

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
Campus DIVINÓPOLIS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Tarcísio Carlos Fonseca

DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO
DE UMA MÁQUINA DE ENSAIO DE FADIGA COMPUTADORIZADA



Divinópolis
2014

Tarcísio Carlos Fonseca

DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA DE ENSAIO DE FÁDIGA
COMPUTADORIZADA

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Colegiado de Graduação em Engenharia Mecatrônica como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Eixo de Formação: Mecânica, Elétrica e Computação.

Orientador: Dr Luiz Claudio Oliveira

Co-orientador: M.Sc Juliano Barro Veloso e Lima



Divinópolis
2014

Tarcísio Carlos Fonseca

Candidato a Engenheiro Mecatrônico

CEFET/MG *Campus* Divinópolis

DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA DE ENSAIO DE FÁDIGA
COMPUTADORIZADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecatrônica como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de em Engenheiro Mecatrônico.

Banca Examinadora:

Prof. M.Sc Alan Mendes Marotta
CEFET/MG *Campus* Divinópolis

Prof. M.Sc Mestre Josias Gomes Ribeiro Filho
CEFET/MG *Campus* Divinópolis

Divinópolis
2014

Resumo

O presente estudo aborda uma pesquisa experimental realizada em um universo das engenharias, especialmente, nas áreas de Mecânica e Elétrico-Eletrônica. Enfocou-se o desenvolvimento e construção de uma máquina de ensaio de fadiga rotativa computadorizada e de baixo custo. O principal objetivo do trabalho é a utilização de um dispositivo mecânico e elétrico que foi acionado via software para fletir os corpos de prova, com o intuito de simular ensaio de fadiga flexo rotativa. Foram desenvolvidas as seguintes etapas; (I) A revisão de literatura; (II) O desenvolvimento da parte mecânica do projeto; (III) A simulação da estrutura da máquina; (IV) Construção Mecânico na qual abarca a montagem de toda a parte mecânica, incluindo as etapas de usinagem das chapas, soldagem e alinhamento da mesa, e o sistema de aplicação de tensão; (V) Montagem da parte eletrônica e programação do microprocessador, na qual foi feita utilizando um pic 16f877a que acionou o motor de corrente contínua através de uma interface para o computador. Os resultados obtidos foram feitos através de fotos e simulação, e a validação da máquina foi feita com um corpo de prova de polímero.

Palavras-chave: Computadorizada. Baixo Custo. Acionamento via Software.

Abstract

The present study focuses on an experimental study conducted in a universe of engineering, especially in the areas of Mechanical and Electrical-Electronics. Focused on the development and construction of a fatigue testing machine Computed rotational and low cost. The main objective of this work is the use of a mechanical and electrical device that will be triggered via software to flex their bodies proof. The literature review (I), the following steps have been developed (II) The development of the mechanical part design, (iii) Simulation of structure machine, (IV) Construction Mechanics; (V) Installation of electronics and microprocessor programming. The results were made using photos and simulation.

Key-words: Computed. Low Cost. Driven by Software.

Sumário

Lista de Figuras	xiii
1 Introdução	1
1.1 Relevância	1
1.2 Objetivo	3
1.3 Revisão de Literatura	3
2 Conceitos de Fadiga	7
2.1 Introdução	7
2.2 Etapas do processo da fadiga	7
3 Projeto da Máquina de Ensaio de Fadiga	9
3.1 Princípio Básico	9
3.2 Desenvolvimento da Mecânica	10
3.2.1 Distância entre os mandris	10
3.2.2 A estrutura da Máquina	10
3.2.3 Sistema de aplicação de Força	17
3.2.4 Montagem Geral	19
3.3 Elétrica	20
3.3.1 Dimencionamento da potência do motor	20
3.3.2 Acionamento do Eixo da Máquina	22
3.3.3 Programação do Inversor de Frequência	23
3.4 Eletrônica	24
3.4.1 Ponte H	24
3.4.2 Circuito Microprocessador	26
4 Construção do Protótipo	29
4.1 Construção Mecânica	29
4.1.1 Estrutura da Máquina	29
4.1.2 Mesa Articulada	30
4.1.3 Sistema de Aplicação de Carga	32
4.1.4 Pinças	32

4.1.5	Montagem Geral	34
4.2	Eletrônica	35
4.2.1	Sistema de Aplicação de carga	35
4.3	Teste da Máquina	38
5	Considerações Finais	39
A	Códigos	41
	Bibliografia	47

Lista de Figuras

1.1	Máquina de Ensaio de Quatro Pontos	4
3.1	Estrutura	9
3.2	Foto Estrutura	10
3.3	Simulação Carga Axial	11
3.4	Simulação Carga Axial	12
3.5	Simulação Carga Distribuida	12
3.6	Simulação Carga Distribuida	13
3.7	Simulação Carga Distribuida	14
3.8	Simulação Carga Distribuida	14
3.9	Cálculo de Força Site SKF	15
3.10	Cálculo de Força Site SKF	16
3.11	Cálculo de Força Site SKF	16
3.12	Sistema de Aplicação de Carga	17
3.13	Sistema de Aplicação de Carga	19
3.14	Forças sobre Copor de Prova	20
3.15	Inversor Ligado ao Motor Trifásico	22
3.16	Anexos Inversor	23
3.17	Circuito Pic e ponte H	25
3.18	Circuito Pic	27
4.1	Estrutura da Mesa em Construção	30
4.2	Processo de Fresamento	31
4.3	Estrutura Parcial	31
4.4	Sistema Mecânico de Aplicação de Carga	32
4.5	Porta Pinça	33
4.6	Montagem Geral	34
4.7	Eletrônica	36
4.8	Programa de Interface	36
4.9	Sensor	37
4.10	Sensor	37

Introdução

1.1 Relevância

A Engenharia Mecatrônica é um curso multidisciplinar que integra várias áreas das Engenharias sendo as principais, Mecânica, Elétrica, Controle e Computação. Tendo em vista que um dos seus objetivos é desenvolver ou melhorar equipamentos através da aplicação desses diversos conhecimentos, torna-se importante aprofundar o estudo nas áreas de Mecânica dos Sólidos e Ciência dos Materiais, conhecendo melhor o comportamento de estruturas e materiais utilizados em componentes de máquinas sujeitos a esforços e cargas.

O desenvolvimento de um protótipo de uma máquina de ensaio de fadiga trará um grande ganho na aprendizagem e no conhecimento pessoal, pois esse trabalho irá integrar três áreas do curso que são de grande importância: Mecânica, Eletrônica e Computação. Essa máquina tem como componentes principais mancais, eixos, acoplamentos e mandris para a parte mecânica, acionados por um motor de indução e por um motor de corrente contínua. Além disso temos sensores, microcontroladores, componentes eletrônicos e computador para a parte Eletrônica e Computacional.

Mais especialmente a forma de controle do motor de indução será feita com um inversor de frequência, MICROMASTER 440 da Siemens, porque é necessário controlar sua velocidade, através de uma rampa de aumento de aceleração e também o seu desligamento automático quando necessário. Outro parâmetro específico para o projeto será a comunicação entre sensores, módulos e computadores. Essa comunicação será feita através de um microprocessador devido ao seu custo e a sua funcionalidade.

Segundo BRANCO (1986) as primeiras motivações para o estudo da fadiga foram fraturas nos eixos de composições ferroviárias, fenômeno identificado por volta de 1850 e estudado por Wohler (1960). Os estudos foram realizados porque os eixos das locomotivas fraturavam após algumas centenas de quilômetros em serviço, embora fossem corretamente dimensionados de acordo com critérios de resistência estática e se encontravam sob carregamento normal. Notou-se que a fratura não apresentava apreciável deformação plástica e os ensaios feitos no material

após a fratura em serviço apresentavam as características de ductilidade iniciais.

Podemos ver que a necessidade de um equipamento que auxilia nos estudos acima surgiu por volta de 1800, sendo que naquela época não existia nenhuma máquina para auxiliar nos estudos.

Sabe-se que, quando um equipamento ou máquina falha estaticamente, geralmente a peça mecânica apresenta uma deflexão muito grande, ou um alongamento, assim ficando evidente que tensão ultrapassou o limite de escoamento do material. Nesse caso fica fácil identificar e fazer o reparo antes que ela frature completamente. Assim muitas falhas estáticas dão um aviso antecipadamente.

Porém quando se tem uma falha por fadiga em estruturas ou em qualquer tipo de equipamentos, sendo que estes podem ser eixos de carro, aviões, pontes sobre ressonância e outros, em mais de 90 % dos casos se descobre que a tensão aplicada estava bem abaixo da tensão última do material e também abaixo do limite de escoamento. Nesse caso ao contrário do anterior o material não sofre nenhum tipo de deformação ou alteração até se romper repentinamente, sendo assim um tipo de falha muito perigosa.

Segundo SHINGLEY and MISCHKE (2005) é relativamente simples projetar prevendo-se uma falha estática, pois o conhecimento é amplo. Já a fadiga é um fenômeno mais complicado, pois ainda é apenas parcialmente entendido, exigindo dos engenheiros o máximo conhecimento possível sobre o assunto.

Assim torna-se interessante projetar uma máquina de ensaio de fadiga rotativa, sendo que este protótipo contará com algumas inovações para melhorar seu funcionamento como: - Um motor DC 578VA que irá fazer a flexão do corpo de prova em vez de carga no eixo, que é o mais comum em máquinas de ensaio de fadiga por flexão rotativa com um custo acessível. - Ajuste da velocidade de rotação do corpo de prova; Transmissão dos dados via computador.

Finalmente, deve-se lembrar que essa máquina pode ser de grande valia para várias empresas de pequeno e médio porte que ainda não possuem este equipamento, ou uma máquina antiga e rudimentar.

Outro motivo relevante para se desenvolver um trabalho como este é que uma máquina de ensaio de fadiga rotativa possibilitará aos alunos da Instituição ter contato com este tipo de processo, pois atualmente não há nenhuma máquina desse tipo nos laboratório do campus.

1.2 Objetivo

O objetivo geral do trabalho é desenvolver um protótipo de uma máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa computadorizada e de baixo custo. Tendo em vista que uma máquina de ensaio de fadiga tem um custo elevado e o Campus Divinópolis do CEFET-MG não possuem esse tipo de equipamento em seus laboratórios, assim será de grande interesse e benefício desenvolver um protótipo deste tipo, tanto para a Instituição quanto para as empresas que ainda não possuem este equipamento devido ao seu elevado preço.

A Máquina contara com alguns dispositivos mecânicos e elétricos que irá oferecer uma estabilidade maior durante o ensaio, assim garantindo uma maior confiabilidade no mesmo. Uma dos grandes problemas destes tipos de ensaio são as vibrações, e com este dispositivo elas deveram ser anuladas.

1.3 Revisão de Literatura

O princípio de funcionamento das máquinas de ensaio de fadiga por flexão rotativa são o mesmo utilizado por Wohler, ou seja, os corpos de provas são devidamente fabricados segundo a literatura e então uma das suas extremidades é fixada e a outra livre, onde se aplica uma carga estática que provoca a deflexão enquanto o copo de prova gira através da parte fixa. Outro método utilizado para este teste é fixar o corpo de prova nas suas extremidades em um suporte articulado e então aplicar cargas iguais e de mesma distância do centro, sendo que esta tem a vantagem de fornecer um momento constante e força cortante nula no corpo de prova.

