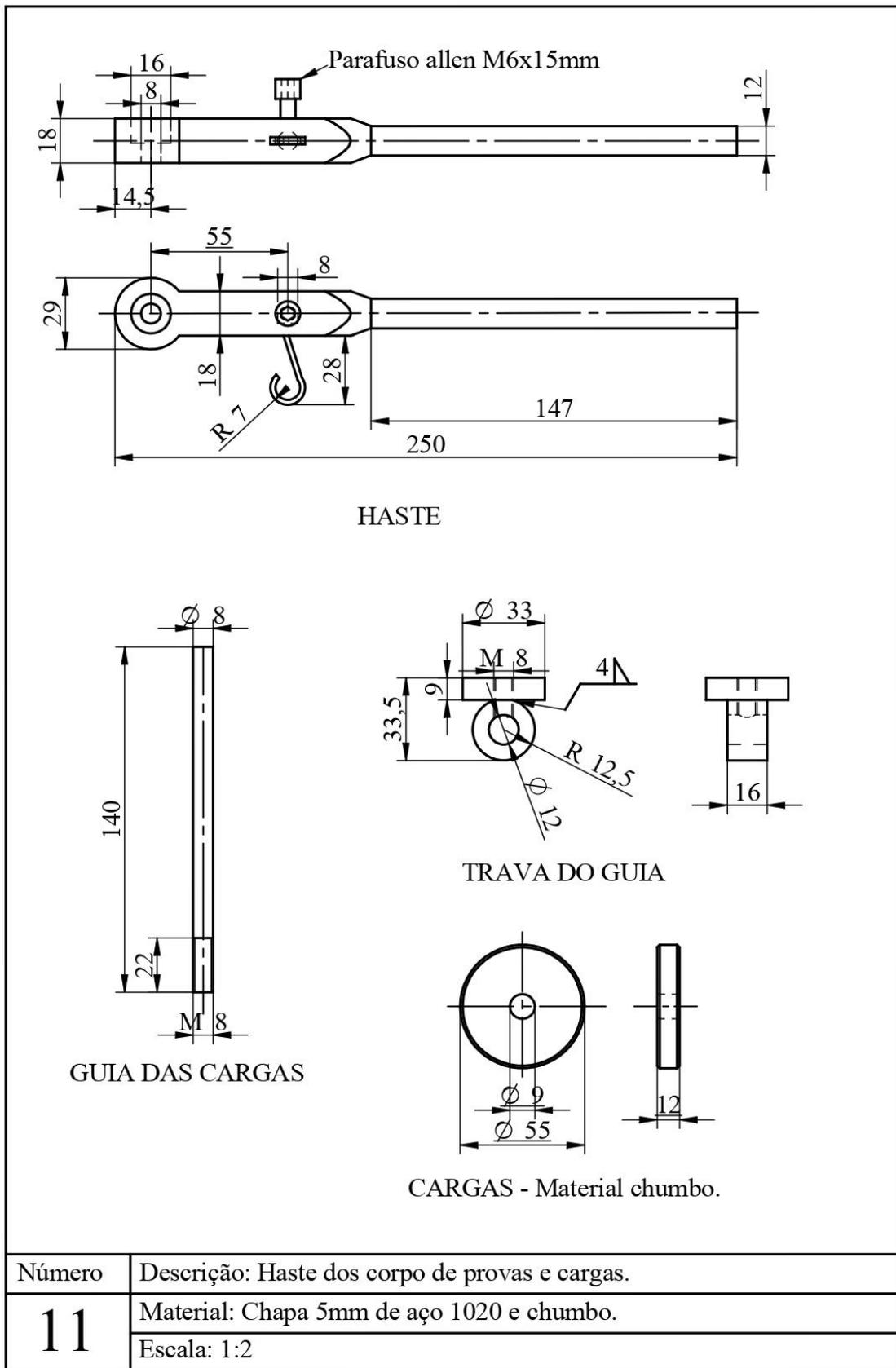
Número	Descrição: Base do motor elétrico
08	Material: Chapa 5mm de aço 1020. CORTE E DOBRA.
	Escala: 1:2

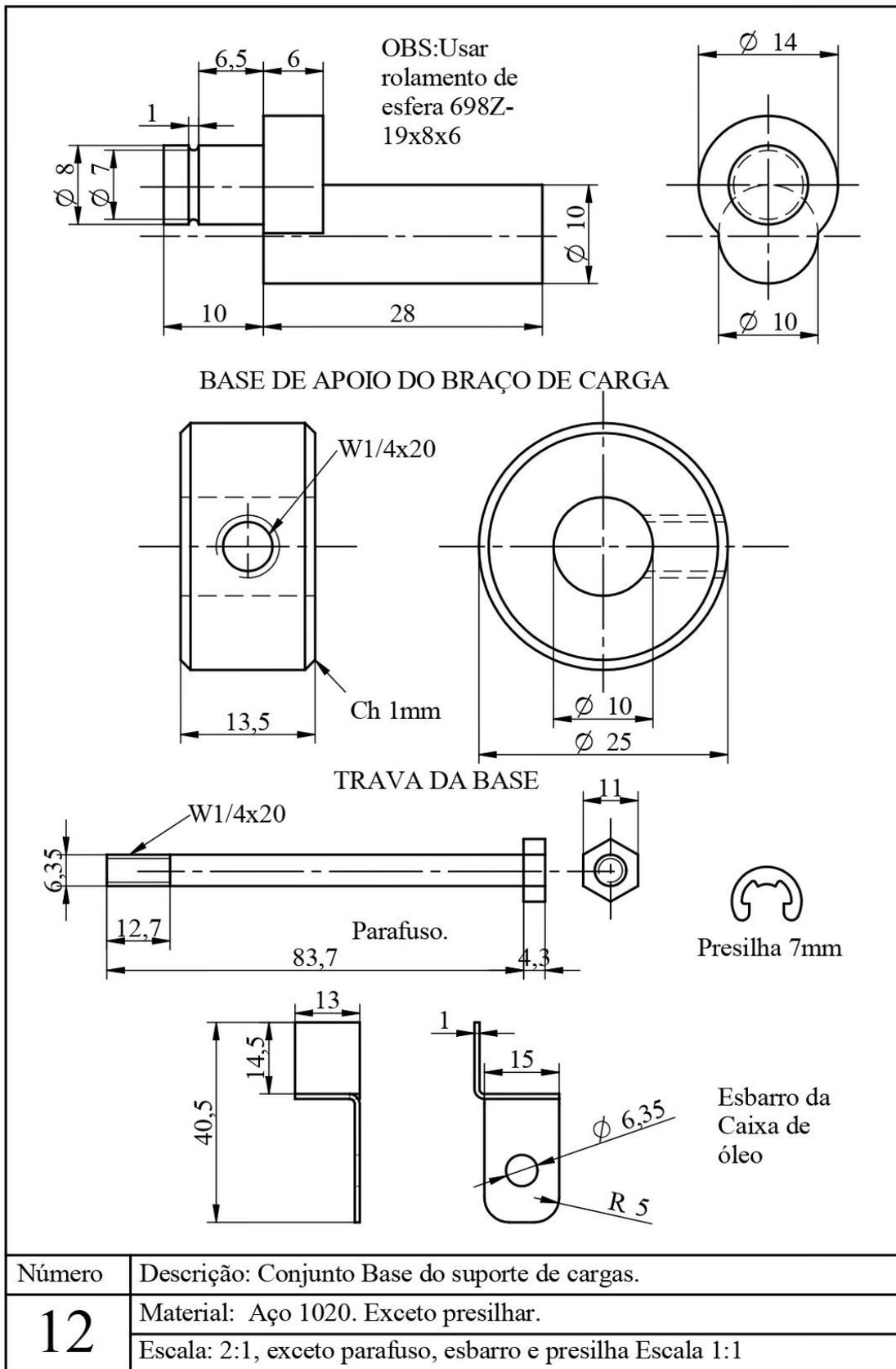


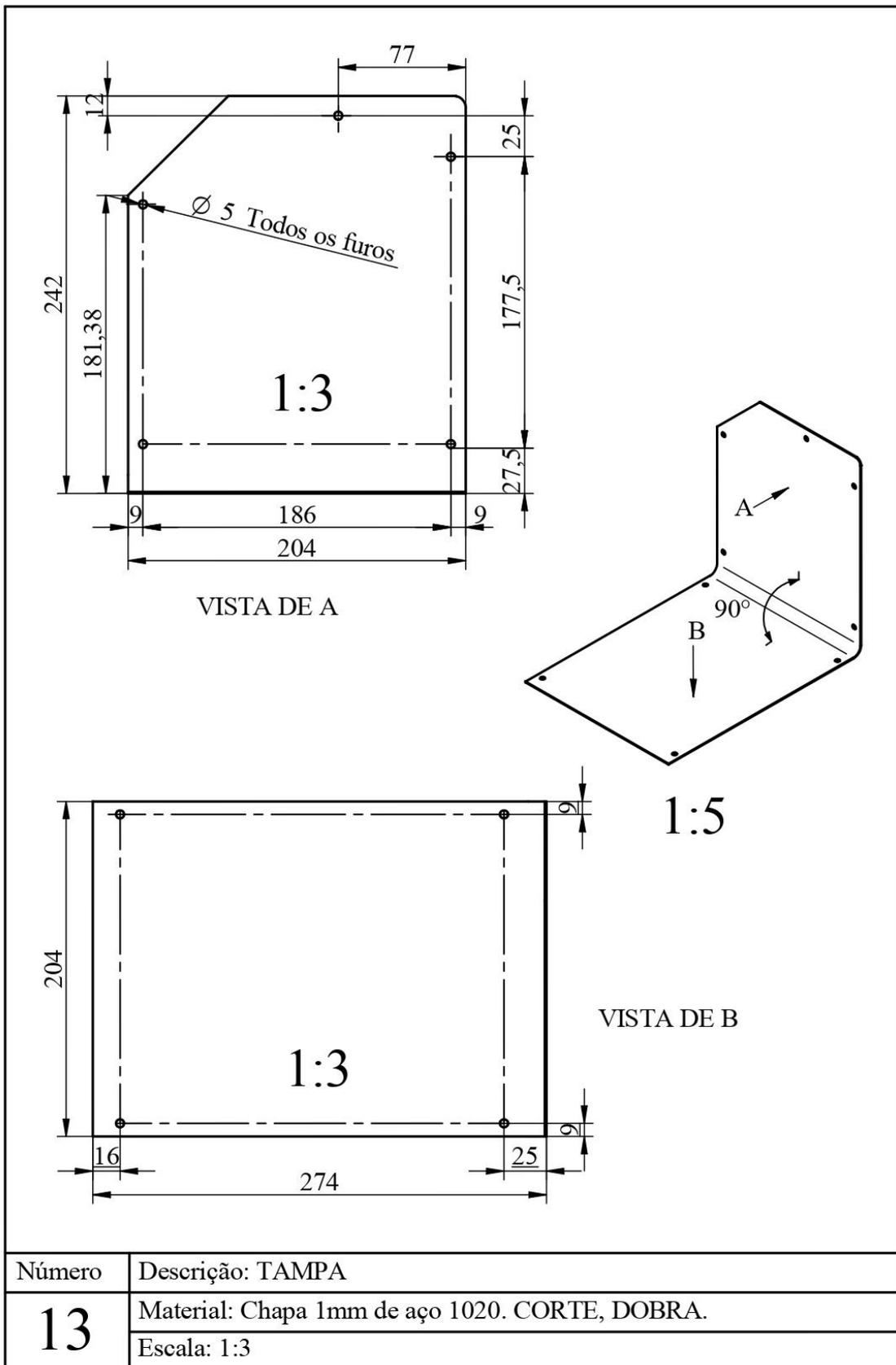
Número	Descrição: Base do motor elétrico
09	Material: Chapa 5mm de aço 1020. CORTE E DOBRA.
	Escala: 1:1

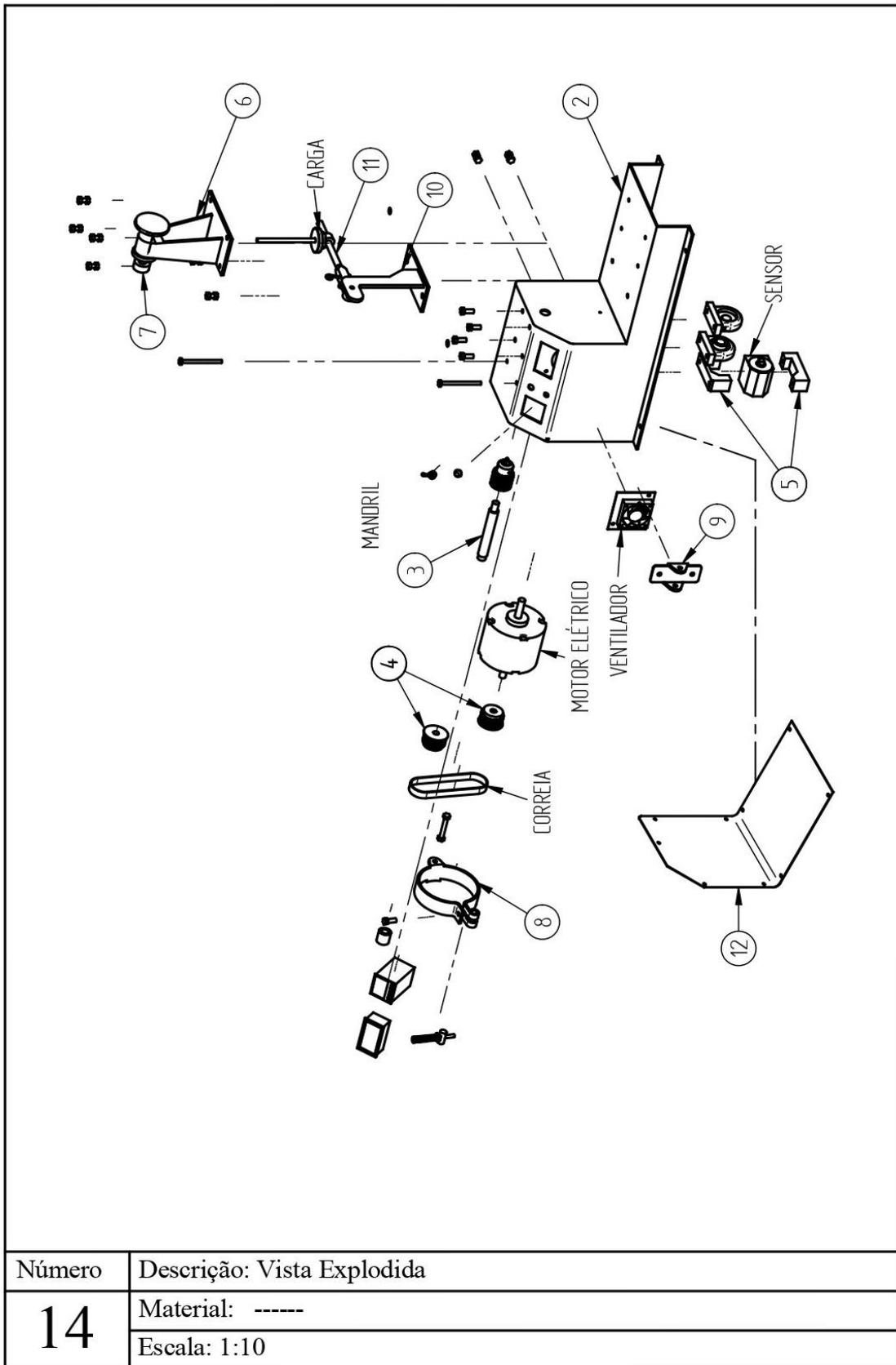


Número	Descrição: Base do corpo de provas
10	Material: Chapa 5mm e 6,5mm de aço 1020. CORTE E DOBRA.
	Escala: 1:2