Um trabalho com relevância que deve ser citado é uma dissertação de mestrado do CEFET-MG RIBEIRO (2004) campus Belo Horizonte, onde foi projetado e construído uma máquina de ensaio de fadiga rotativa onde seu funcionamento é basicamente igual às máquinas convencionais, em que o corpo de prova te suas duas extremidades fixadas e então ele é fletido igualmente por um sistema de carga calibrado e estando submetido apenas por momento fletor. O projeto tem como diferencial o baixo custo. A máquina foi desenvolvida para ensaiar corpos de prova com dimensões e tamanhos fixos, sendo que estes foram feitos segundo a norma ISSO 1143. A parte de acionamento foi feita através de um motor de 0.75 da weg que é controlado por um inversor de frequência da marca Schneider que varia sua frequência de 0 a 100 Hz e o número de ciclo é mostrado em um display. Verifica-se na figura abaixo o sistema de aplicação de carga é igualmente aos convencionais, sistema de quatro pontos onde é utilizada uma artifício mecânico para equilibrar os pesos de forma que a carga fique uniformemente aplicada, conforme pode ser visto na figura 1.1

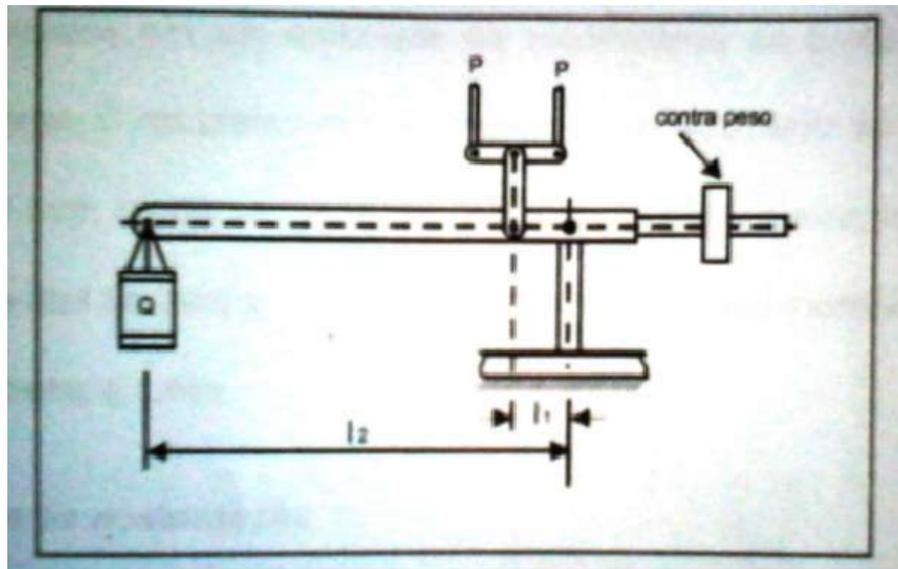


Figura 1.1: Máquina de Ensaio de Quatro Pontos

Integrantes de um Grupo de Fratura Mecânica da Universidade Nacional del Comahue Buenos Aires desenvolveu uma máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa para o laboratório da universidade. Sendo de flexão rotativa de 4 pontos, onde seu corpo de prova tem as duas extremidades presas e sua flexão se da por cargas devidamente equidistantes. Os corpos de provas foram ensaiados com uma rotação de até 2900 rpm.

Pode-se ver que no trabalho citado, o tipo de equipamento é o mais comum que existe e sua mecânica e eletrônica são básicas e sem nenhum tipo de sofisticação. E sabendo a importância do ensaio de fadiga deve-se utilizar conhecimentos técnicos adquiridos ao longo da formação com o fim de melhorá-lo.

Alunos da Universidade Santa Cecilia, Santos, São Paulo construíram uma máquina de flexão rotativa de 4 pontos, onde se tem apenas fotografias. Sendo citada no trabalho que ainda não foi desenvolvido a parte física, ficando apenas no projeto. (CAVALHEIRO et al., 2006).

Na dissertação de mestrado de Souza (2004) APUD Ribeiro (2004) "Projeto e Construção de um Equipamento para Ensaios de Flexão Rotativa" diz: "No entanto, em termos de funcionamento de máquinas de ensaio de fadiga por flexão rotativa, algumas poucas páginas são encontradas na literatura. Em termos de projeto, muito pouco ou quase nada é mostrado. [...]"No entanto, o funcionamento e os direcionamentos fundamentais para os projetos de máquinas de ensaio de fadiga não são tratados de formas alguma.

Pode-se perceber com a citação acima que não se encontra muito a respeito do projeto da máquina e muito menos sobre seu funcionamento, porém como o processo de fadiga começou ser estudado à muito tempo, pode-se encontrar na literatura muitas informações sobre o conceito de fadiga.

Um trabalho desenvolvido na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo automatiza uma máquina de ensaio de fadiga de contato. Para isto foi medido através de um acelerômetro a vibração de rolamento axial para avaliar a condição de desgaste na superfície do corpo de prova. Para esta automatização foi utilizado um programa de monitoramento em tempo real dos seguintes aspectos como: apresentação do status do motor e do aquecimento do sistema de refrigeração; data e horário, que serve de base também para geração do arquivo de informações de ensaio; apresentação das informações de nível de vibração, temperatura do lubrificante, frequência real amostrada; deixa em aberto a possibilidade de encerramento por quantidade de ciclos efetuados; apresentação dos limites para cada variável acima (setpoints) e possibilidade de alteração no próprio ensaio, em tempo real. (NEVES, 2008)

Outro trabalho porém não menos importante que será citado entre outros muitos sobre a fadiga, foi um desenvolvido em um trabalho de conclusão de curso da PUC RIO, onde foi feita uma máquina que ensaiava fadiga rotativa. O trabalho em questão tem um foco um pouco diferente do se pretende a fazer, e pelo que pode ser visto o projeto tem como implementações futuras um dos pontos mais importantes que são: saber qual a força que será aplicada no corpo de prova, ter o controle de velocidade do eixo de rotação e também saber qual o número de giros que o corpo de prova efetuou. (BRANDÃO, 2013)

Máquinas de ensaios de fadiga para situações bem específicas também são encontradas na literatura, como por exemplo MORAIS Jr (2008) que faz uma análise da interação entre a cadeira de rodas e a máquina de ensaio, do ponto de vista dinâmico, usando dados experimentais e modelagens de elementos finitos. Outro estudo bem específico e feito por PENTEADO (2009) que desenvolve uma máquina de ensaio de fadiga por impacto como sistema de fixação para uma válvula de compressores. Nestes casos temos máquinas sofisticadas para aplicações bem específicas.

Nogueira (2010) projetou e construiu uma máquina de ensaio de flexão rotativa de alto ciclo onde o controle da máquina é feito através de um arduino.

Conceitos de Fadiga

2.1 Introdução

Designa-se por fadiga o fenômeno da ruptura progressiva de materiais sujeitos a ciclos repetidos de tensão ou deformação. O estudo desse fenômeno é de importância crucial na concepção de máquinas, estruturas e outros diversos tipos de equipamentos, visto que a grande maioria das rupturas observadas em serviço envolve fadiga C.Moura Branco(1986).

No decorrer dos estudos sobre fadiga sabe-se que o processo se divide em dois aspectos distintos, o primeiro é conhecido como "fadiga de baixo ciclo", que ocorre com altas cargas e baixos ciclos onde acontece significativamente a deformação plástica. O segundo aspecto ocorre com cargas baixas e longos ciclos (vida longa), no qual é denominado "fadiga de alto ciclo". É definido baixo ciclos quando se tem uma sobrevida entre 10 até 1000 ciclos, e altos ciclos quando passam de 1000.

O trabalho irá abordar a construção de uma máquina de ensaio de fadiga de alto ciclo, pois considerando que a fadiga de alto ciclo é a que traz grandes prejuízos materiais e pessoais, sendo que na maioria das vezes quando acontece desastres por falhas, quase 90 % é por fadiga. Considerando a importância dos equipamentos que estão submetidos a este tipo de carregamento e dos tipos de prejuízos que pode acarretar tanto material como pessoal, pois este fenômeno acontece sem dar aviso algum.

2.2 Etapas do processo da fadiga

Um componente estrutural trabalhando com um esforço cíclico está sujeito a desenvolver trincas ou fissuras em seu corpo. Quando isto acontece, é de forma quase imperceptível e lenta, pois na maioria das vezes não apresenta nenhum tipo de deformação. Com isso elas aumentam gradativamente até o corpo se romper subitamente.

O mecanismo da fadiga ocorre basicamente em três etapas sucessivas nas quais são: nucleação ou iniciação da fissura de fadiga, propagação dessa fissura e rotura final. A primeira etapa ocorre quando a máquina, estrutura ou equipamento que está sujeito a repetições cíclicas sofre algum arranhão ou micro lesão ou o material em que este foi fabricado já apresentava alguma pequena fissura.

Então esta começa com crescimento a 45° relativamente à direção da solicitação de tensão máxima de cisalhamento atravessando dois ou três grãos. Após alguns ciclos a trinca se propaga através de alguns grãos, então começa neste instante a se deslocar perpendicularmente a solicitação externa.

A terceira etapa é a rotura final que ocorre muito rapidamente, uma vez que a trinca que esta avançando tenha um tamanho crítico.

Na fadiga de alto ciclo a tensão máxima em carga cíclica que eventualmente causa falha de fadiga está abaixo do limite elástico do material, não exibindo deformação plástica de larga escala. Entretanto, em uma superfície livre, deformações plásticas podem-se acumular como resultado de movimentos de discordâncias. Sendo discordância defeitos lineares ou unidimensionais em torno das quais alguns dos átomos estão desalinhados. O processo pelo qual a deformação plástica é produzida mediante o movimento de uma discordância é chamado de deslizamento. CALLISTER JR. (2010)

Projeto da Máquina de Ensaio de Fadiga

3.1 Princípio Básico

Procura-se garantir que o equipamento a ser desenvolvido atenda aos requisitos propostos, sendo o principal o baixo custo e sua aplicação de carga de forma computadorizada, ou seja, sem necessidade de colocar pesos calibrados como força para fletir os corpos de prova.

A mecânica foi desenvolvida de forma a atender o principal requisito do ensaio, que é fornecer tensão cíclicas constantes durante todo o processo de ensaio até atingir a ruptura do corpo de prova. O tipo de máquina a ser projetada fará com que o corpo de prova tenha uma flexão constante, assim pode-se ver na figura 3.1 que o momento fletor é igual nas duas partes do corpo de prova, e a força de cisalhamento nula.

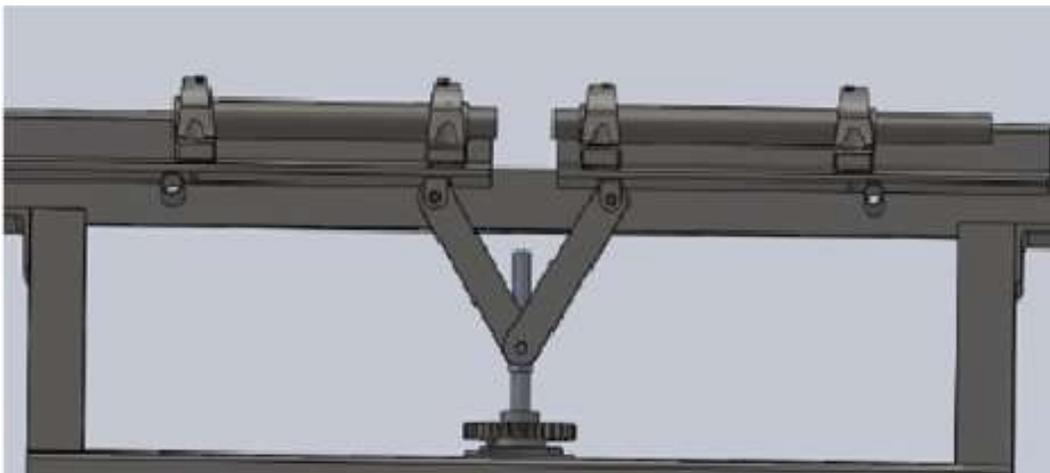


Figura 3.1: Estrutura

3.2 Desenvolvimento da Mecânica

3.2.1 Distância entre os mandris

As dimensões do corpo de prova podem variar de acordo com a norma ISSO 1143 (METALS - Rotation bar bending fatigue testing), sendo que seu diâmetro pode ter entre 5 mm a 12,5 mm, sendo recomendado valores de 6mm, 7,5mm e 9,5 mm. É necessário também que o raio de concordância r entre D e d seja maior ou igual a cinco vezes o tamanho do diâmetro menor, ou seja $r < 5d$.

Para todas essas exigências da norma, e também para efeitos de poder ensaiar corpos de prova de tamanhos diferentes, o desenvolvimento do projeto foi feito com o objetivo de poder controlar a distância entre as pinça que irá prender o corpo de prova, como pode-se ver na figura 3.2.

Os portas-pinça poderão se deslocar no trilho na distância que foi necessária, pois a mesa de deslizamento serão presas com parafuso borboleta.

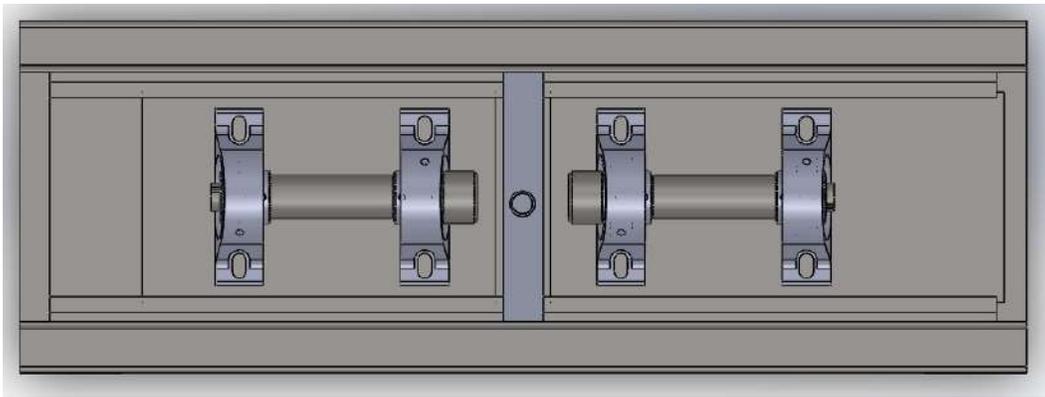


Figura 3.2: Foto Estrutura

3.2.2 A estrutura da Máquina

Como um dos objetivos é a redução de custo do projeto, a parte da estrutura, ou seja o corpo da máquina será feito de cantoneiras de aço 1020. A escolha por cantoneiras foi devido a sua alta resistência que acontece por ter formato em L, e por ser um material que dificilmente sairá do esquadro. Na parte inferior da mesa, o motor JC578VA será preso em uma chapa de aço 1020 de 5 mm de espessura com cantoneiras em volta para reforçá-la, que será soldada nos pés da mesa.

Pode-se ver nas figuras 3.3 e 3.4, que a estrutura da máquina foi submetida a um teste de força utilizando o software SolidWorks Simulation, sendo que este programa utiliza elementos

finitos para esta simulação. Com isto percebe-se ver claramente nas figuras que as cantoneiras suportaram muito bem a uma carga de 1000N. Quando esta carga foi aplicada de forma axial, nota-se nas legendas que a tensão por VonMises ficou mais de cem vezes abaixo da tensão de escoamento do aço 1020, assim esta claro que a estrutura está trabalhando com um coeficiente de segurança grande. Outro teste de tensão feito foi com carga distribuída normal ao corpo com a mesma carga aplicada, e como se pode ver na figura 3.5 simulação a tensão por VonMises ficou mais de oito vezes abaixo da tensão de escoamento, conseqüentemente o dimensionamento ficou correto.

A intenção em deixar a estrutura superdimensionada é clara, pois esta será uma máquina que poderá ensair corpos de provas de polímeros, alumínios, aços e outros metais.

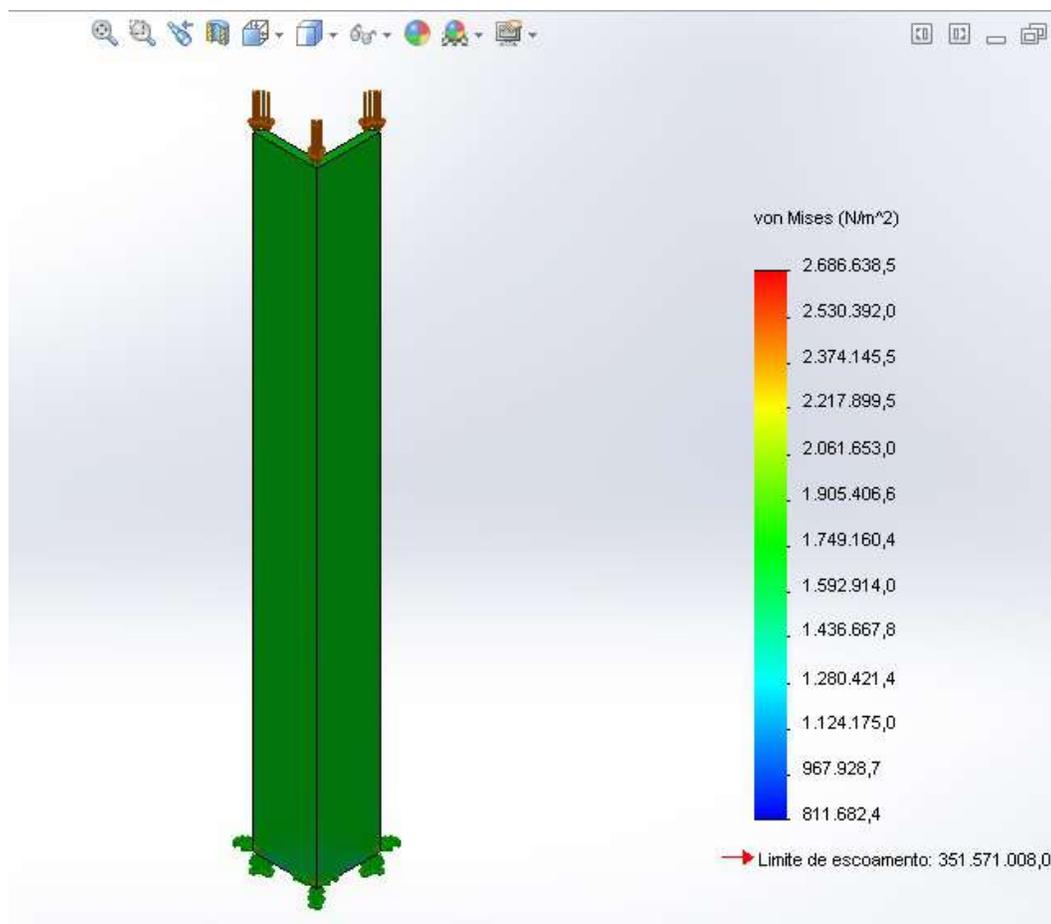


Figura 3.3: Simulação Carga Axial

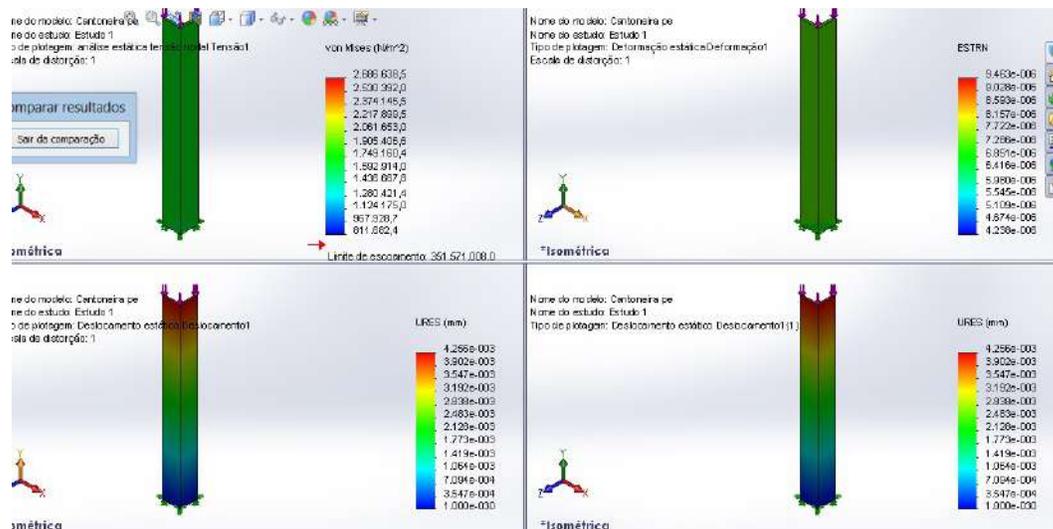


Figura 3.4: Simulação Carga Axial

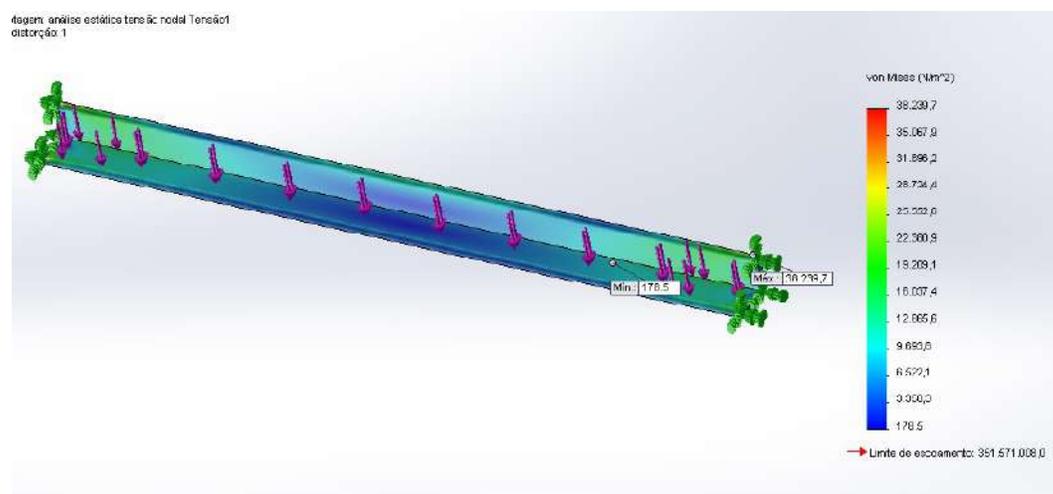


Figura 3.5: Simulação Carga Distribuida

Para fixar o corpo de prova na máquina, será utilizado um porta pinça do modelo spindle haste reta, pois assim tem-se a possibilidade de ensaiar corpos de prova de diferentes diâmetros, bastando apenas trocar a pinça. Com isso foi dimensionado os portas pinças onde serão fixados as pinças para suportar uma força superior a 1KN. Os eixos utilizados terão uma espessura de 16 mm. Nas figuras abaixo pode-se confirmar o esperado com as simulação de aplicação de 1KN nas extremidades do porta pinça.

Com o porta pinça dimensionado e simulado, o diâmetro onde irá acoplar os mancais são rebaixados de 25 mm, sendo que os diâmetros não rebaixado é de 28mm.