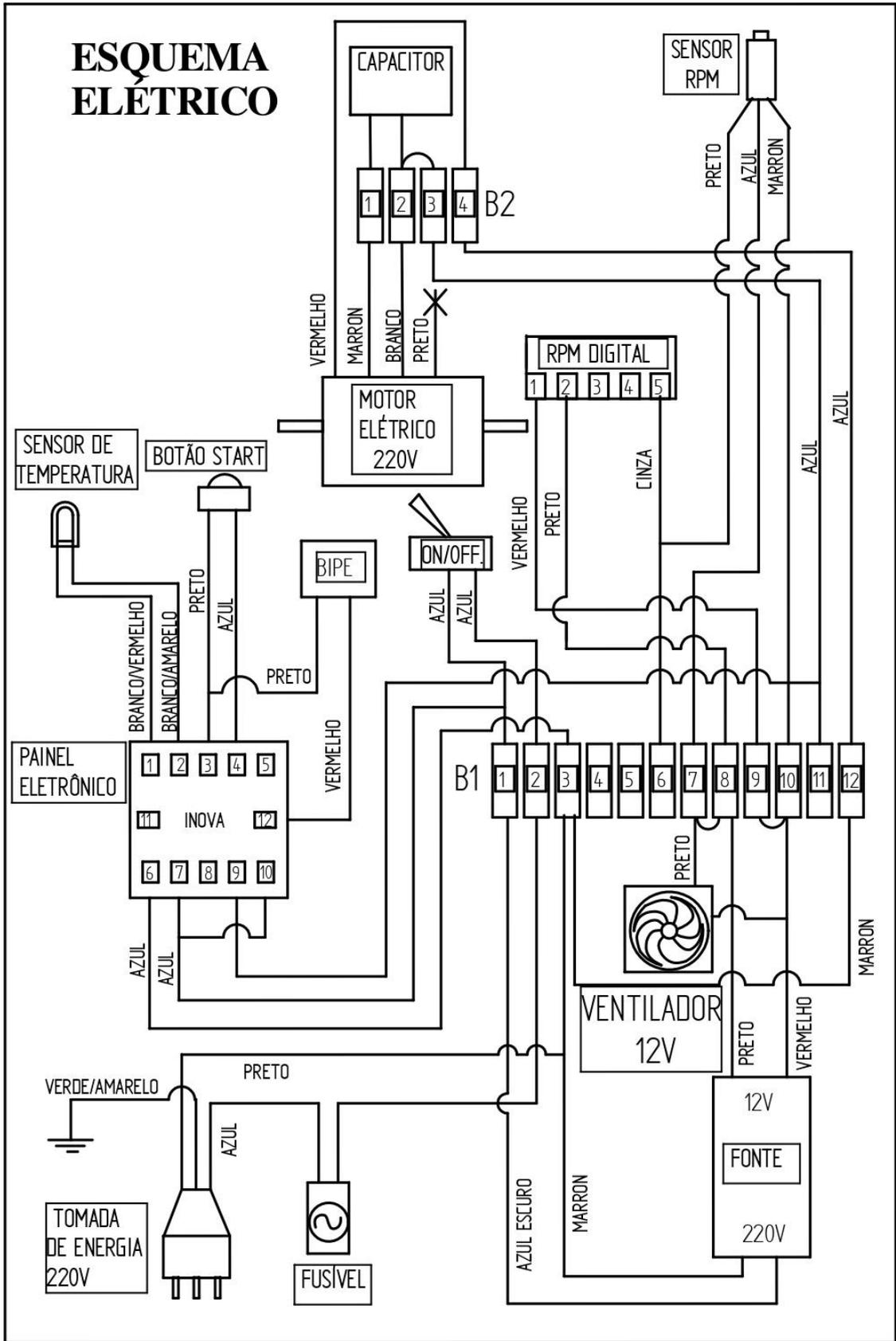




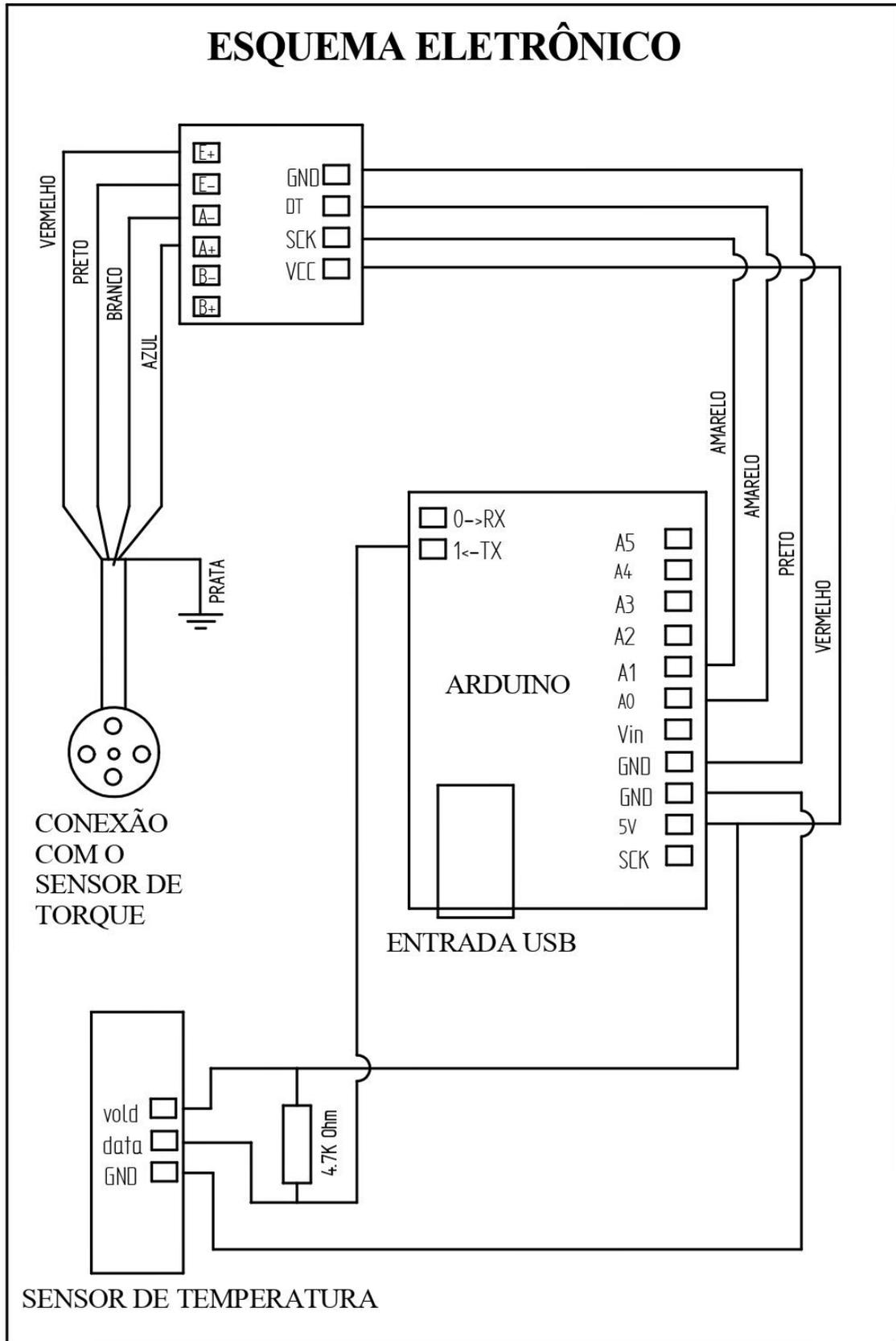




APÊNDICE B – ESQUEMA ELÉTRICO



APÊNDICE C – ESQUEMA ELETRÔNICO



APÊNDICE D – MANUAL DO USUÁRIO E DE SERVIÇO

1-Partes da Máquina

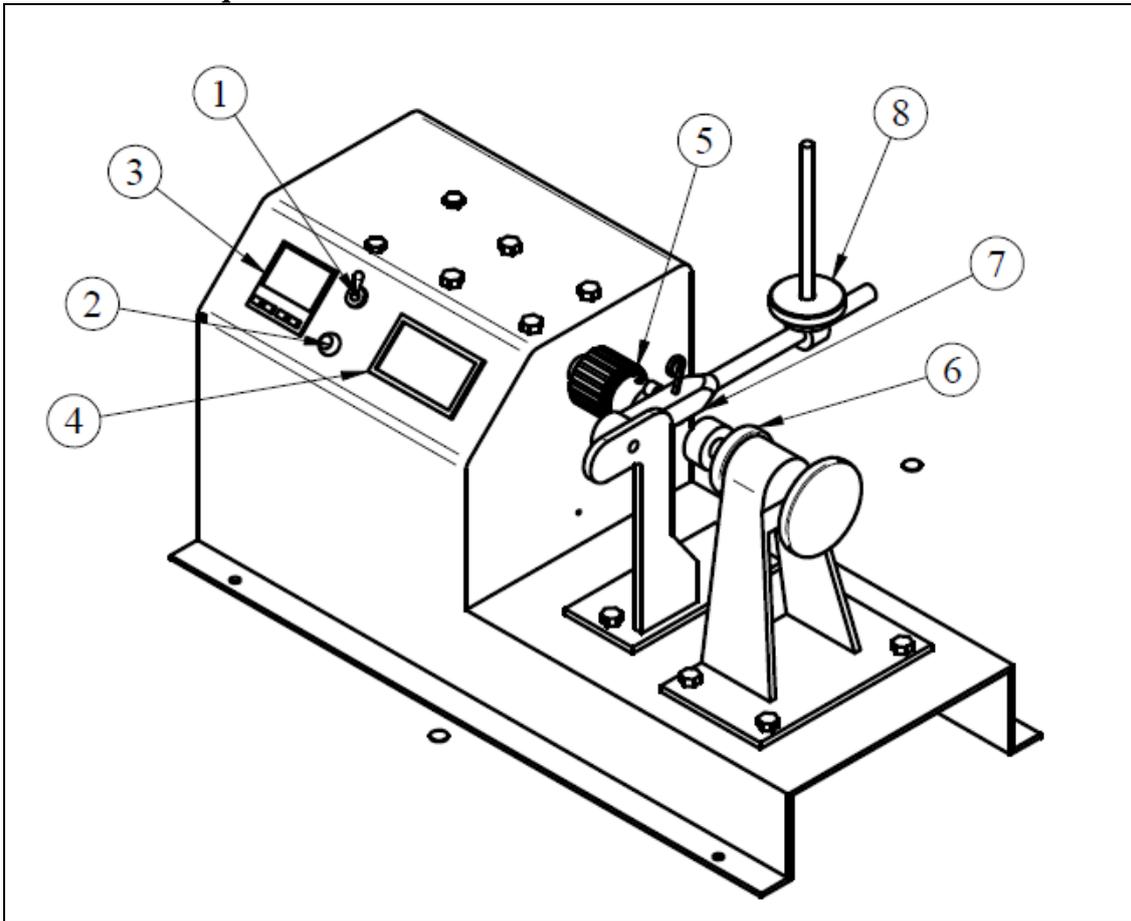


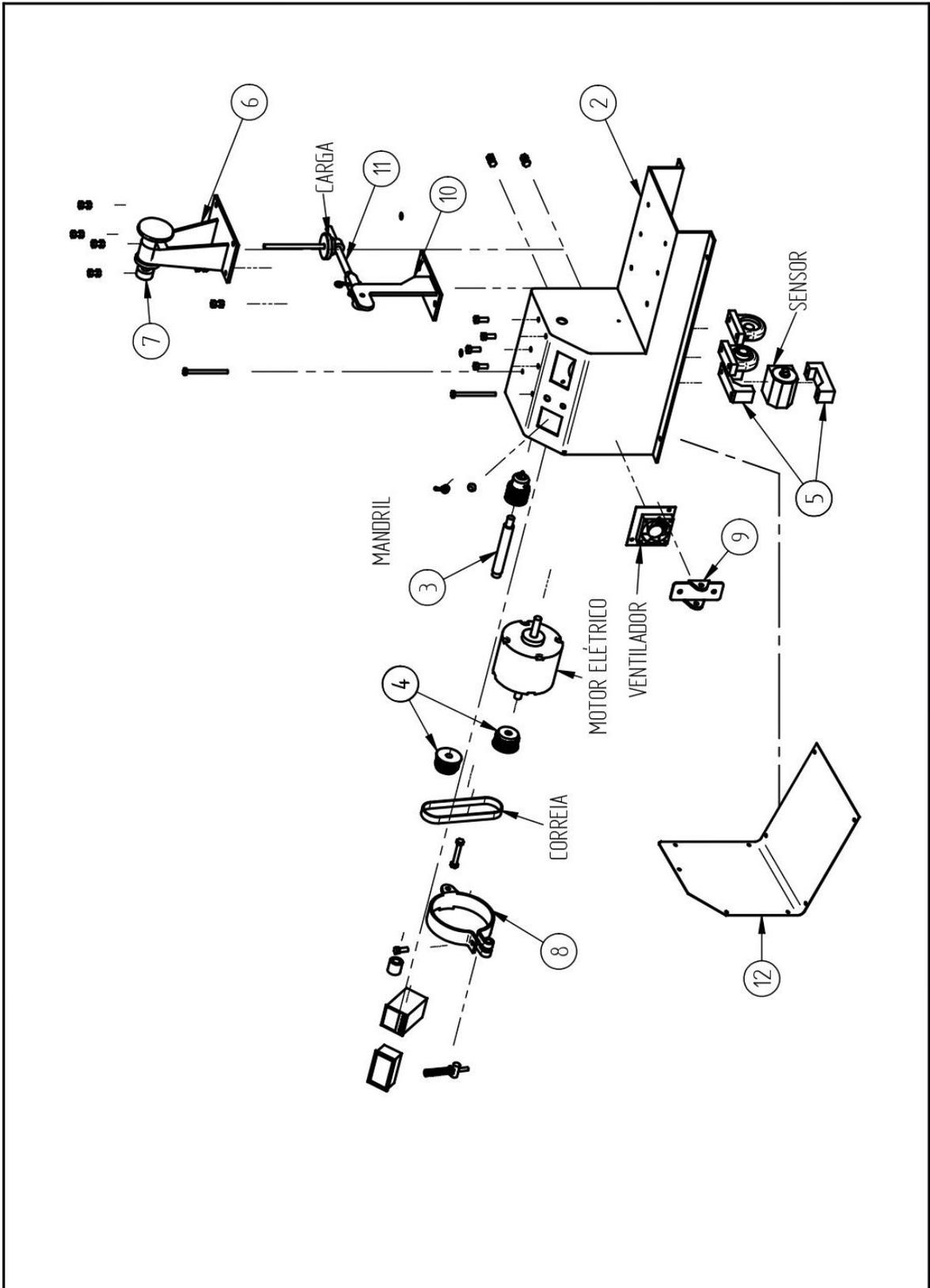
Figura 1- Partes principais de máquina

LEGENDA	
ITEM	DESCRIÇÃO
1	Botão liga/desliga – ON/OFF
2	START – Partida de funcionamento do motor
3	Painel Controlador Digital – Leitura e programação do tempo e temperatura
4	Painel Digital RPM
5	MANDRIL – Suporte de fixação do corpo de provas rotativo
6	Suporte contra pontas- Apoio do corpo de provas rotativo
7	Suporte do corpo de prova fixo
8	Cargas aplicadas – Inicialmente sem cargas possui 1kg aplicado ao corpo de provas; Cada carga corresponde a 1kg a mais aplicado; Total – 10kg com 9 cargas adicionadas.

Os detalhes e dimensões de cada parte da máquina está no APÊNDICE A.

2. Desmontagem da máquina

Ao observar o desenho da vista explodida como referência deve-se seguir o passo a passo para não cometer erros.



Número	Descrição: Vista Explodida
14	Material: -----
	Escala: 1:10

1º Passo: Retire a tampa (12) da parte de baixo da máquina. Com uma chave de fendas apropriada retire os 8 parafusos 3/16” como visto na Figura 1, isso dará acesso a todos os componentes mecânicos e elétricos.

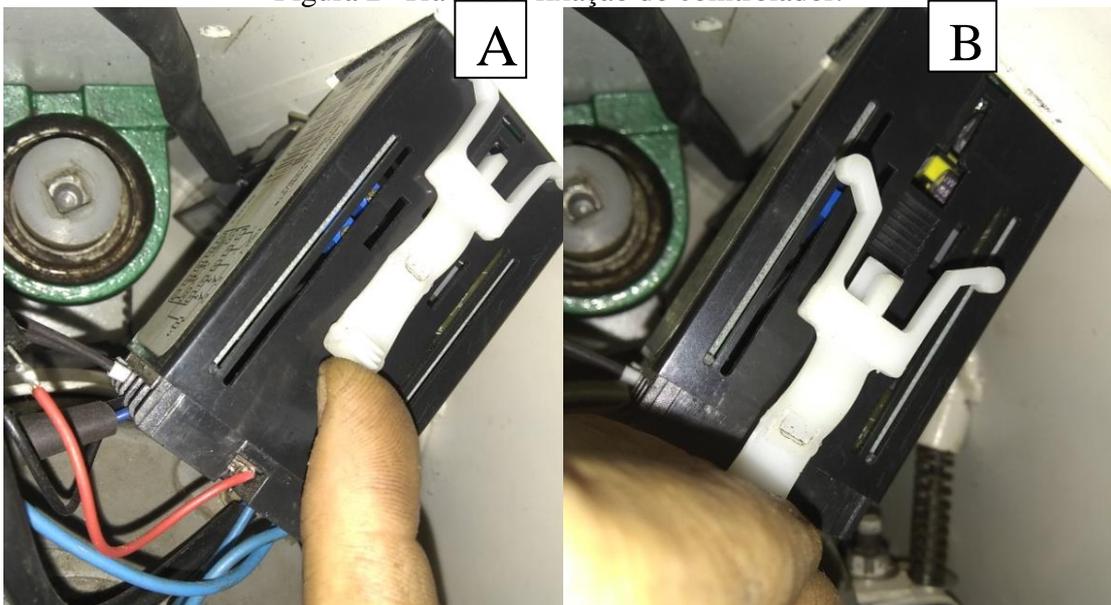
Figura 1- Retirar parafusos da tampa.



2º Passo: Deve-se retirar o controlador eletrônico para ter acesso ao sensor de o torque e assim começar a desmontagem.

O controlador é fixado por granpos de plasticos, abra a orelha de trava para fora - Figura 2A e puxe a trava do guia contra o sentido do controlador retirando as travas de seus encaixes Figura 2B.

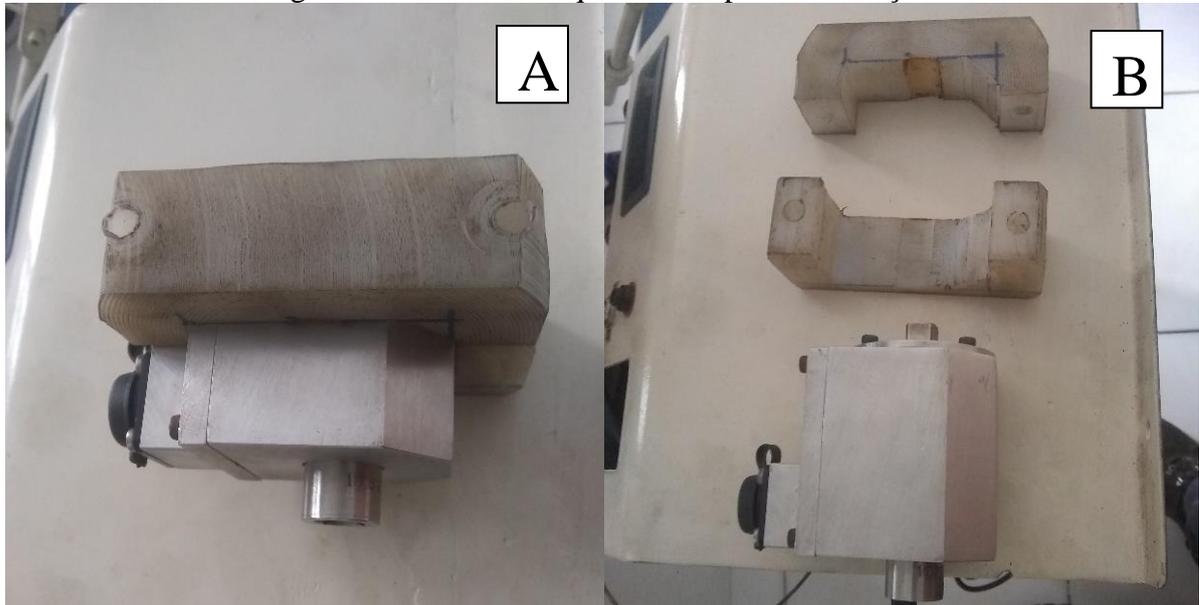
Figura 2- Travas de fixação do controlador.



Observação: A trava que está localizada entre o controlador e sensor requer maior cuidado pois seu acesso possui um espaço menor.

3° Passo: Retire os dois parafusos com uma chave 11mm e assim o sensor fica solto, com isso puxe-o, retirando do seu encaixe no eixo árvore.

Figura 3 - Sensor de torque e seu suporte de fixação.



O sensor de torque está protegido por dois suportes de nylon. Figura 3A Ao separá-los terá acesso ao sensor Figura 3B.

4° Passo: Retire toda a instalação elétrica, alguns fios são parafusados e outros apenas conectados. Deve-se seguir o Esquema Elétrico APENDICE B.