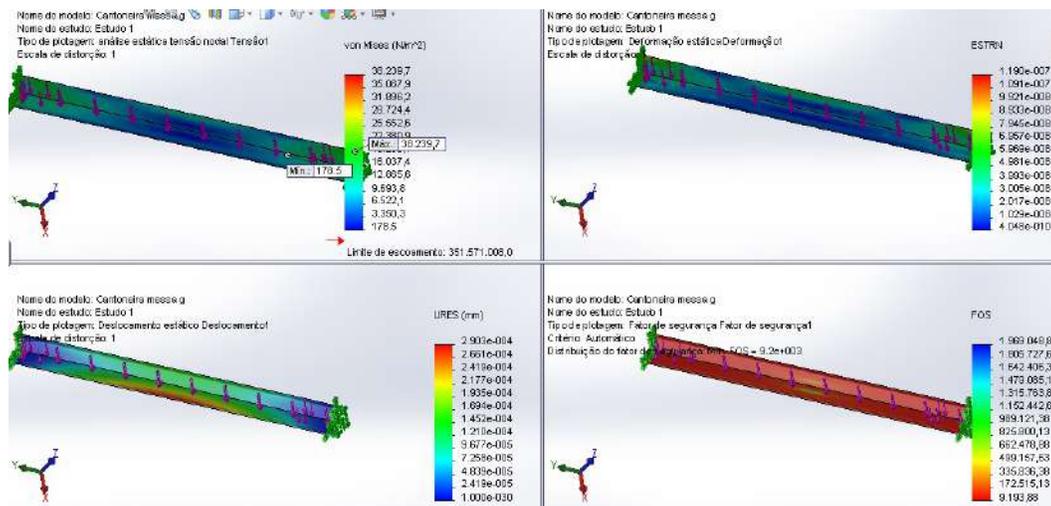


Figura 3.6: Simulação Carga Distribuida

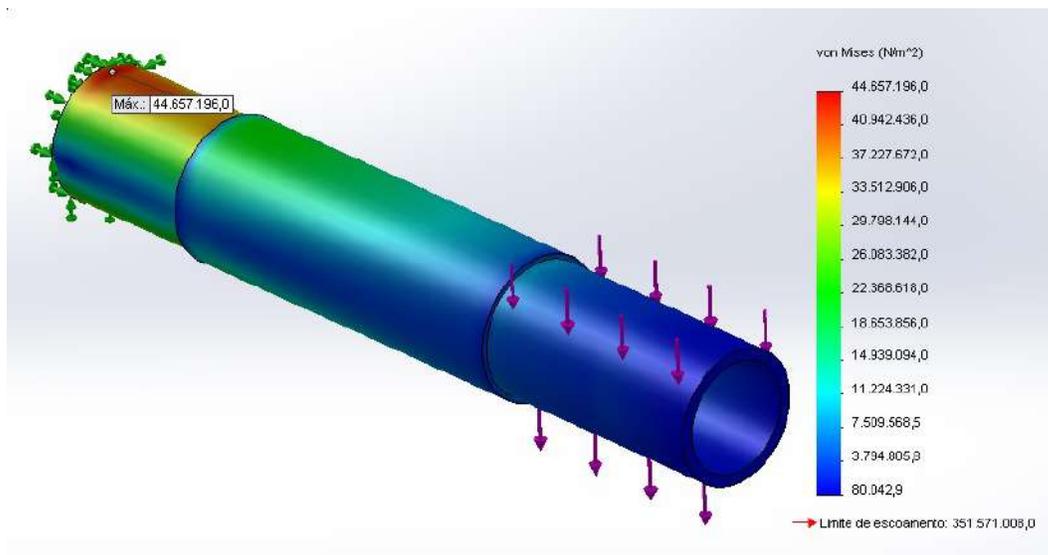


Figura 3.7: Simulação Carga Distribuida

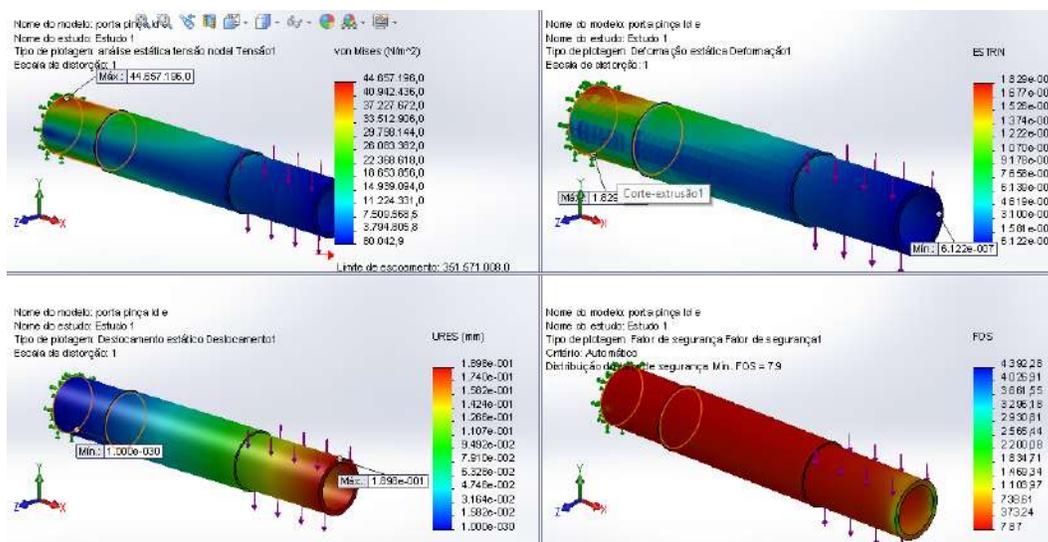
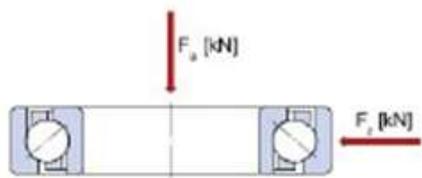


Figura 3.8: Simulação Carga Distribuida

[4]

Os rolamentos escolhidos foram de contato angular, por terem uma maior resistência em receber cargas axiais, modelo 7205 BEGAY da SKF. No web site do fabricante citado tem-se uma página que auxilia no cálculo do rolamento. Os principais parâmetros que são pedidos no site para o cálculo foram carga aplicada e lubrificação, sendo que a carga foi colocada bem acima que será realmente utilizada e a lubrificação bem abaixo, para que se tenha uma margem de segurança alta. Toda a estrutura da máquina foi projetada para ter uma resistência bem superior a estática, pois ao ensaiar fadiga ela terá solicitações cíclicas também, e deve-se garantir que sua durabilidade seja alta, tendo suas peças resistência infinita a fadiga. Os resultados obtidos pode se observar nas figuras 3.10 e 3.11 indicando que ele terá um número de ciclo considerado infinito. Ainda foi utilizado o software de simulação para confirmar os resultados que estão na figura 3.12.

Selected calculations



Note: The drawing displayed is only for general representation, may not be the same as selected product variant.

Bearing life

F_r Radial load: kN

F_a Axial load on bearing: kN

n_i Rotational speed of inner ring: r/min

Bearing operating temperature: °C

Lubricant type and cleanliness: v

Viscosity calculation input type: v

Viscosity at 40 °C: mm²/s

Viscosity at 100 °C: mm²/s

Unit system

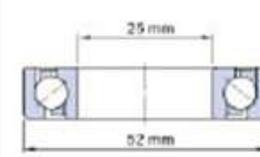
Select unit system

SI Imperial

Selected calculations

Bearing life

Product data



Designation 7205 BEGAY

d 25 mm

D 52 mm

B 15 mm

C 15.6 kN

C₀ 10.2 kN

Type Angular contact ball bearings

[View product details](#)

Note: The drawing displayed is only for general representation, may not be the same as selected product variant.

Figura 3.9: Cálculo de Força Site SKF

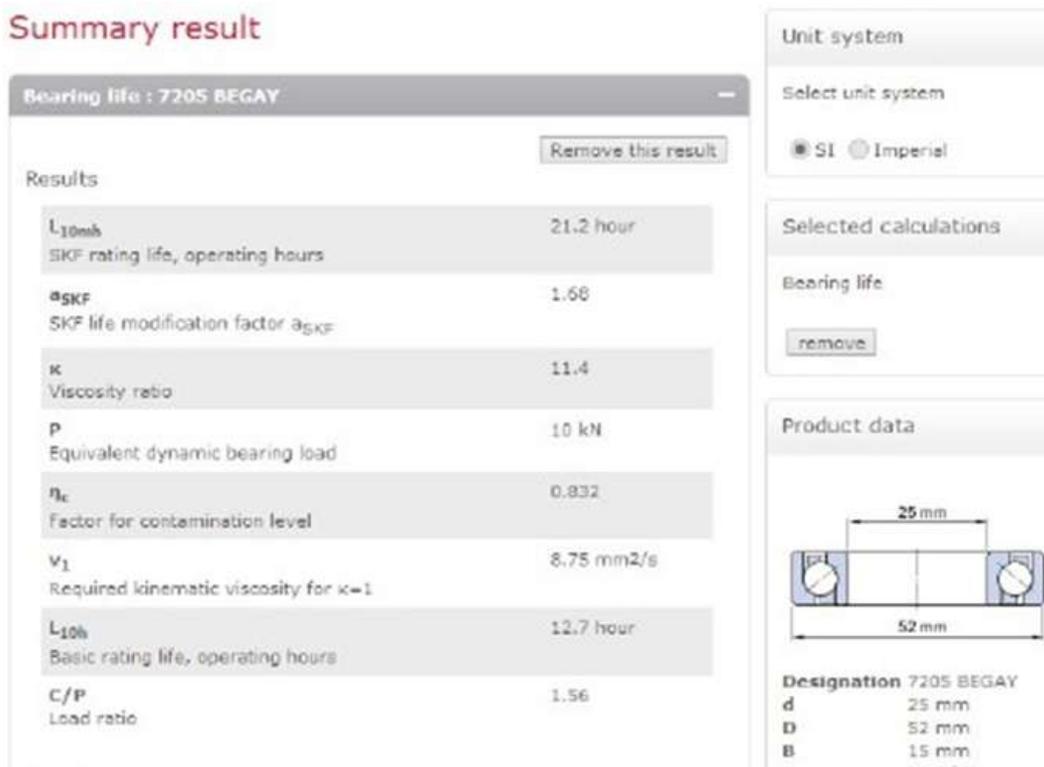


Figura 3.10: Cálculo de Força Site SKF

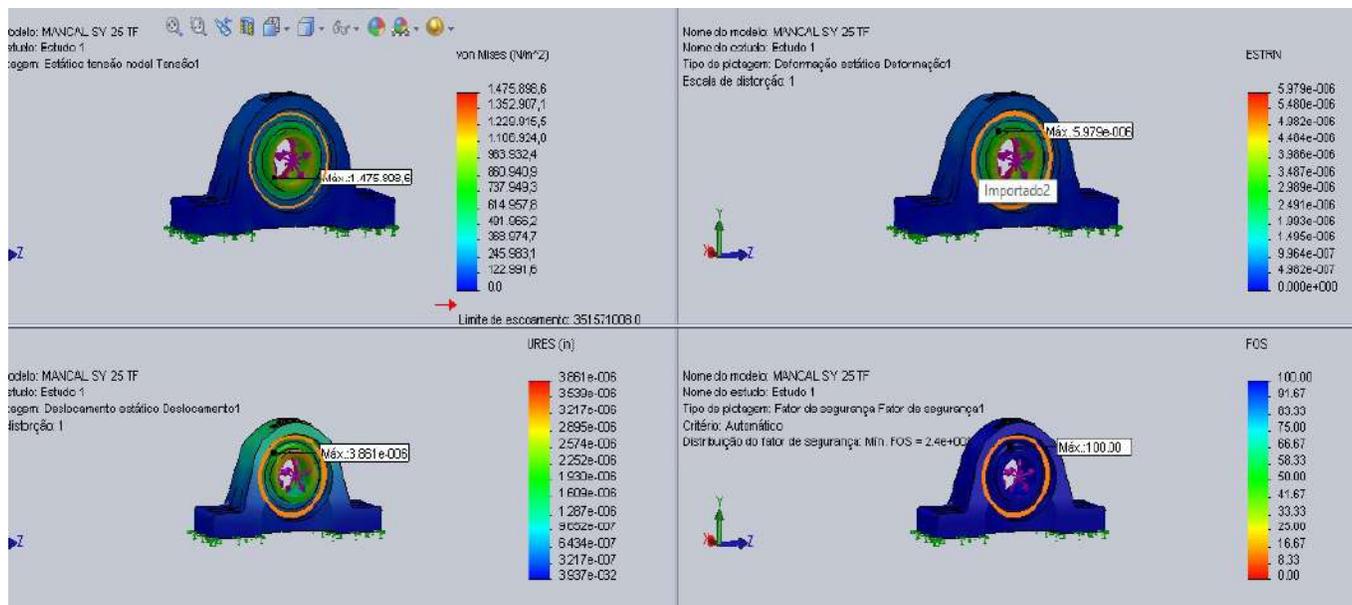


Figura 3.11: Cálculo de Força Site SKF

3.2.3 Sistema de aplicação de Força

O sistema de aplicação de carga nos corpos de prova foi projetado de forma a eliminar os pesos calibrados como são nas máquinas de ensaio de flexão rotativa citadas, pois para estes tipos de máquina é necessário carga para fazer a flexão sendo que isto um grande problema quando é necessário forças não inteiras.