Observação: Esse passo só é recomendado caso seja necessário desmontar completamente a máquina.

5° Passo: Um eixo com uma mola faz o ajuste da correia do motor ao sensor de torque Figura 4A.

Puxe na extremidade do eixo fazendo com que saia do local de encaixe e incline para a direita. Figura 4B.

Retire o eixo juntamente com a mola e retire o guia eixo. Figura 4C.

Com isso empurre o motor e a correia estará solta. Figura 4D.

5° Passo: Desenrosque o mandril do eixo árvore. O mandril possui rosca direita.

6° Passo: Usando uma chave 13 mm retire os 4 parafusos dos mancais, assim é possível retirar o eixo árvore do seu alinhamento. Esse passo só será necessário para uma eventual desmontagem total da máquina.

Figura 4 – Eixo com mola de ajuste da correia dentada.

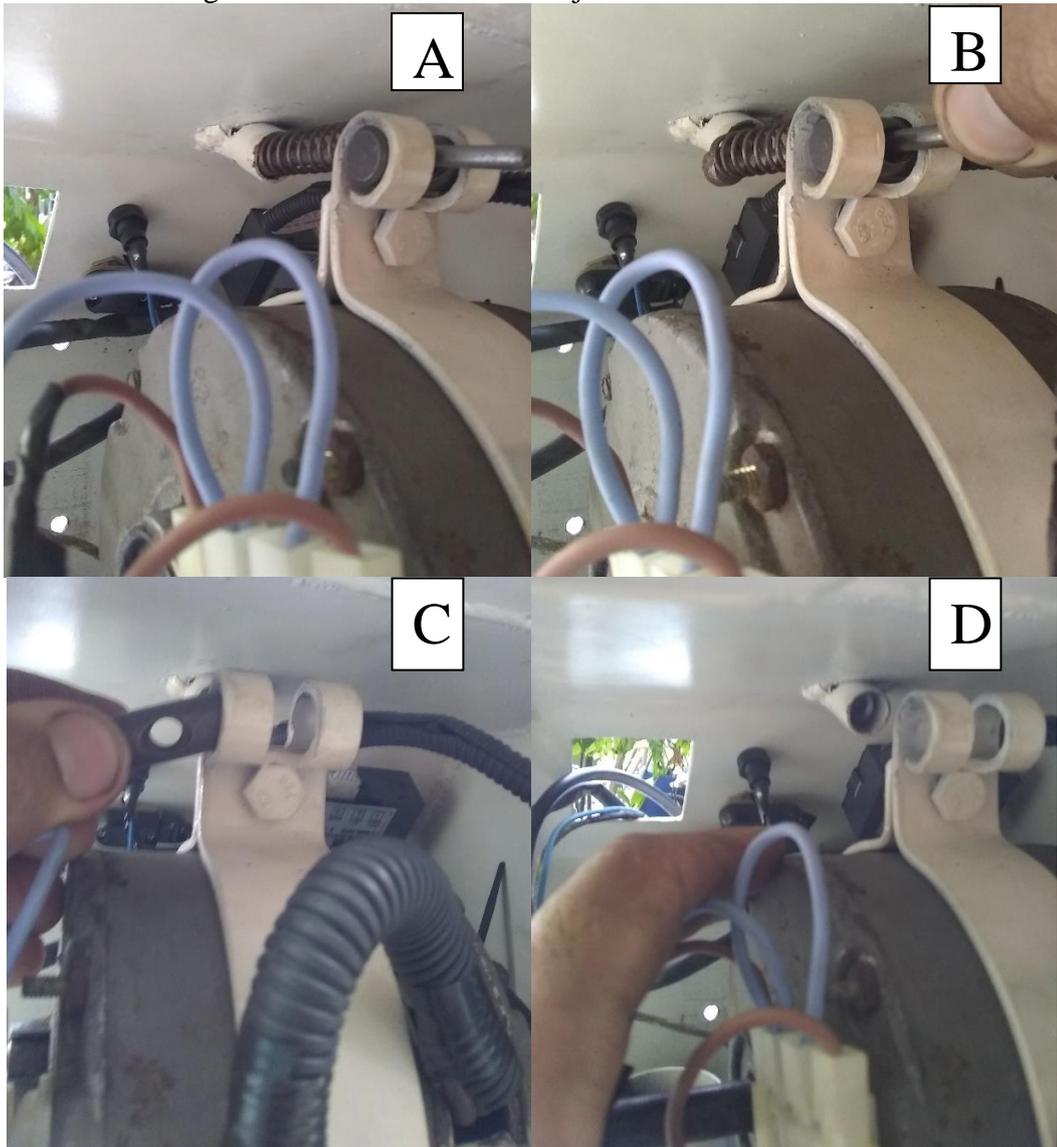


Figura 5 - Parafusos de fixação dos mancais.



Observação: O eixo árvore possui o guia do sensor no qual seu acomplamento é uma rosca esquerda.

Com uma chave Allen 1/8" solte os parafusos que fixam os centros dos mancais ao eixo e a polia dentada.

Observação: Todos os outros componentes são de fácil entendimento para desmontagem e possuem seus locais bem estabelecidos garantindo assim o alinhamento sempre quando for seguir a montagem.

3- Montagem dos corpos de provas

1º Passo: Pegue um par de corpo de provas a ser utilizado no teste e seu correspondente kit, (par de o-rings e a caixa de óleo) e um **clipe de papel*** visto na Figura 6.

Figura 6: Kit para o teste

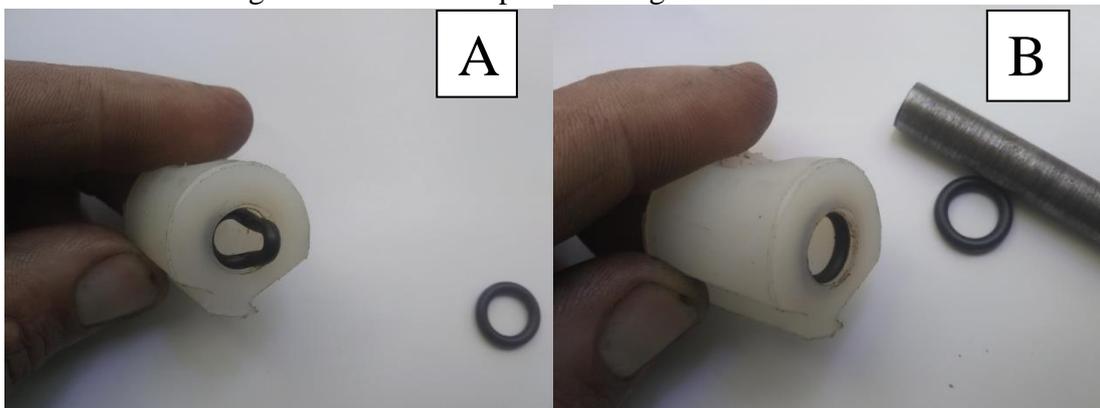


* É um ajuste para esse reservatório de óleo, cuja finalidade é fazer com que o mesmo não entre em rotação junto com o corpo de provas rotativo.

Observação: O corpo de prova menor (25mm) é fixado na haste de cargas e o maior (50mm) é fixado no mandril.

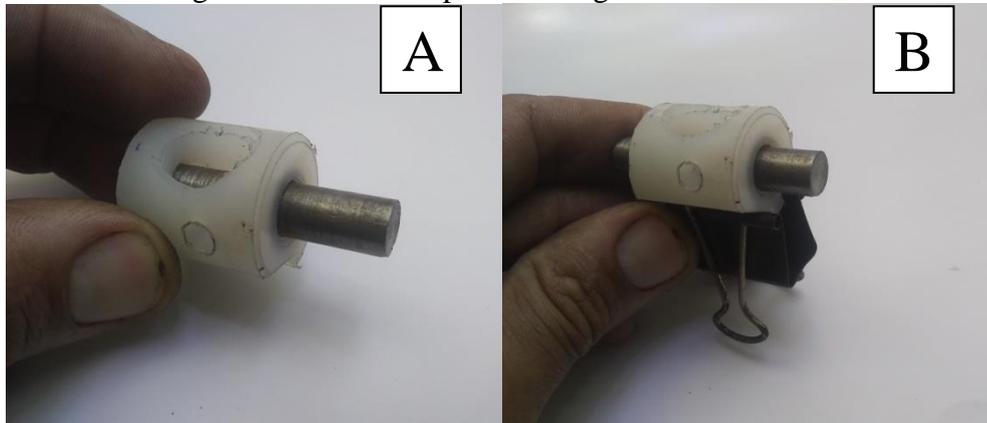
2º Passo: Pegue a caixa de óleo e instale o-rings com cuidado para não danificar. Faça uma pequena deformação até o o-ring encaixe no seu rebaixo Figura 7A e depois deixei-o no encaixe corretamente Figura 7B.

Figura 7: Encaixe do par de o-ring na caixa de óleo.



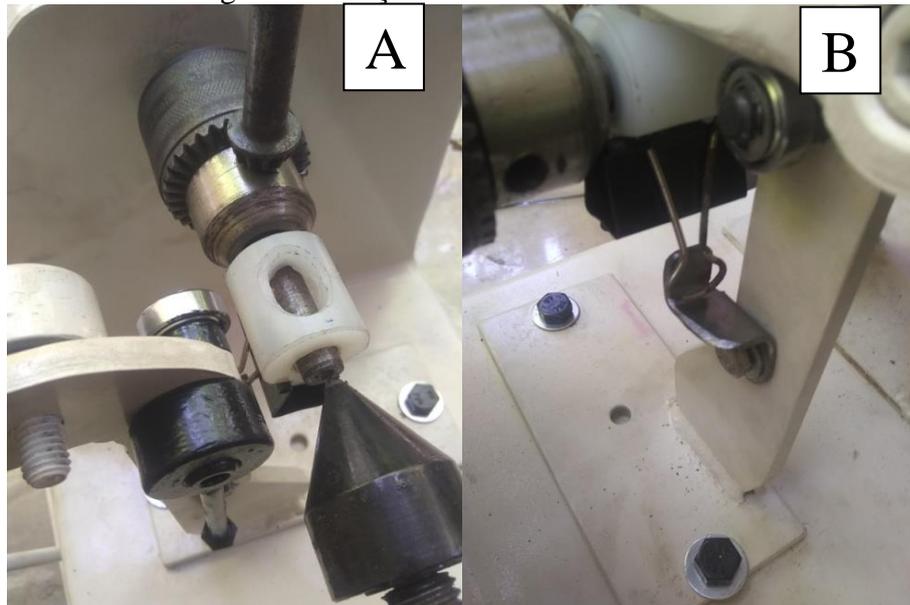
3º Passo: coloque o corpo prova na caixa de óleo Figura 8A e prenda o clipe de papel Figura 8B.

Figura 8: Encaixe do par de o-ring na caixa de óleo.



4º Passo: Fixe corpo de prova no mandril, cujo lado que não possui o furo de centro. Usando a chave de mandril nos 3 furos para garantir sua fixação perfeita Figura 9A. Verifique se o clipe está encostado a trava do suporte Figura 9B.

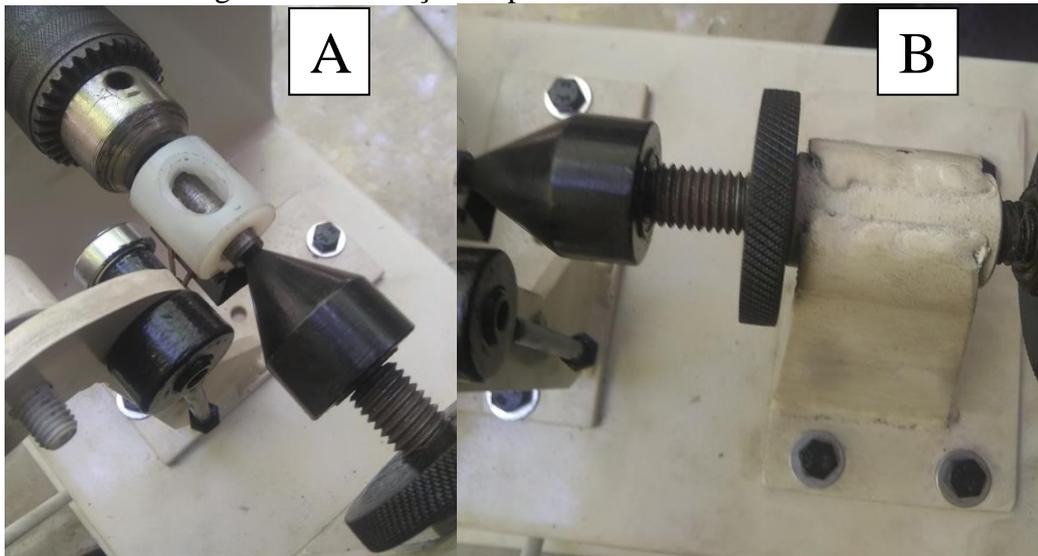
Figura 9: Fixação do reservatório de óleo.