Assim para melhorar esta parte, foi desenvolvida um mecanismo como pode-se observar na figura 3.2, no qual são compostas por duas hastes de tamanho igual em cada suporte e separadas por um tubo de aço. Estes são presos nas mesas articuladas com o mesmo espaçamento para garantir que o momento seja igualmente distribuído. A outra extremidade das hastes será presa em um tubo rosqueado (porca) na qual irá ser rosqueada dentro do fuso, quando o fuso girar, irá subir ou descer a mesa articulada. Uma engrenagem será colocada neste tubo para que se obtenha uma redução, onde será acoplado um motor DC do modelo JC/LC-578VA.

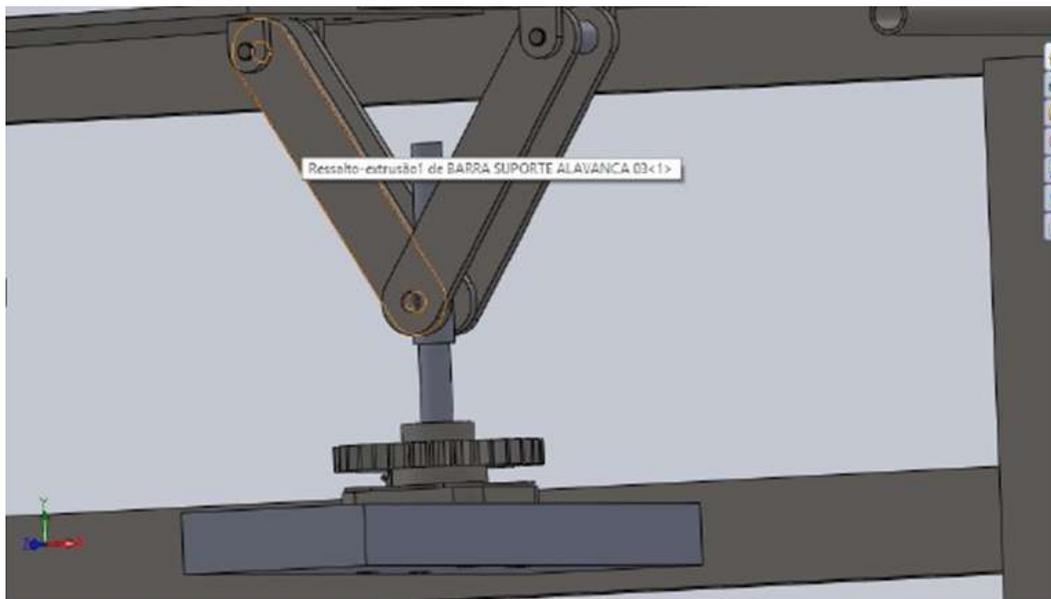


Figura 3.12: Sistema de Aplicação de Carga

Cálculo da Redução

$$it = \frac{n_{motor}}{n_{maquina}} \quad (3.1)$$

$$it = \frac{92Rpm}{23Rpm} \quad (3.2)$$

$$it = 4 : 1 \quad (3.3)$$

$$it = 10 : 1 \quad (3.4)$$

Então pela literatura utiliza-se apenas um par de engrenagens para a redução para

$$it < 23 : 1 \quad (3.5)$$

Assim pode-se o calcular do numero de dentes

$$it = \frac{Z_c}{Z_p} \quad (3.6)$$

$$4 = \frac{Z_c}{8} \quad (3.7)$$

$$Z_c = 32dentes \quad (3.8)$$

3.2.4 Montagem Geral

Após a definição de toda a mecânica foi feita a montagem geral, na qual é construída o equipamento todo montado, com o motor elétrico trifásico que irá girar o corpo de prova na velocidade desejada, o motor secundário de corrente contínua que irá efetuar a flexão desejada. As pinças estão montadas nos mancais, nos quais estão presos em um suporte que foi feito para adequar a altura da pinça com o eixo do motor. Nota-se que as mesas articuladas foram planejadas de modo que suas articulações ficassem igualmente espaçadas para garantir o momento fletor constante e a força cortante nulo. O sistema de aplicação de carga também está planejado. Pode-se notar na figura abaixo que o projeto mecânico está completo, onde irá faltar as partes de elétrica e eletrônica.

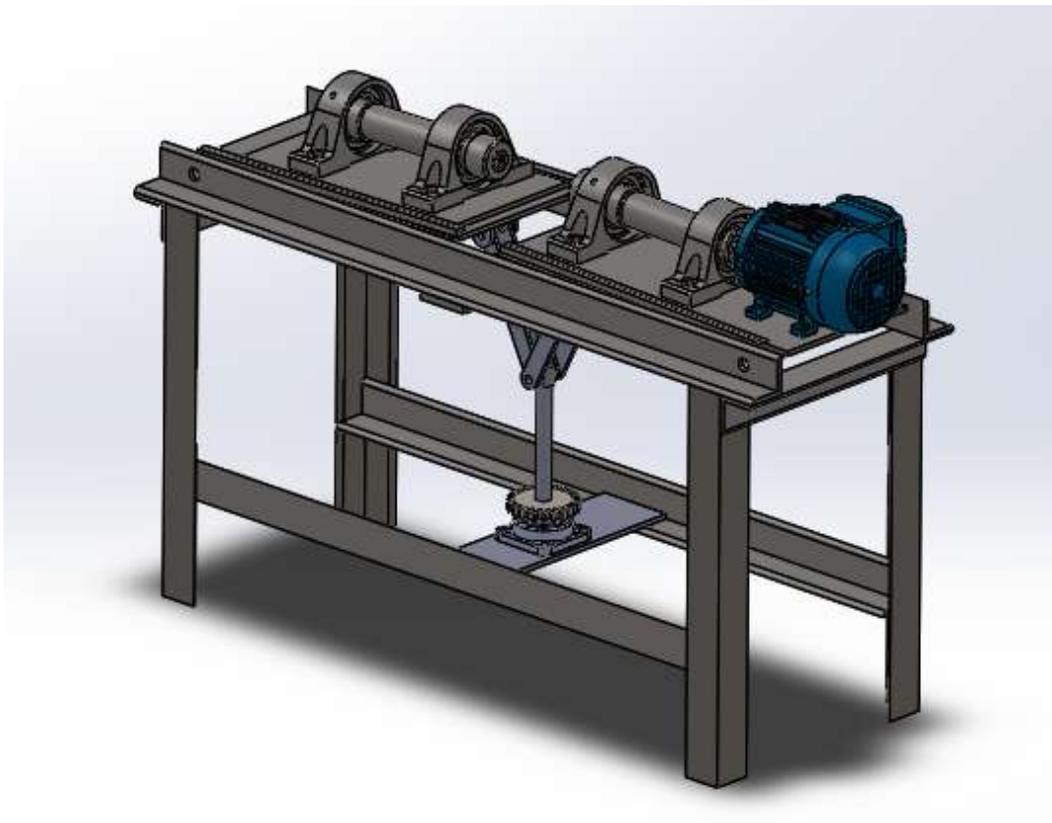


Figura 3.13: Sistema de Aplicação de Carga

3.3 Elétrica

3.3.1 Dimencionamento da potência do motor

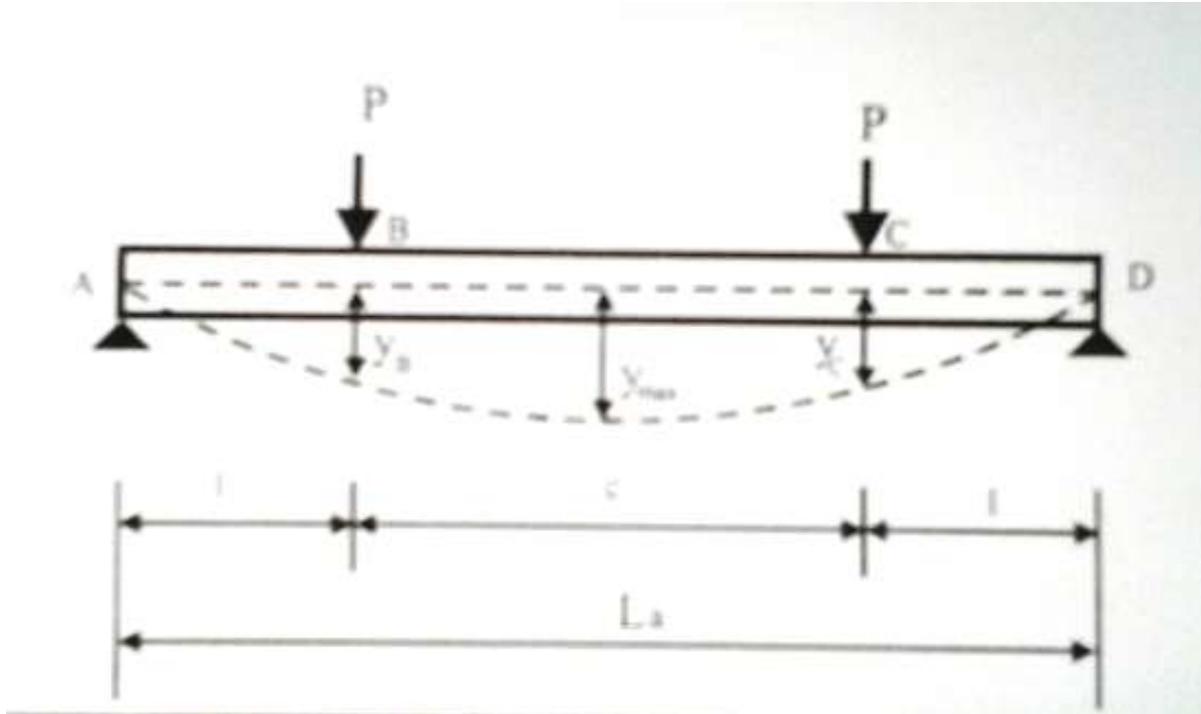


Figura 3.14: Forças sobre Copor de Prova

$$y_b = \frac{P.l}{6.E.J} \cdot x^2 + 3l^2 - 3lL_a \quad (3.9)$$

Os parâmetros são:

$$P = 720N \quad (3.10)$$

$$c = 175mm \quad (3.11)$$

$$l = 78mm \quad (3.12)$$

$$L_a = 330mm \quad (3.13)$$

$$E = 206010Mpa \quad (3.14)$$

$$D = 14mm \quad (3.15)$$

$$J = \frac{\pi.D^4}{64} \quad (3.16)$$

$$J = \frac{\pi.14^4}{64} = 1884mm^4 \quad (3.17)$$

$$yb = \frac{72.78}{6.21000.1886}(4.78^2 - 3.78.330) = -1,249 = 1,25mm \quad (3.18)$$