Observação: O clipe de papel garante que a caixa de óleo não gire e faça com que o óleo escoe.

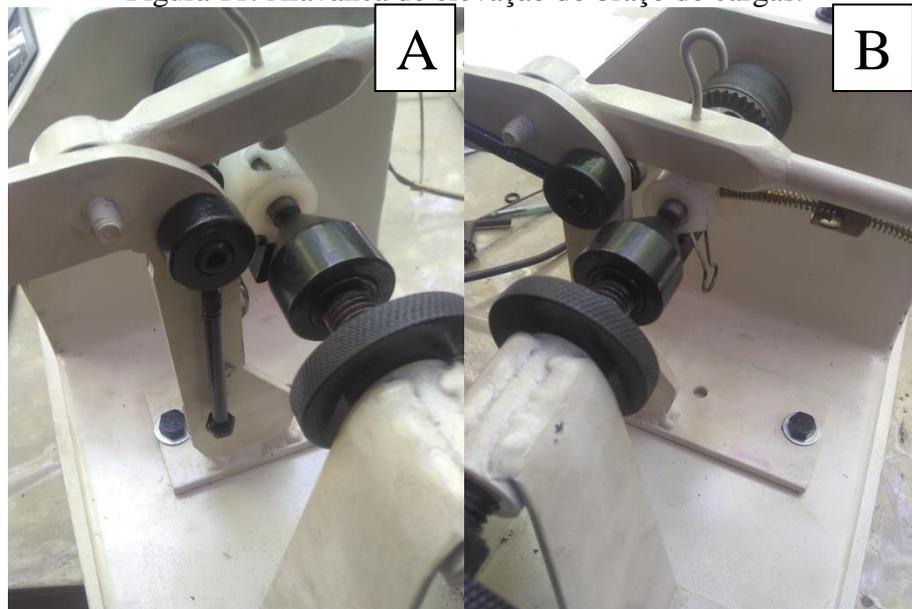
5º Passo: Encoste a ponta de centro no furo de centro do corpo de prova Figura 10ª e com uma leve pressão trave a porca no suporte de apoio Figura 10B.

Figura 10: Utilização da ponta de centro e sua trava.



6º Passo: Gire o braço de cargas de modo que esbarre no rolamento da alavanca de encosto Figura 11^a, com isso puxando a alavanca para cima faz com que o braço baixe e o corpo de provas fixo encoste no corpo de provas rotativo Figura 11B.

Figura 11: Alavanca de elevação do braço de cargas.



Observação: Conecte o sensor de temperatura para avaliar variação de temperatura do óleo.

7º Passo: Coloque com uma seringa o volume de óleo de teste na caixa de óleo.

8º Passo: Com isso deve-se seguir a programação do painel controlador.

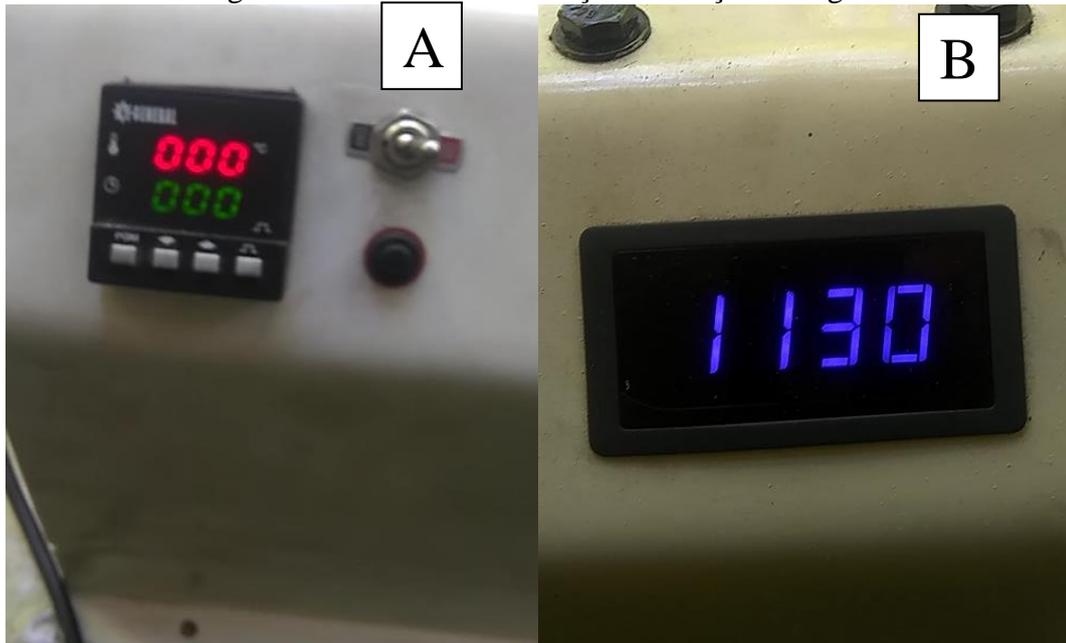
4- Programação do painel controlador

1° Passo: Ligue a máquina usando o botão ON/OFF.

2° Passo: Espere todas as luzes acenderem.

Observação: Figura 12^a - O painel mostra temperatura e o tempo e no painel e Figura 12B mostra a rotação em RPM do motor.

Figura 12: Alavanca de elevação do braço de cargas.



3° Passo: Para programar o tempo desejado de teste. Aperte o botão PGM do controlador duas vezes. Isso dará acesso de alterar o tempo, de 0 a 900 segundos (15 minutos) . A seta para cima ou para baixo farão o acrescimo de cada unidade de tempo.

4° Passo: Apertando PGM novamente tem-se acesso para programar a temperatura, de modo a aferir.

5° Passo: Apertando PGM novamente volta ao começo.

6° Passo: Para iniciar o teste, aperte o Botão preto de inicio, com isso a máquina entra em funcionamento e verifique que esteja sem aplicação de cargas adicionada e siga o procedimento de teste.

7° Passo: Escolha um tempo de inicio de teste, 10 segundo por exemplo sem aplicação das carga, com o objetivo de normalizar a energia de inércia do movimento das peças.

8° Passo: No fim de cada teste a maquina pára e dará um sinal sonoro.

9° Passo: Repita o procedimento para cada par de corpos de provas e seu respectivo óleo de teste.

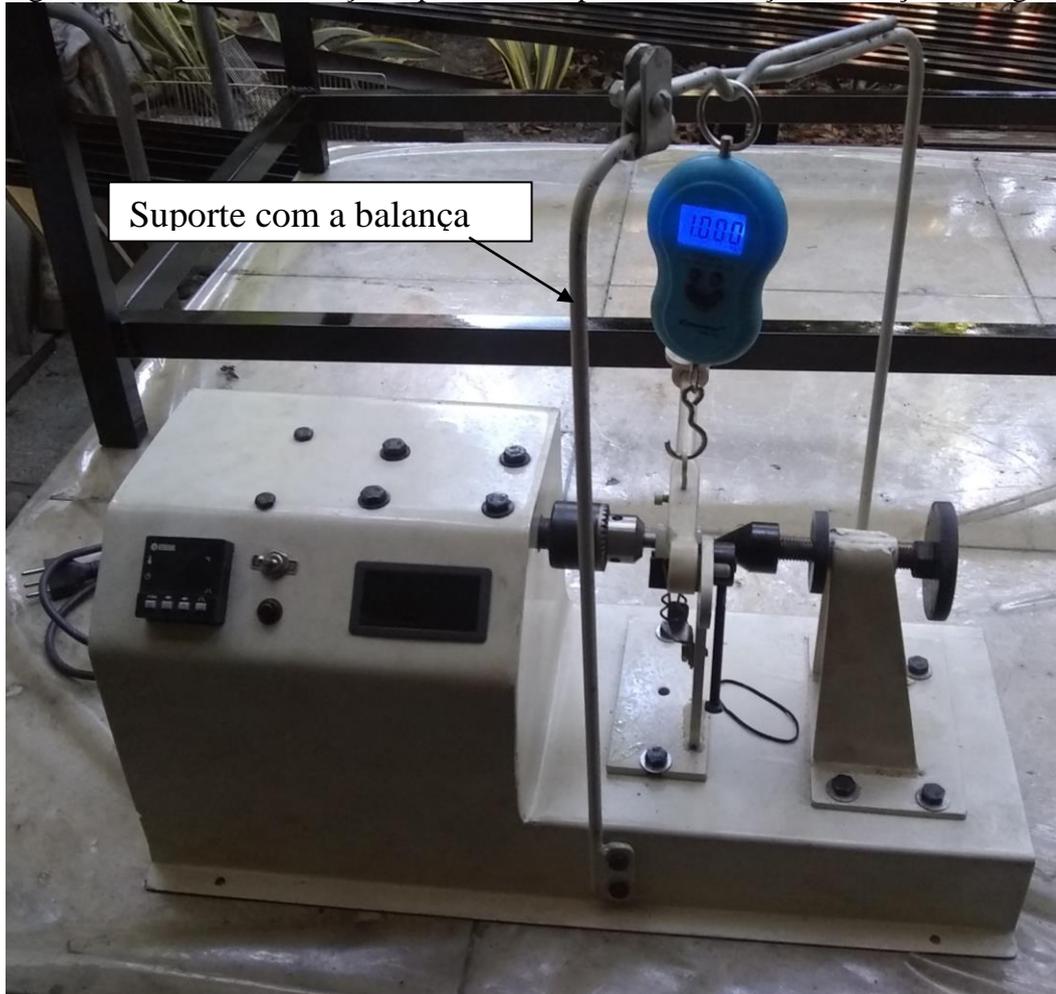
10° Passo: Limpe a caixa de óleo depois de cada teste e se necessário troque o par de o-rings.

5- Aferimento das cargas e da posição do guia de cargas.

Esse procedimento só é necessário quando o guia das cargas não estiver no seu devido local.

Para realizar o aferimento, é instalado na estrutura na máquina um acessório, ou seja, um suporte com uma balança de precisão ou um dinamômetro para segurar o braço de suporte de cargas, no procedimento o mesmo é liberando passando a distribuição da carga para a balança, sendo mostrado assim na Figura 13.

Figura 13: Suporte e balança de precisão acoplada na elevação do braço de cargas.

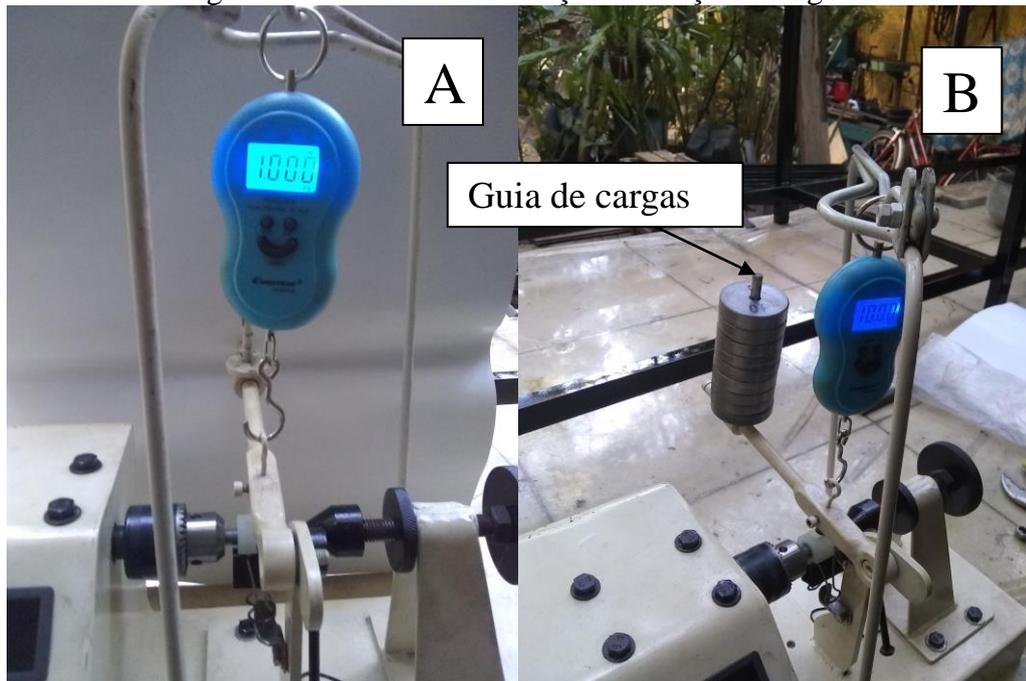


É necessário repetir o procedimento 10 vezes para garantir que todas as vezes a balança mostre o mesmo resultado visto na Figura 14A.

Com isso o procedimento é realizado para cada carga até a carga máxima de 10 kg como é visto na Figura 14B.

O parafuso guia deve ser ajustado de modo que a carga aplicada inicialmente no corpo de prova seja de 1 kg,

Figura 14: Alavanca de elevação do braço de cargas.



6- Conexão Máquina-computador.

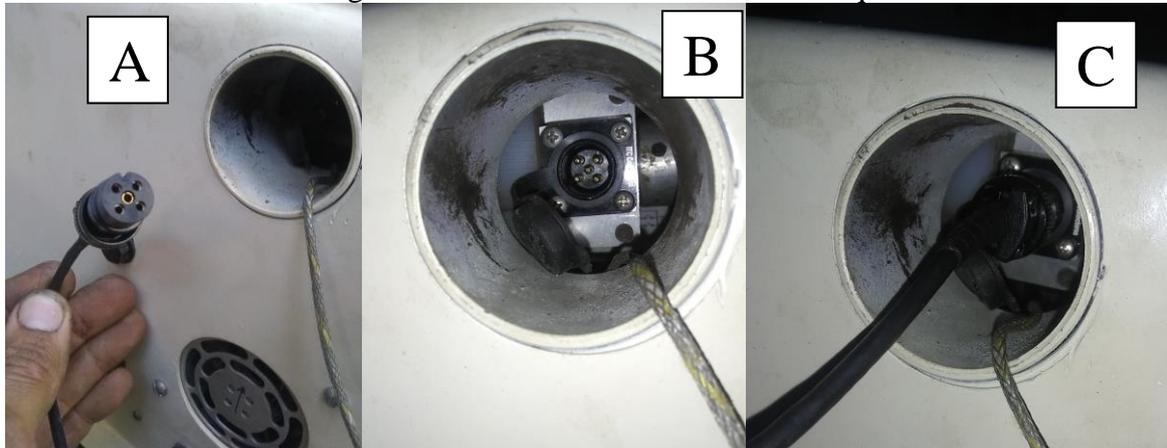
O processo de aquisição de dados requer a interação entre a máquina e um computador de modo que o meio que interliga os dois é um conjunto eletrônico Arduino e os cabos de alimentação, como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15: Conexão máquina - computador.



1° Passo: Conexão do cabo de sinal do sensor de torque. Na Figura 16A observa-se que o encaixe possui um guia para não ocorrer erros na ligação. O encaixe fica numa região aberta da máquina que é protegida por uma tampa de borracha Figura 16B. E uma conexão simples de se fazer. Figura 16C.

Figura 16: Cabo de sinal do sensor de torque.



2° Passo: Ligue o cabo USB no computador e na caixa eletrônica, como na Figura 17.

Figura 17: Caixa eletrônica ligada corretamente.



7- INSTRUÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

1° Passo: Adquirindo o *software* Arduino® do site do Arduino® na internet.

A organização do Arduino® disponibiliza, em seu site, o link para download do *software* que permitirá editar o algoritmo a ser carregado no hardware Arduino®. Para isso, deve-se executar o download do *software* Arduino® no link abaixo:

<https://www.arduino.cc/en/software>

Por meio desse link, você pode realizar o download para diferentes sistemas operacionais, como Windows, Linux e Mac OS.

2ª Passo: Armazenando o recurso PLQX V2.

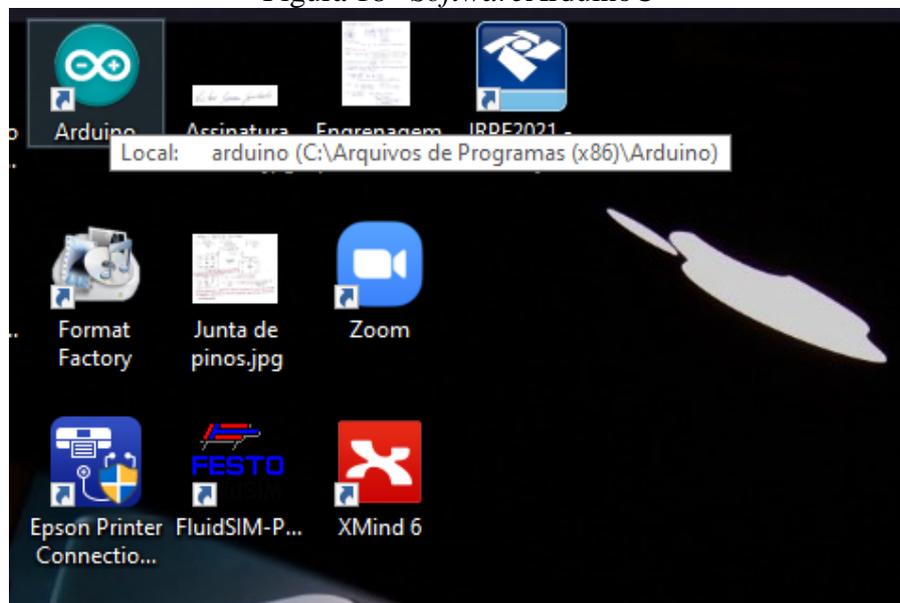
Para efetuar o armazenamento de dados no Excel, é sugerido utilizar o PLQX V2. Para isso, você deve armazenar em alguma memória física, no computador utilizado, a pasta com o programa “PLQX V2 version” disponibilizada. Você pode armazenar esta pasta onde lhe for conveniente.

3º Passo: Acoplagem do cabo USB do Arduino® com o computador;

4º Passo: Abrindo o software Arduino®.

Se você utilizar o modo de instalação padrão ou *Standard installation*, será criado um atalho na área de trabalho do computador. Com isso, basta clicar 2x, de forma rápida, no símbolo do atalho, como representado pela Figura 18.

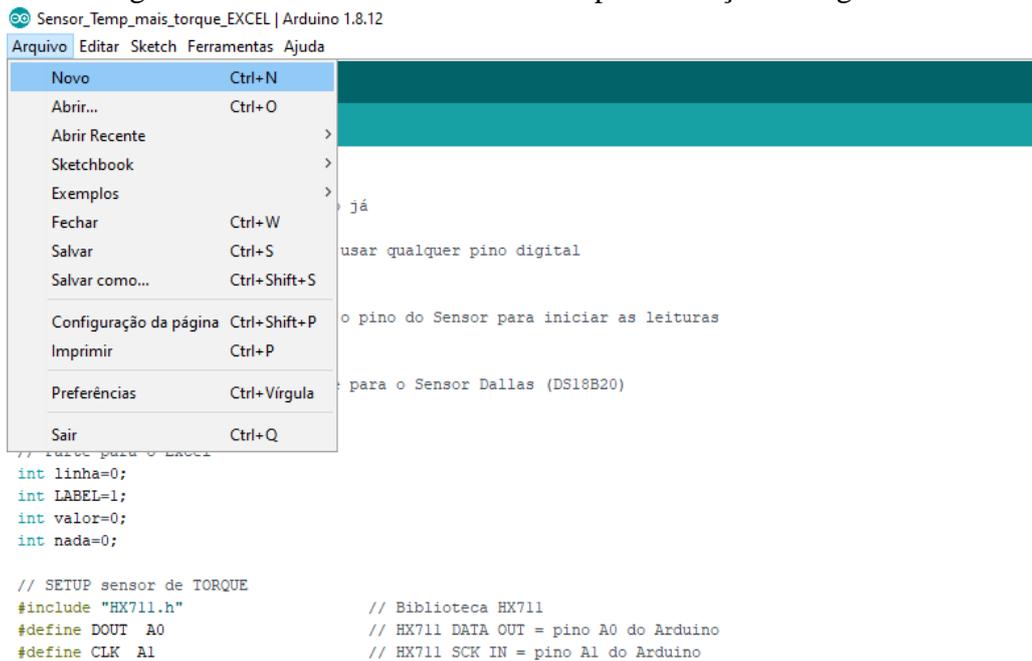
Figura 18– *Software* Arduino®



5º Passo: Criando um arquivo para gerenciamento e edição do algoritmo que irá ser utilizado pelo *hardware* Arduino®.

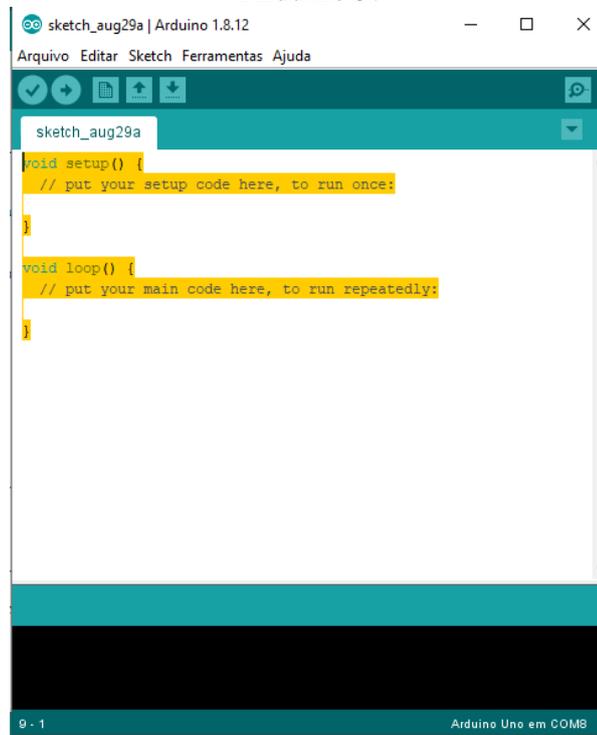
Ao abrir o *software*, deve-se criar um novo documento onde se possa inserir o algoritmo para que o Arduino® processe corretamente os sinais enviados pelos sensores. Você pode fazer isso indo na barra de menus, clicar em “Arquivos” e, em seguida, em “Novo”, como apresentado pela Figura 19 abaixo.

Figura 19 – Criando novo documento para inserção do algoritmo.



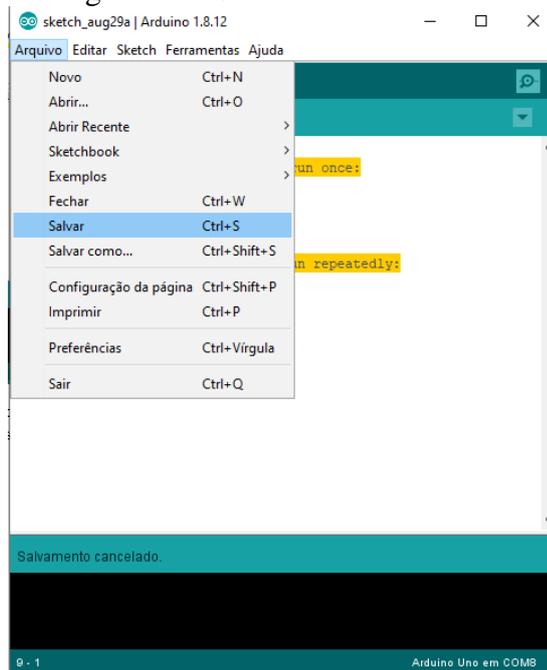
Com a criação do novo documento, será aberta uma janela, como mostrado na Figura 20 a seguir. Nessa janela, você deve selecionar todo o texto nela contido e substituir pelo algoritmo disponibilizado no manual.

Figura 20– Nova janela aberta onde deve ser inserido o algoritmo para funcionamento do Arduino®.