Por Simetria é facil ver que:

$$yc = yb = -1,25mm \quad (3.19)$$

O trabalho de uma força P deslocando de y é:

$$T = \frac{P.y}{2} \quad (3.20)$$

Para as duas forças em um ciclo:

$$T = 2Py \quad (3.21)$$

$$T = 2.72.1,25 \quad (3.22)$$

$$T = 180mm.kgf \quad (3.23)$$

Sabendo que o corpo de prova ira girar no maximo 4000 rpm, a potência é:

$$T = \frac{180.4000}{1000.60.75} = 0.16cv \quad (3.24)$$

Para garantir o melhor ensaio, e poder ensair corpos de prova de outros tamanho escolheu-se utilizar um motor de 2 polos de 0.5cv, que chega a uma velocidade de ate 3400RPM

3.3.2 Acionamento do Eixo da Máquina

Para o acionamento do eixo da máquina foi escolhido um motor de trifásico de 0.5cv pelo fato de oferecer alto torque em altas velocidade, o que seria difícil de conseguir com um motor dc. Outro fato que fortaleceu a escolha deste, é devido a sua alta durabilidade em comparação com os motores de corrente contínua, baixo custo com manutenção, alto torque mesmo sem redução de engrenagens e outras vantagens.

A parte de instalação elétrica do motor e inversor para fins de teste, foi utilizado apenas um disjutor e um contator como proteção. Como o acionamento do motor foi feito em 220 volts, a sua ligação ficou em Y saindo para o inversor de frequência 3 fases.

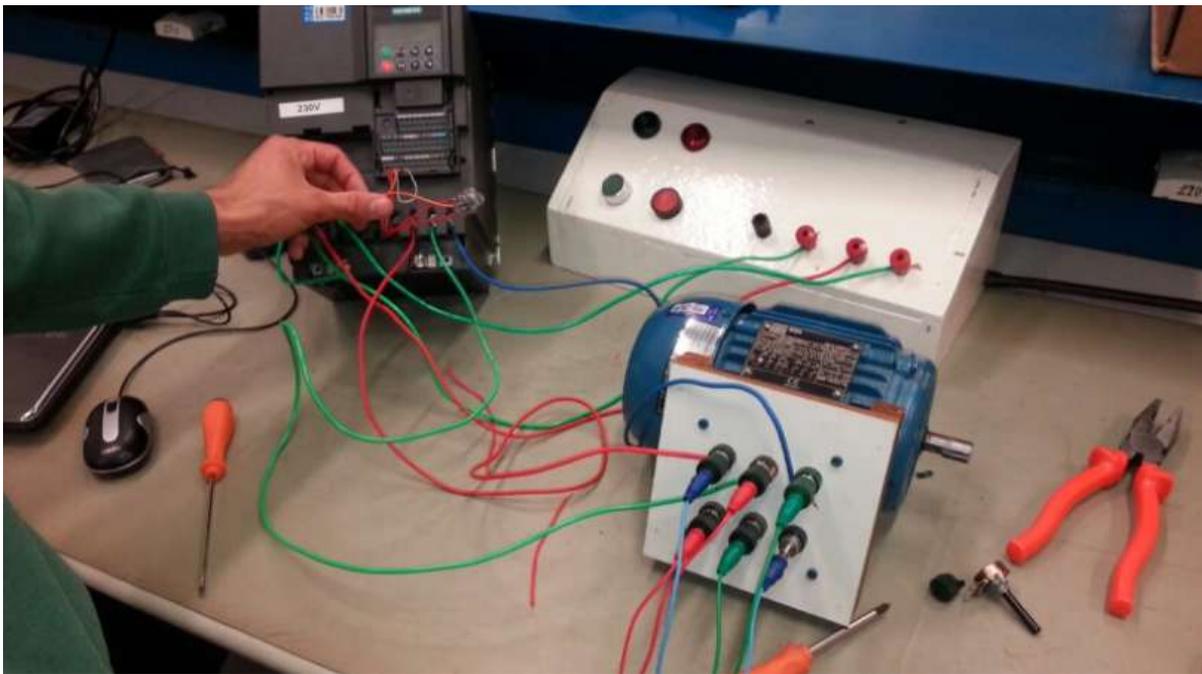


Figura 3.15: Inversor Ligado ao Motor Trifásico

3.3.3 Programação do Inversor de Frequência

A alteração da velocidade será feita através do inversor de frequência Micromaster 440 da Siemens, este por ser industrial possui uma infinidade de parâmetros de entrada, que são entorno de 4000. Estes são utilizados para fazer a programação do inversor para diversos motores trifásicos, esta pode ser feita através da sua tela BOP ou pelo kit de conexão via computador utilizando um cabo que é conectado ao inversor.

Então para os fins de teste a programação foi feita através da tela BOP, fotos na figura 3.14 mostra a tela com BOB que pode ser anexada ao inversor de frequência. Já a figura 3.15 mostra o kit que também pode ser anexado ao inversor para e conectado o computador via cabo para fazer a parametrização ou o acionamento.



Figura 3.16: Anexos Inversor

A fim de aprender na prática o funcionamento do inversor de frequência foram feitos alguns testes utilizando dois motores, um da Weg de quatro polos e outro da Simes. O primeiro teste foi utilizando o motor da Weg no qual sua ligação elétrica foi em delta e utilizado contadores e disjuntores para acionamento e proteção. Foi utilizada a tela com teclado BOP para sua programação e também para variar a velocidade de motor.

3.4 Eletrônica

3.4.1 Ponte H

A eletrônica do trabalho será feita de forma a aperfeiçoar o sistema de aplicação de carga da máquina, sendo que a posição do motor será proporcional a força aplicada em no corpo de prova. Para tal sistema será utilizado um motor DC do modelo JC/LC-578VA para girar a engrenagem que foi soldada no eixo sem fim no qual irá deslocar a mesa para cima ou para baixo conforme a necessidade do operador.

Para fazer o acionamento do motor irá utilizar um microprocessador da família PIC16877A, no qual receberá um sinal de um encoder que será fixado no eixo sem fim informando se está posição é a desejada ou não. Para acionar motor nos dois sentido desejado será projetada um circuito de acionamento, chamado de ponte H, este tem este nome devido a forma que o circuito assume quando montado.

A ponte H que será utilizada é composta por dois mosfet de potência IRF9540 e dois IRF540, sendo os dois primeiros PMOS e os dois segundos NMOS. Sabendo que os mosfets trabalham em três regiões sendo, corte, saturação e triodo, para a finalidade de desejada é necessario os mosfets trabalharem como chave, ou seja, hora como triodo e hora como corte.

O funcionamento do circuito da figura 3.16 acontece da seguinte maneira, quando o microprocessador envia 5v na entrada FOR do foto acoplador, este polariza o transistor interno (TBJ), e então conecta o gate dos mosfets Q2 e Q3 ao terra, então o mosfet Q2 entra em corte pois a tensão $V_{gs} < V_t$, sendo uma condição contraria para induzir o canal do mosfet. O mosfet Q2 esta operando na região de triodo pois a condição é que $V_{gs} < V_t$ e $V_{ds} > V_{gs} - V_t$, sendo a que a tensão do dreno $V_d = 12v$ e a tensão no gate $V_g = 12 - ix10K$, sendo assim satisfazendo a condição para operar na região de triodo. O mosfet Q1 esta ativo pois também tem-se duas condições que fazem o mosfet operar, sendo a primeira $V_{gs} > V_t$, e a segunda $V_{ds} < V_{gs} - V_t$.

O mesmo irá acontecer quando o microprocessador enviar 5V na entrada REV porém irá polarizar os mosfet's Q3 e "Q2, então o motor irá girar para o sentido anti-horário.

3.4.2 Circuito Microprocessador

O microprocessador irá basicamente efetuar três funções, sendo que quando enviado um sinal através de uma interface, letra a minúscula, ele girará o motor no sentido horário e então o encoder começa a contar quantos giros o eixo deu, e então o operador ira para após a quantidade de giros necessário para a carga desejada. A outra função será contar o numeros de voltas que o copro de prova efetual até a quebra.

Abaixo está uma parte do código principal que faz a leitura na porta serial RS232, e toma algumas decisões como retorna os parâmentos ou aciona o motor no sentido horário, dependendo do bit recebido.

```
#include <16F877A.h>
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay(clock=4000000)

int byte_recebido, byte_anterior; // buffer para comunicação rs232

#include "meus_parametros.c"
#include "minhas_funcoes.c"

void main() {
configuracao_inicial();

while(TRUE){
    byte_anterior=byte_recebido;
    byte_recebido = leitura232();
    switch (byte_recebido){
        case 0x61: retorna_parametros();
            break;
        case 0x41: aciona_motor(HORARIO);
            break;
        default: //retorna_parametros();
            break;
    }
}
}
```

A figura abaixo apresenta o circuito do microprocessador junto com a ponte H explicada anteriormente.