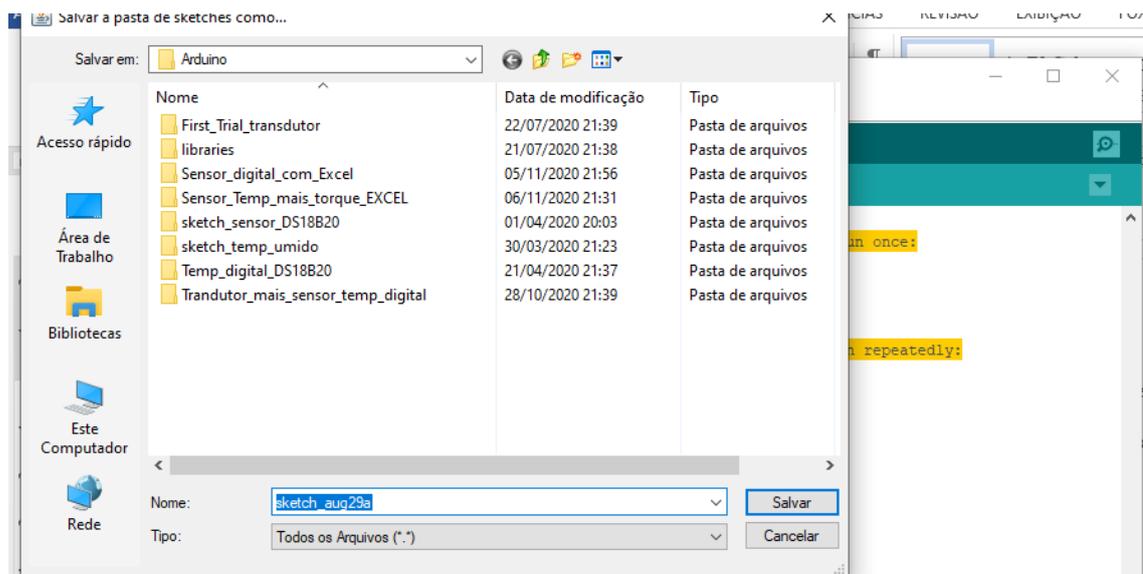
Com o algoritmo inserido no *software*, é importante salvar o documento. Para isso, deve-se ir na aba “Arquivo”, e clicar em “Salvar”, como mostrado na Figura 21 abaixo.

Figura 21 – Salvando o documento



Com o clique nesse botão, abre-se uma janela, mostrada na Figura 22. Você deve nomear o arquivo (no campo “NOME”) e salvá-lo no lugar que lhe for conveniente na memória do seu computador. É prudente nomear o arquivo de forma a não conter espaços, “ç”, acentos ortográficos além dos caracteres curingas de alguns Sistemas Operacionais, como “?”, “>”, “*”, “[”, “[”, “#”, “-“, no Windows, por exemplo, para salvar o arquivo, é suficiente clicar no botão “Salvar”, no canto inferior direito da janela, onde está circundado o retângulo em azul.

Figura 22– Janela para salvar o documento e nomeá-lo



6º Passo: Verificando erros no algoritmo utilizando o *software* do Arduino®.

O algoritmo utilizado é visto na Figura 24 a seguir e deve-se copiar e colar ao abrir a página de acesso:

Figura 23 – Algoritmo de compilação

```

-----
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Wire.h> //Vem no Arduino já

//Neste caso é o pino 2, mais pode usar qualquer pino digital
#define ONE_WIRE_BUS 2

//Instacia o Objeto oneWire e Seta o pino do Sensor para iniciar as leituras
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

//Repassa as referencias do oneWire para o Sensor Dallas (DS18B20)
DallasTemperature sensor(&oneWire);

// Parte para o Excel
int linha=0;
int LABEL=1;
int valor=0;
int nada=0;

// SETUP sensor de TORQUE
#include "HX711.h" // Biblioteca HX711
#define DOUT 4 // HX711 DATA OUT = pino 4 digital do
Arduino
#define CLK 5 // HX711 SCK IN = pino 5 digital do Arduino

HX711 balanca; // define instancia balança HX711

float calibration_factor = 42130; // fator de calibração aferido na Calibração

void setup(void)
{
//Inicia a Serial PARA SENSOR TEMPERATURA E SENSOR TORQUE
Serial.begin(9600);
Serial.println("CLEARDATA");
Serial.println("LABEL,Hora,Temperatura[C],Torque [N.m],linha");

//Serial.println("Sensor de temperatura Dallas DS18b20");
//Inicia o objeto da biblioteca do Dallas
sensor.begin();

//Inicilização do sensor de torque especificamente e coleta de dados
balanca.begin(DOUT, CLK);
//Serial.println("Pressione t para Tara"); // imprime no monitor serial
balanca.set_scale(calibration_factor); // ajusta fator de calibração
balanca.tare(); // zera a Balança
delay(2000);
}

```

```

}

void loop(void)
{
  //COLETA DE DADOS DO SENSOR DE TEMPERATURA
  //Envia o comando para obter temperaturas
  sensor.requestTemperatures();
  // A temperatura em Celsius para o dispositivo 1 no índice 0 (é possível ligar varios sensores
  usando a mesma porta do arduino)
  float leitura=sensor.getTempCByIndex(0);
  nada++;
  linha=linha+1;// incrementa a linha no Excel para que o sensor pule de linha em linha

  // A coleta de dados do sensor de torque já foi feita na variavel "balanca"

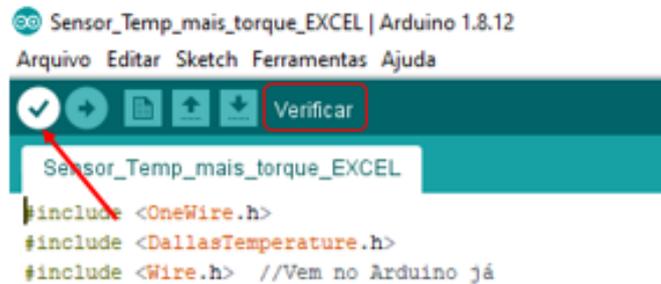
  Serial.print("DATA,TIME,");
  //Imprime na serial a varivel que recebe os dados do Sensor
  Serial.print(leitura);
  Serial.print(",");
  Serial.print(balanca.get_units(), 3); // Imprime peso da balança com 3 casas decimais
  Serial.println(linha);
  delay(2000);

  // Algoritmo que permite zerar a balança coma a SERIAL apertando "t" ou "T" para Tarar
  o sensor
  if (Serial.available()) // se a serial estiver disponivel
  {
    char temp = Serial.read(); // le carcter da serial
    if (temp == 't' || temp == "T") // se pressionar t ou T
    {
      balanca.tare(); // zera a balança
      Serial.println(" Balança zerada"); // imprime no monitor serial
    }
  }
}
}

```

O fato do algoritmo está no *software* não significa que o Arduino® esteja carregado com o algoritmo em sua memória para processamento. Para fazer com que o Arduino® funcione conforme os comandos do algoritmo, deve-se efetuar o processo de carregar o *hardware* Arduino®. Entretanto, antes de efetuar tal procedimento, é importante verificar se há algum erro de sintaxe do algoritmo com relação à linguagem de programação. Para isso, você deve clicar no botão “Verificar” mostrado na Figura 24 por uma seta vermelha. Ao passar a seta do mouse por cima do botão, irá aparecer, simultaneamente, o nome Verificar onde está contornado por um retângulo em vermelho. Ao clicar no botão, aguarde um instante.

Figura 24 – Utilizando o recurso Verificar



Na seção inferior da janela do *software*, deve aparecer uma mensagem de compilamento executado com sucesso, como apresentado pela Figura 25, contornada com o retângulo vermelho. Com o aparecimento desta mensagem, significa que não há erros de sintaxe e que o algoritmo pode ser carregado no algoritmo.

Figura 25 – *Feedback* do *software* Arduino® sobre a Verificação

```
// SETUP sensor de TORQUE
#include "HX711.h"           // Biblioteca HX711
#define DOUT A0             // HX711 DATA OUT = pino A0 do Arduino
#define CLK A1              // HX711 SCK IN = pino A1 do Arduino

HX711 balanca;             // define instancia balança HX711

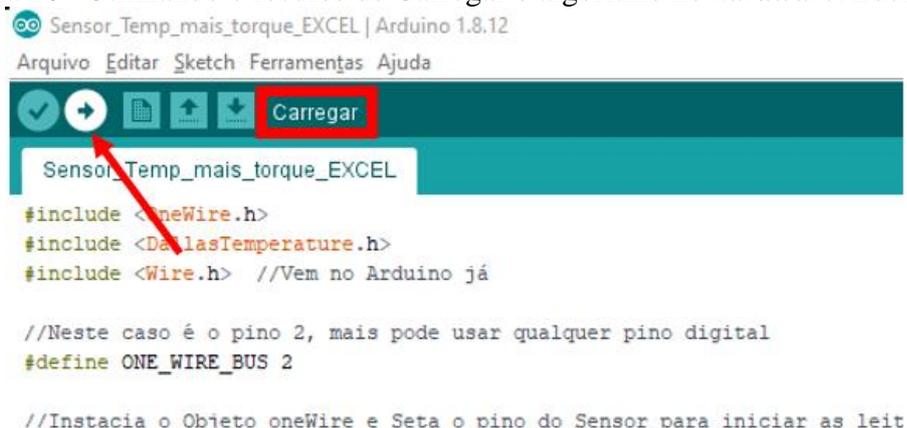
float calibration_factor = 42130; // fator de calibração aferido na Calibração

void setup(void)
{
  // Compilação terminada
  O sketch usa 8526 bytes (26%) de espaço de armazenamento para programas. O máximo são 32256 bytes.
  Variáveis globais usam 464 bytes (22%) de memória dinâmica, deixando 1584 bytes para variáveis locais. O máximo são 2048 bytes.
```

7º Passo: Carregando o algoritmo no *hardware* Arduino®.

Para efetuar o carregamento, após a verificação da sintaxe do algoritmo, deve-se clicar no botão com a seta para a direita, indicado pela seta vermelha, ao lado do botão de verificação.

Ao passar a seta do *mouse* sobre o botão, veja que ao lado, contornado pelo retângulo, aparecerá a palavra “Carregar”, indicando que ao clicar nesse botão, o *software* irá carregar o algoritmo no Arduino® como é visto na Figura 26.

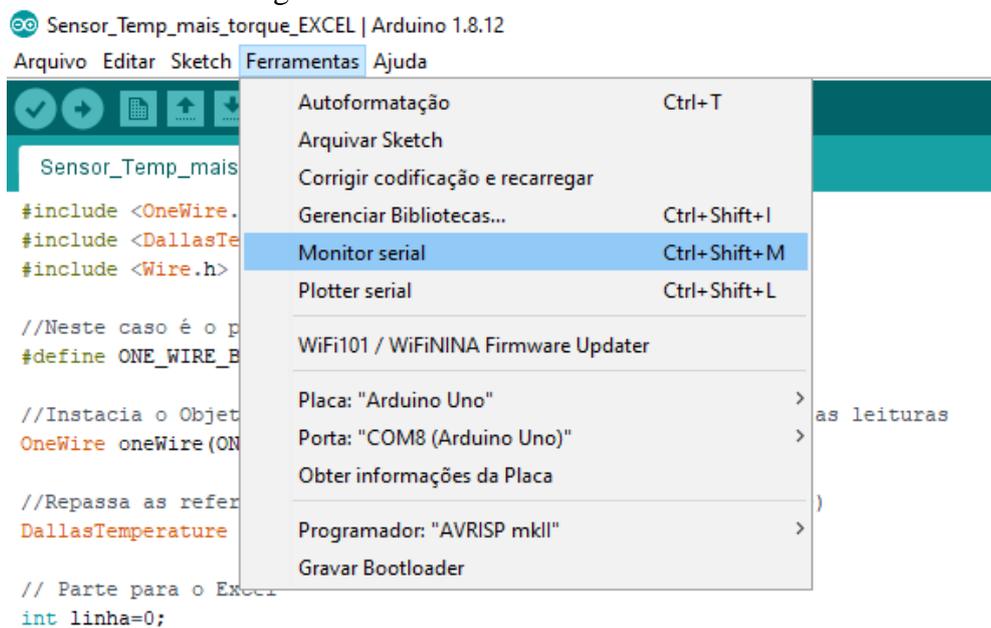
Figura 26– Utilizando o recurso de Carregar o algoritmo no *hardware* Arduino®.

Caso não apareça nenhuma mensagem de erro na parte de mensagens do *software*, isso indica que o Arduino® está carregado com o algoritmo e pronto para realizar as funções programadas.

8º Passo: “Tarando” o transdutor.

É recomendado que, antes de iniciar as medições, seja efetuada a “zeragem” do transdutor. Para isso, deve ser aberto o Monitor Serial. Com isso, deve-se ligar a máquina e com o eixo rotacionando, sem carga, clica em “Ferramentas” na barra superior de menus, depois clica em Monitor Serial, como mostrado abaixo na Figura 27.

Figura 27 – Utilizando o Monitor Serial



Após isso, digite a letra “t” e tecla Enter. Com isso, o sensor estará “tarado”, como mostrado na Figura 28 abaixo.

Figura 28– Tarando a balança



Com esse procedimento executado, feche o monitor serial no botão de fechar representado pelo símbolo “X” no canto superior direito da janela do Monitor serial.

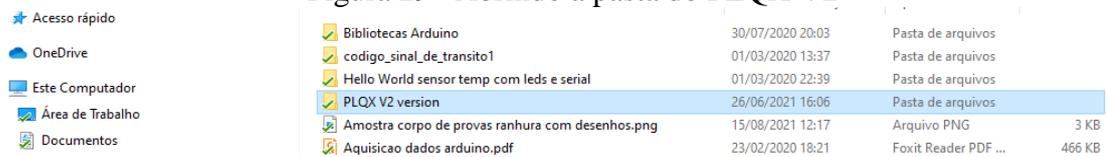
9º Passo: Armazenando dados no software Excel com o PLQX V2

Caso você queira armazenar os dados em uma planilha em Excel, existe o *software* PLQX V2 construído baseado em linguagem VBA – *Virtual Basic for Applications*. Com o PLQX V2 é possível transferir os dados que são exibidos no Monitor Serial para o Excel.

Observação: É importante salientar que só se deve abrir o PLQX V2 se a janela do Monitor Serial estiver fechada. Caso contrário, não irá funcionar.

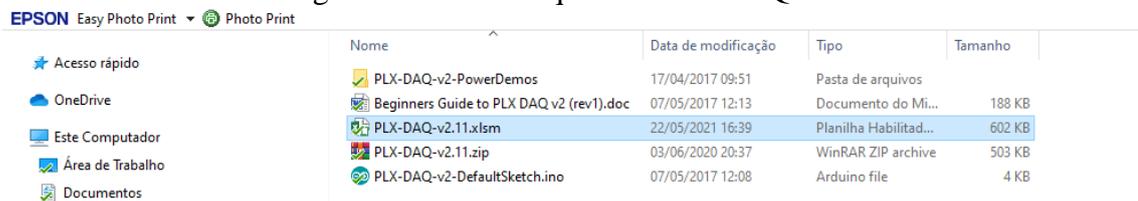
Para iniciar o PLQX V2, você deve abrir a pasta do recurso, que deve estar nomeado em seu computador de acordo com a Figura 29 abaixo.

Figura 29– Abrindo a pasta do PLQX V2



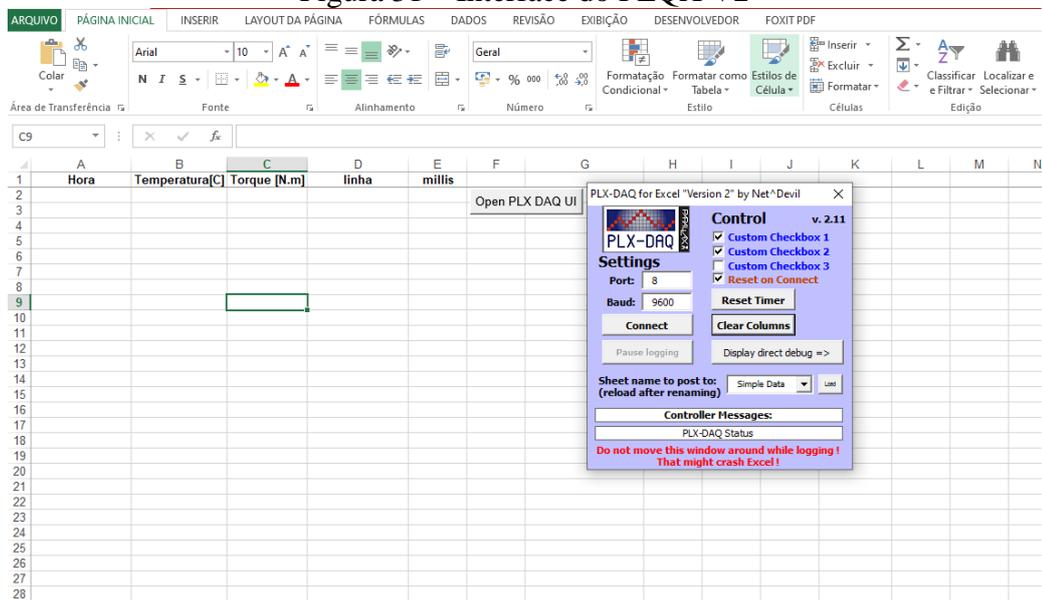
Dentro da pasta estará a planilha em Excel com o recurso citado. Você deve abrir a planilha, selecionada em azul, com o nome de “PLX-DAQ-v2.11.xlsm”, como mostrado pela Figura 30 abaixo.

Figura 30– Planilha que contém o PLQX V2



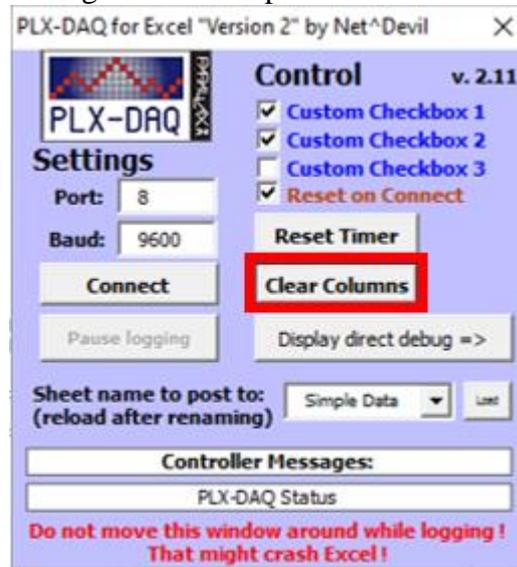
Ao abrir a planilha, será mostrada na Figura 31.

Figura 31 – Interface do PLQX V2



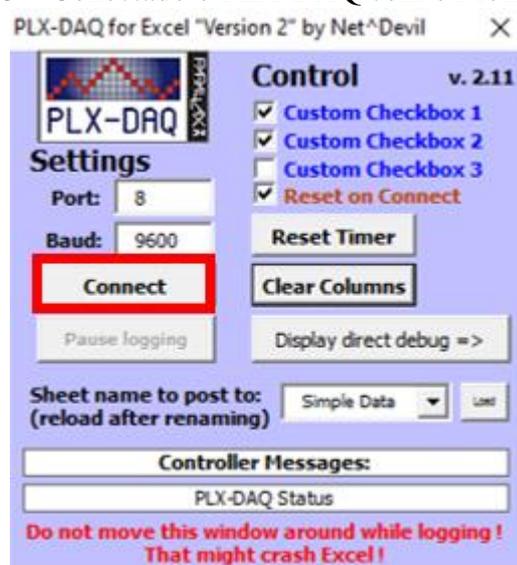
A primeira coisa que deve ser feita é limpar dados que podem estar nas colunas. Para isso, clique no botão “ClearColumns”, circundado pelo retângulo vermelho na Figura 32 abaixo.

Figura 32 – Limpando as colunas



Após isso, para iniciar a receber e armazenar os dados, deve-se clicar no botão de “Connect”, também circundado de vermelho, na Figura 33.

Figura 33 – Conectado o PLX-DAQ com o Monitor Serial



Com o fim da coleta de dados, você deve clicar no botão “Disconnect” que aparecerá no mesmo local do botão “Connect” para encerrar a transferência de dados do Monitor Serial para o Excel.

**APÊNDICE E – ORÇAMENTO – EQUIPAMENTO PARA TESTE DE LUBRICIDADE
DE ÓLEOS LUBRIFICANTES MINERAIS E SINTÉTICOS**

PEÇAS CONSTITUINTES					
Material	Especificação	Qtd	Situação	Preço unitário	Preço
Chapas de Aço	Espessura 1/8"=3,175mm 80cm x 30cm 55cm x 36cm (Dobrado no perfil)	1 1	Compra	75,00	75,00
Correia dentada	Marca: MEGADYNE Isoran 150XL 649	1	Compra	30,00	30,00
Mancal	De base, 3/4"	2	Doação	45,00	90,00
Controlador digital	Controlador Digital De Tempo E Temperatura Inv-20002 / 32103	1	Doação	338,90	338,90
Mandril	1/2" Roscat	1	Compra	76,80	76,80
Motor Elétrico	Motor Ventilador 1/8 6P 220V Ac 005654 I-1173 RPM, 60hz	1	Doação	372,26	372,26
Rolamento	608	2	Compra	4,00	8,00
Digital RPM	Medidor Digital Rpm Sensor Tacômetro	1	Compra	89,00	89,00
Sensor de Torque	Torquímetro Rotativo Transtec	1	Compra	6500,00	6500,00
Cooler Para Gabinete 80x80	1 ventilador 8CM 8x8 (80x80mm) Cooler Fan Ventoinha 12V 80x80x25mm Voltagem: 12VTamanho: 80mm x 80mm x 25mm Corrente: 0,14A (140ma)Vazão: 55	1	Doação	11,90	11,90
Fonte 12V	Fonte 12v 5a Bivolt- Preta	1	Compra	15,00	15,00
Parafuso	M8 x 25 com porca	20	Compra	0,67	13,40
	3/16" x 1/2" Panhead	20	Compra	0,30	6,00
	1/4" x 3" com porca	2	Compra	0,81	1,61
	1/4" x 1/2" Allen sem cabeça	6	Compra	0,56	3,36
Componentes elétricos	Caixa de fusível, fios, conexões e terminais	-	Compra	50,00	50,00
				TOTAL	\$7681,23
				Doação	\$ 813,06
				Compras SEM Torquímetro Rotativo	\$ 368,17
				Torquímetro Rotativo - Compra pelo projeto FUNCAP	\$6500,00

SERVIÇO DE FABRICAÇÃO					
Material	Especificação	Qdt.	Situação	Preço unitário	Preço
Estrutura de chapa de aço	Soldagem e furação	1	Compra	300,00	300,00
Eixo principal	Usinagem (Rosca 12x1,25), eixo 3/4"	1	Compra	70,00	70,00
Base do motor	Arco de aço, 1"x1/8"	1	Compra	40,00	40,00
Conta ponta	Processo de fabricação e soldagem: Estrutura de chapa 3/16", Parafuso M14x2, guia, porcas, manípulos,	1	Compra	200,00	200,00
Polias dentadas	Material Nylon Tecnil	2	Compra	70,00	140,00
Suporte do sensor de torque	Material Nylon Tecnil	1	Compra	100,00	100,00
Guia sensor-eixo principal	Material Nylon Tecnil	1	Compra	40,00	40,00
TOTAL					\$ 890,00

INVESTIMENTO TOTAL	\$8571,23
---------------------------	------------------

APÊNDICE F – FOTOGRAFIAS

Legenda: Montagem parte elétrico-eletrônica – Senhor Paulo Sergio.



Legenda – Montagem final da máquina



Legenda: Primeiro teste e análise de dados

ANEXO A – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

	FICHA DE CARACTERÍSTICAS	OF:
		SC: _____

CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ	TIPO: MT-102	Nº 17.829
--	--------------	-----------

TORQUIMETRO ROTATIVO**CARACTERÍSTICAS BÁSICAS**

Escala de Medição: 0 à 5 N.m

Sobrecarga admissível sem alteração: 1,5 x E.M

Sobrecarga admissível sem ruptura: 3,0 x E.M

Faixa térmica de utilização: -20 à 80°C

Condição da calibração: Torque Horário

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Tensão de alimentação: 10Vcc (Recomendada)

Tensão de alimentação: 12Vcc (Máxima)

Isolamento: >2000 MΩ (sob 15 Vdc)

Resistência de entrada: 352,6 Ω

Resistência de saída: 352,6 Ω

Off-set: 0,001 mV/V

Ligações elétricas	Opção Cabo	Conector
(+) Alimentação	Vermelho	Pino 1
(-) Alimentação	Preto	Pino 3
(+) Sinal S1	Azul ou Verde	Pino 2
(-) Sinal S2	Branco ou Amarelo	Pino 4
Blindagem	Malha	Pino 5

CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS:

Sensibilidade para a E.M no Sentido Horário.: + 1,074 mV/V

Faixa térmica compensada: 20 à 70°C

Desvio térmico do ZERO: ± 0,02% do SFE/°C

Desvio térmico do S.F.E.: ± 0,04% do SFE/°C

Não Linearidade: ± 0,30% do SFE

Histerese: ± 0,10% do SFE

Não repetibilidade: ± 0,05% do SFE

MEFFERSON C. CALIXTO DA SILVA
São Paulo, 24 de março de 2020