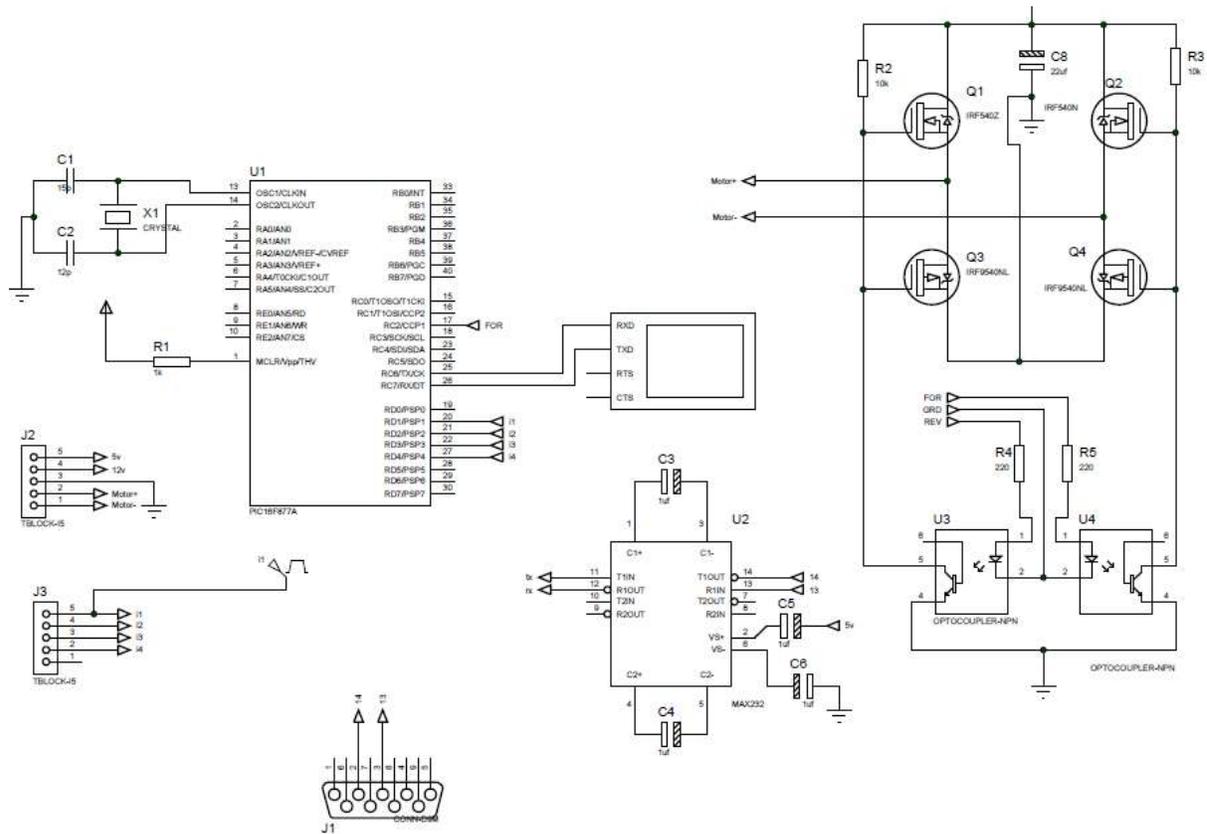


Figura 3.18: Circuito Pic

Construção do Protótipo

4.1 Construção Mecânica

4.1.1 Estrutura da Máquina

Após a finalização de todo o projeto começou a execução da parte mecânica na qual a maior parte foi feita no galpão de mecânica do CEFET-MG Campus Divinópolis. Então a primeira parte foi a compra do material utilizado na parte mecânica com, rolamentos, mancais, tubos de náilon, parafusos, chapas de aço 1020, cantoneiras de aço 1020 entre outros. A estrutura de sustentação foi construída utilizando solda por eletrodo revestido, sendo que era a mais acessível no momento da construção. Para garantir a perpendicularidade e a medida exata das cantoneiras foram utilizados alguns artifício na hora da soldagem, como, gabaritos para garantir o tamanho certo, utilizando morsa, alicate de pressão, paquímetro, graminho, esquadro, trena e outros.

Pode-se ver a mesa em fase de fabricação na figura 4.1.



Figura 4.1: Estrutura da Mesa em Construção

4.1.2 Mesa Articulada

As mesas articuladas foram usinadas com o intuito de garantir que a chapa ficasse retificada, ou seja, sem nenhuma irregularidade, pois elas receberam outras duas chapas onde irão deslizar-se sobre ela, com a finalidade de alterar o tamanho do corpo de prova. As usinagens das peças foram feitas utilizando a fresadora do laboratório de mecânica, e a melhor ferramenta disponível para executar o serviço desejado foi a fresa planar como pode-se notar na figura 4.2

Após a usinagem das chapas das mesas, deu-se início a usinagem dos perfis que irão segurar as chapas nas quais os mancais e o motor trifásico irão presos, ou seja, as chapas que irão deslizar sobre a mesa. Esse perfil foi usinado com uma profundidade de 64mm, pois as chapas de aço tem uma espessura de 1/4 de polegada. Para garantir o acoplamento perfeito destes foram desbastado uma profundidade de 65mm onde eles serão encaixados.

Com a mesa retificada como desejado e os perfis soldados nos devidos lugares foi feita a parte da fixação dos tubos onde a mesa irá articular, estes foram alinhados também utilizando gabarito, pois era necessário garantir o mesmo, se isso não ocorresse provavelmente à chapa da mesa tocaria nas extremidades das cantoneiras.

Assim com a mesa articulada pronta passou para a última etapa que foi a montagem da mesma na estrutura de cantoneiras, para isso teve-se que garantir a distância entre o centro do eixo sem fim e da ponta dos portas pinça fossem a mesma, e então foi feito dois furos passantes em cada canto das cantoneiras, sendo eles de 16mm. Pode-se ver na figura 4.3 a estrutura das cantoneiras com as mesas articuladas.



Figura 4.2: Processo de Fresamento



Figura 4.3: Estrutura Parcial

4.1.3 Sistema de Aplicação de Carga

O sistema de aplicação de carga foi desenvolvido de forma a garantir um momento fletor constante e sem a necessidade de colocar pesos calibrados para fazer a flexão do corpo de prova. A parte mecânica foi projetada para permitir que a mesa se movimente somente quando desejado, ou seja, quando o motor DC for acionado. O sistema é composto basicamente por quatro hastes de mesmo comprimento e com as pontas arredondadas, duas extremidades foram presa no lado direito da mesa e duas do lado esquerdo e as outras quatro, na porca onde foi anexada ao eixo sem fim. Observando a figura 4.4 pode-se entender melhor o seu funcionamento.



Figura 4.4: Sistema Mecânico de Aplicação de Carga

4.1.4 Pinças

Os porta pinças e as pinças onde os corpos de prova serão acoplados são do modelo ER-16 haste reta, a preferência em optar pela compra das pinças foi pelo fato de a fabricação das mesmas não ficarem centrada e retificada como o planejado, então foi a única forma viável para se ter um material de alta qualidade e durabilidade.

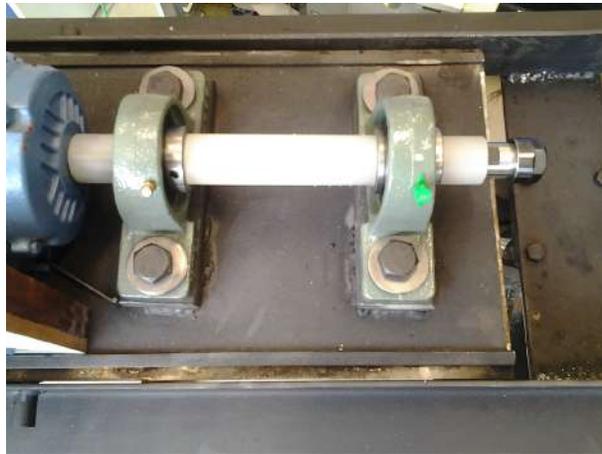
Foi usinado um tubo de náilon no qual seu diâmetro externo ficou de 30mm onde os mancais foram acoplados, ou seja, nas duas extremidades, já no meio de ambos ficou de 32mm. Após a usinagem foi feito um furo de 5/8 de 12 cm de comprimento, sabendo que o porta pinça possui

16 mm de diâmetro e 12 mm de comprimento, o seu acoplamento foi por interferência ficando impossível a retirada após o encaixe.

Para acoplar o porta pinça ao motor trifásico foi feito outro furo atrás do tubo de náilon com o mesmo diâmetro do eixo do motor, e logo depois uma chaveta para evitar o desacoplamento entre ambos.



(a) Porta Pinça



(b) Porta Pinça Montado

Figura 4.5: Porta Pinça

4.1.5 Montagem Geral

Após a finalização de todas as etapas passou-se para a montagem geral na qual foi a integração de todas as partes anteriores, considerando que a fixação do motor dc foi feito através da usinagem de um suporte para garantir a altura perfeita entre as engrenagens do motor e a do eixo sem fim. Outro suporte também fabricado através da usinagem foi o dos mancais, pois estes tiveram que manter o alinhamento entre o centro do porta pinça e do motor trifásico.



Figura 4.6: Montagem Geral

4.2 Eletrônica

4.2.1 Sistema de Aplicação de carga

A eletrônica foi utilizada junto com a programação do microprocessador PIC16f877a para fazer o acionamento do motor que no qual deslocará a mesa para variar a força sobre o corpo de prova, como explicado todo o funcionamento do sistema na fase de projeto é interessante apenas apresentar os testes feitos no sistema e os resultados obtidos.

Depois da simulação deu-se início à confecção da placa eletrônica onde ficara o Pic e o restante do circuito, após todo o processo montagem passou para a fase de teste na qual não se obteve um bom resultado, pois não foi eficaz a tentativa de acionar o motor, então uma boa escolha foi montar toda a eletrônica no protoboard e assim repetir o teste, no qual se obteve sucesso quando aplicou-se 5 volts na porta dos foto acopladores, pois o motor girou quando requisitado.

Após a confirmação que a eletrônica não tinha mais problemas, passou-se para a fase de comunicação entre interface e PIC. O programa de interface utilizado foi editado apartir de um programa pronto que já tinha sido obtido anteriormente, como pode-se ver na figura abaixo ele mostra na tela as portas tx e rx do pic, permite a escolha da porta de comunicação, ou seja, COM 1, COM 2, COM 3 e outras. O programa somente inicia quando clica-se sobre o botão abri porta.

Foi possível acionar o motor de utilizando o programa de interface, e também receber os dados necessários como posição do encoder e números de voltas do outro encoder acoplado ao eixo do motor trifásico.



(a) Montagem Eletrônica

(b) Teste Ponte H

Figura 4.7: Eletrônica

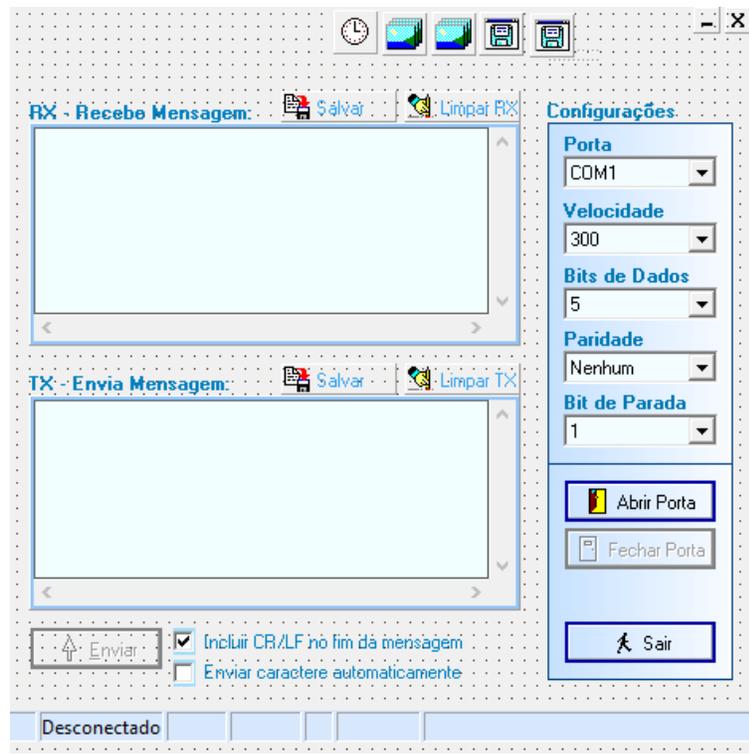


Figura 4.8: Programa de Interface

Os sensores escolhido para contar o número de ciclo e também posição foi o SD7063, pois este é fabricado para aplicações automotivas e possui um custo mais baixo. Sabendo que o sensor libera seis pulsos em uma revolução e apresenta três pinos, +, Ae-, era de se esperar que dois pinos fossem de alimentação e um de saída do sinal, porém como visto em Souza(2013) o sensor necessita de um circuito externo para poder gerar uma onda quadrada, pois ele não emite a onda desejada.



Figura 4.9: Sensor

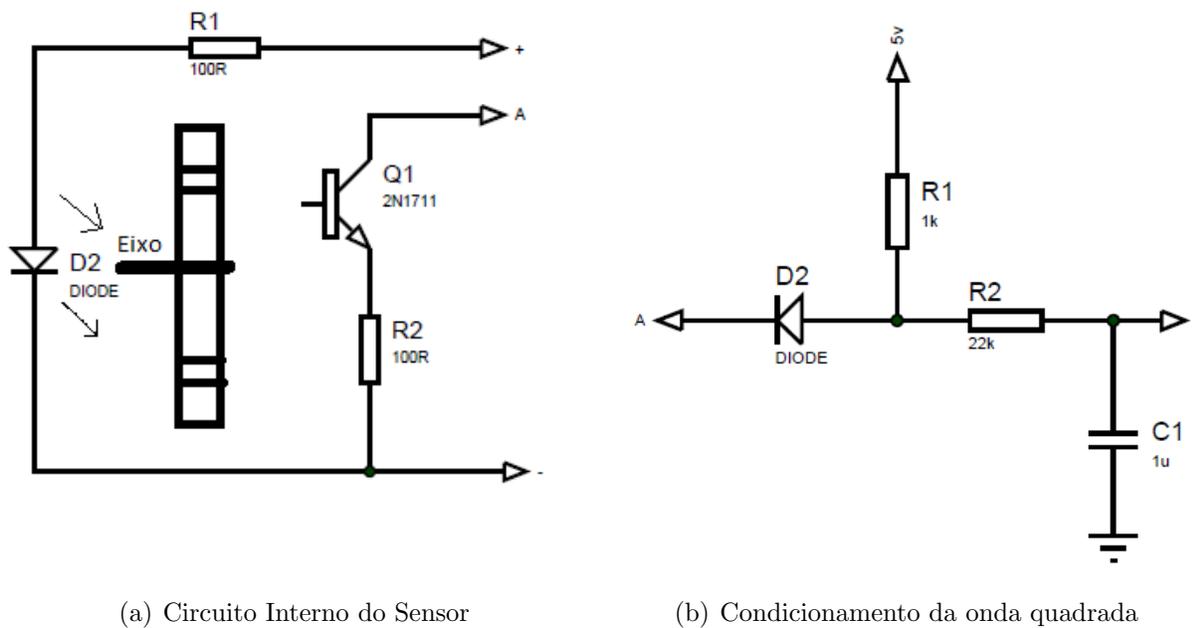


Figura 4.10: Sensor

4.3 Teste da Máquina

A Máquina foi então testada em duas etapas, primeiro foi o funcionamento do sistema de aplicação de carga no qual se comportou muito bem conseguindo assim fletir um corpo de prova provisório feito de náilon. Devido ao custo de célula de carga, a calibração da força aplicada ao corpo de prova foi feita com os materiais do laboratório de física.

Então para saber a relação de números de voltas da engrenagem e força aplicada foi feito o seguinte experimento. Mediu-se com o paquímetro o comprimento de uma mola em sua posição natural, no qual foi $Di = 0.11555m$, após isto foi pendurado uma das extremidades em um suporte fixo e a outra a um peso calibrado de 200g e em seguida foi aferida o tamanho da mola novamente que foi de $Df = 0.15155m$. Então a constante de elasticidade da mola foi achada pela seguinte fórmula:

$$k = \frac{F}{D} = 54,444N/m \quad (4.1)$$

Com isso pode-se então fazer o seguinte experimento, colocou-se os porta pinça na posição zero, ou seja, alinhados, e então uma das extremidades da mola foi presa no corpo de prova e a outra na porca que fica aparafusada no eixo sem fim, e então foi feita aferição do tamanho da mola e após isso a engrenagem foi girada 5 vezes no sentido anti-horário, e então se obteve o tanto que a mola deslocou e assim possibilitando o cálculo da força

$$F = \frac{k}{Df - Di} \quad (4.2)$$

$$F = \frac{54,444}{0.173 - 0.170} = 0.16333N \quad (4.3)$$

Considerações Finais

O trabalho realizado possibilitou um grande conhecimento em diversas áreas como citadas no decorrer dos capítulos, pois houve uma integração das áreas, sendo a parte de mecânica utilizando simulações com elementos finitos (Estrutura da Máquina e sistema de aplicação de carga), a eletrônica com a parte de acionamento dos motores utilizando microprocessador ponte H e pwm. A parte de programação para o desenvolvimento do software de interface e para programação do pic, sendo tudo isso de grande valia para os leitores.

Tendo em vista que as demais máquinas encontradas não tem o mesmo sistema de aplicação de carga Composto por um eixo sem fim acoplado as hastes da mesa possibilitando um momento fletor constante, pode-se notar que quase em todas surgem vibrações e variações da força na qual o corpo de prova está submetido, enquanto que em conta que para um ensaio perfeito é necessário garantir que sempre uma força constante, o que é uma grande vantagem este equipamento desenvolvido.

O equipamento necessita de alguns ajustes finais nos quais estão sendo feitos com o objetivo de melhorar ainda mais o ensaio, e após estes a máquina será validada, na qual esta necessitará de corpos de prova de acordo com as normas (ISO 1143), ou seja, corpos de prova com acabamento polido, sem quaisquer riscos. Este é um dos próximos passos para próximos trabalhos com o equipamento

Como etapas seguintes, além do corpo de prova conforme citado, pode-se prever o registro de dados dos ensaios (número de ciclos e força aplicada), utilizando-se o programa desenvolvido, fazendo um registro dos dados. O sistema de aplicação/medição de carga, por sua vez, pode ser incrementado através de uma célula de carga, adaptada ao eixo rosqueado. Isso vai requerer modificações no projeto atual, quais sejam o corte das hastes para introdução de uma célula de carga em série.

Um manual de utilização do equipamento, com resumos sobre as normas e conceitos fundamentais, poderá ser organizado com a revisão bibliográfica feita.

As dificuldades foram várias, desde a fabricação, soldagem, circuitos impressos, até a integração das partes. No entanto, foram superadas, restando alguns problemas pontuais (substituição do protoboard, corpos de prova). Levando em conta que a máquina atendeu o objetivo central do trabalho do trabalho que era melhorar o ensaio através do uso da integração de áreas como elétrica, computação e mecânica, ficaram faltando apenas o ajuste fino como entrar com a posição desejada no acionamento do motor de em vez do sentido de rotação.

Apêndice **A**

Códigos

```
#define BAUD_RATE 9600
#define N_PULSOS_ENCODER 4
#define HORARIO 1
#define ANTI_HORARIO 2
#define PARA_MOTOR 1
#define PINOA input(PIN_B7)
#define PINOB input(PIN_B6)
#define PINOC input(PIN_B5)
#define ROTACAO 127
```

main.c

```
#include <16F877A.h>
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay(clock=4000000) //ver se tem alteração

int sentido=0; // buffer para comunicação rs232
int1 Avelho,Bvelho;
int pulso;
int volta;
int giros;
int cvelho;
int p;
int v;

#include "meus_parametros.c"
#include "minhas_funcoes.c"
```

```
void main() {

configuracao_inicial();

output_bit( PIN_D0, 0); // liga o led
delay_ms(500); // fica um segundo aceso
output_bit(PIN_D0,1); // desliga o led
delay_ms(500); // fica um segundo apagado
output_bit( PIN_D0, 0); // liga o led
delay_ms(500); // fica um segundo aceso
output_bit(PIN_D0,1); // desliga o led
delay_ms(500); // fica um segundo apagado
output_bit( PIN_D0, 0); // liga o led
delay_ms(500); // fica um segundo aceso
output_bit(PIN_D0,1); // desliga o led
delay_ms(500); // fica um segundo apagado

setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
setup_adc(ADC_OFF);
setup_psp(PSP_DISABLED);
setup_spi(FALSE);
setup_counters(RTCC_INTERNAL,RTCC_DIV_2);
setup_timer_1(T1_DISABLED);
setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);

while(TRUE)
{
    printf("Entre com o numero de Giros");
    printf("Entre Com o sentido de Rotação");
    giros=leitura232();
    sentido=leitura232();

    if(sentido=='H')
    {
```

```
    aciona_motor(HORARIO);
    printf(" Girando Horário");
    break;
}
else if(sentido=='A')
{
    aciona_motor(ANTI_HORARIO);
    printf("Girando Anti-Horário");
    break;
}
else(sentido=='P');
{
    aciona_motor(PARA_MOTOR);
    printf("O Motor está parado");
    break;
}

// Encoder Acoplado ao Eixo sem Fim

    Avelho = PINOA;
    Bvelho = PINOB;
if((Avelho!=PINOA)|| (Bvelho!=PINOB))
{
    if(Bvelho == PINOA) //Condição Para saber qual lado esta girando,
    {
        // incrementa mais um
        pulso=pulso+1;

        if(pulso=5) //Resolução do Encoder
            volta=volta+1;
            pulso=0;
    }

    if(Avelho==PINOB)
    {
        pulso=pulso-1;

        if(pulso=5)
            volta=volta-1;
            pulso=0;
    }
}
```

```

    }
    printf("(%d,%d)\n", pulso, volta);}

// Condição para o Motor DC para na posição desejada
if(giros==volta){
    output_low(pin_d2);
    output_low(pin_d2); }

//Contador de Ciclos do Motor Trifasico

if((cvelho!=PINOC))
{
    p=p+1;

    if(p==5)
    {
        v=v+1;
        p=0;
    }
    printf("\n Volta=%u",v);}

}
}

minhas_funcoes.c
int leitura232(); // faz a leitura da porta serial
boolean configuracao_inicial(); //configurações iniciais para o pic
boolean aciona_motor(int sentido);
boolean retorna_parametros();
boolean contador_voltas(int giros);

configuracao_inicial(){ // configuração rs232
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
    setup_adc(ADC_OFF);
    setup_ccp1(CCP_OFF);
    setup_ccp2(CCP_OFF);
    SET_TRIS_B( 0x00 );

```

```
    SET_TRIS_D( 0xFF );
    #use rs232(baud=BAUD_RATE,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7)
    delay_ms(500);
}

leitura232(){
    if (kbhit()){
        return(getc());
    }else{
        return(FALSE);
    }
}

aciona_motor(int sentido)
{
    if(sentido==HORARIO)
        output_high(pin_d3);
        output_low(pin_d2);

    if(sentido==ANTI_HORARIO)
        output_high(pin_d2);
        output_low(pin_d3);

    if(sentido==PARA_MOTOR)
        output_low(pin_d2);
        output_low(pin_d3);
}

retorna_parametros(){
    printf("BAUD RATE = %d \n" , BAUD_RATE);
    printf("NÚMEROS DE PULSOS ENCOFER= %d \n", N_PULSOS_ENCODER);
    printf("BAUD_RATE = %d \n", BAUD_RATE);
    //printf("BAUD_RATE = %d", );
}

//contador_voltas(int giros){

//if(giros==ROTACAO){
//output_low(pin_d2);
//output_low(pin_d2);
```


Bibliografia

- Carlos Augusto G. M. BRANCO. *Fadigas de Estruturas Soldadas*. Fundação Calouste Gulbenkian, 1986.
- Rodrigo P. BRANDÃO. Projeto mecânico de uma máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa. *Nd*, 2013.
- William D. CALLISTER JR. *Ciência Engenharia de Materiais*. Ltc, 2010.
- Allan C. M. CAVALHEIRO, Patrícia S. ALMEIDA, and Vandr  P. C. AZEVEDO. Projeto de máquina para ensaios de fadiga. *Nd*, 2006.
- Ronaldo S. MORAIS Jr. Verificação do projeto estrutural de uma máquina de ensaio de fadiga de cadeira de rodas. Master's thesis, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.
- Pedro C. U. NEVES. Automatiza o de uma máquina de ensaio de fadiga de contato. *N*, 2008.
- Rodrigo M. Nogueira. Máquina de testes de fadiga mecânica por flexão rotativa. Master's thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2010.
- Pedro M. PENTEADO. Desenvolvimento de uma bancada de ensaio de fadiga por impacto em válvulas de compressores de refrigera o. Master's thesis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- Célio RIBEIRO. Máquina de baixo custo para teste de fadiga por flexão rotativa. *Centro Federal de Educa o Tecnológica de Minas Gerais*, 2004.
- Joseph E. SHINGLEY and Charles R. MISCHKE. *Projeto de Engenharia Mecânica*. Bookman, 2005.