



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SÃO PAULO
CAMPUS SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Rodrigo da Silva Amandio

SISTEMA AUTOMATIZADO DE ELEVAÇÃO DE CARGAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de São
Paulo – Campus São José dos Campos,
como requisito para obtenção do Título de
Técnico em Mecânica sob orientação do
Professor(a) Leandro Léo Koberstein.

São José dos Campos
2014

Amandio, Rodrigo

Título do trabalho: Sistema automatizado de elevação de cargas/
Rodrigo Amandio. São José dos Campos, SP: [s.n.], 2014.

Trabalho de conclusão de curso (Técnico em Mecânica) – Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo-Campus São
José dos Campos. Orientação: Prof. Leandro Léo Koberstein.

1. Sistemas de produção. 2. Automação mecânica. 3. Elementos
de máquinas.

(cars/fea)

BANCA EXAMINADORA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) defendido e aprovado em
_____ de _____ de 2014, pela banca examinadora constituída pelos
professores:

Prof.....

Orientador(a)

Prof.

Co-orientador(a)

Prof.

Primeiramente a Deus
Aos meus queridos pais José e Luzia,
Meu professor orientador Leandro,
Dedico.

Agradecimentos

Muitas pessoas contribuíram para a elaboração deste trabalho, gostaria de agradecer especialmente:

Ao professor orientador Leandro, pelo companheirismo, paciência e amizade demonstrados na elaboração teórica do projeto e na construção prática do mesmo.

A empresa Estrutural que foi de fundamental importância para a conclusão do sistema de elevação de cargas, cedendo alguns componentes que fizeram parte da montagem, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Ao técnico de laboratório Danilo, pelo auxílio, companhia e disposição em ajudar na montagem e programação da parte eletrônica do projeto.

Aos colaboradores de sala Pedro Luis Lopes Gonçalves e Gabriel Nícolas que contribuíram grandemente na usinagem das peças, e principalmente a Washington Camargo e Felipe Alexandre, pela amizade e pelo apoio nestes dois anos de curso.

Aos professores André Moura, Irineu Yassuda, Cláudio, Henrique, Valdeci, Edson Vinci, Ricardo Becker, Gustavo, Luis Catarino, Luis Videira, Marco Aurélio, Ana Cláudia, Fernando e Eliana por toda a disposição, atenção e ensinamentos atribuídos nestes anos.

Aos meus pais, José e Luzia, pelo incentivo, companheirismo e amor em todos os anos de minha vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1.Arduino	3
3.2. Mancais e rolamentos	5
3.3. Motores.....	10
3.4. Perfil de alumínio	16
3.5. Sistemas de acoplamento.....	17
3.6. Sistemas de transmissão....	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1. Materiais	24
4.2. Métodos	24
4.2.1. Usinagem das peças.....	24
4.2.2. Montagem do conjunto	30
4.2.3. Montagem da parte eletrônica.....	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
6. CONCLUSÃO.....	34
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
8. ANEXOS.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.....	4
Figura 2.....	5
Figura 3.....	5
Figura 4.....	5
Figura 5.....	6
Figura 6.....	6
Figura 7.....	10
Figura 8.....	11
Figura 9.....	12
Figura 10.....	12
Figura 11.....	13
Figura 12.....	13
Figura 13.....	14
Figura 14.....	15
Figura 15.....	16
Figura 16.....	17
Figura 17.....	17
Figura 18.....	18
Figura 19.....	18
Figura 20.....	18
Figura 21.....	19
Figura 22.....	19
Figura 23.....	19
Figura 24.....	20
Figura 25.....	20
Figura 26.....	20
Figura 27.....	21
Figura 28.....	22
Figura 29.....	23
Figura 30.....	23
Figura 31.....	25
Figura 32.....	26

Figura 33.....	27
Figura 34.....	27
Figura 35.....	28
Figura 36.....	29
Figura 37.....	29
Figura 38.....	29
Figura 39.....	30
Figura 40.....	31
Figura 41.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- CNC – Comando Numérico Computadorizado

RESUMO

A indústria mundial tem passado por um processo caracterizado como revolução tecnológica, baseada no desenvolvimento de novas tecnologias através de *softwares* computadorizados, com finalidade de serem implantadas em seus sistemas de fabricação, visando produzir mais com menor tempo e principalmente, com o propósito de garantir maior qualidade ao produto.

O trabalho de máquinas vem ganhando cada vez mais espaço no ambiente industrial em relação ao trabalho humano, já que, uma máquina consegue ter maior precisão, maior produção, em menos tempo e consegue, por exemplo, trabalhar 24 horas seguidas, tendo apenas algumas paradas programadas para manutenção preventiva, diferente do trabalho humano, que gera menor produção, menor precisão e maior tempo. (Revista ÉPOCA).

Baseando-se nesta revolução tecnológica, foi elaborado o tema central deste trabalho.

A meta foi tornar um sistema de elevação de cargas que em sua origem foi fabricado para ser operado de forma totalmente manual, onde tudo dependia do operador, e que não supria a necessidade da indústria, já que o trabalho manual é realizado de forma mais lenta e com menor precisão do que um trabalho realizado por um sistema automatizado.

O conjunto era operado através de um volante que era movimentado até atingir a altura desejada da carga, porém com o passar do dia, o operário ia se cansando, tornando assim o trabalho ainda mais lento e menos produtivo.

A idéia foi substituir este volante por um motor de passo, que através de um acoplamento elástico foi acoplado no eixo da barra roscada, que antes estava conectada ao volante. A movimentação deste motor vem de uma placa microcontroladora conhecida como arduino, que através de sinais de programação na linguagem C/C++, movimenta o eixo do motor e juntamente a barra roscada.

Deste modo, o operador que antes movimentava o sistema através de um volante, agora opera o mesmo através de botões de acionamento, o que facilita a operação e o processo de produção, aumenta o nível de segurança do operário e a lucratividade da empresa, já que passou a se produzir mais com menos tempo.

Palavras chave: Revolução tecnológica, Sistemas de movimentação, Arduino, Acoplamento elástico, Motor de passo, linguagens de programação.

ABSTRACT

The global industry has undergone a process characterized as a technological revolution, based on the development of new technologies through computer software, with the purpose of being implanted in its manufacturing systems, aiming to produce more with less time and mainly for the purpose of ensuring greater quality to the product.

The machines work is gaining more space in the industrial environment in relation to human labor, since a machine can have higher accuracy, faster production, in less time and can, for example, work 24 hours straight, with only a few shutdowns for preventive maintenance, other than human labor, which generates lower production, lower accuracy and longer. (TIME Magazine).

The main focus of this work is based on the technological revolution mentioned above.

The goal was to make a system for lifting loads which in its origin was manufactured was be operated fully manually, where everything depended on the operator, and not supplied the needs of the industry, since the manual work is done more slowly and less accurate than a job done by an automated system.

The set was operated via a steering wheel that was moved to the desired height of the load, but as the day went by, the worker was getting tired, making the job even slower and less productive work.

The idea was to replace this steering for a stepper motor, which through a flexible coupling was attached on the shaft of the threaded rod, which was previously connected to the steering. The movement of this engine comes from a microcontroller board called Arduino, which signals through programming in C/C++ language, which moves the motor shaft with along the threaded rod.

Thus, the operator which previously moved the system through a steering wheel, it now operates through activation buttons, which facilitates the operation and production process, increases the level of safety of the workers and the company's profitability, it is to produce more with less time.

Keywords: Technological revolution, drive systems, Arduino, Elastic Coupling, Stepper motor, programming languages.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, diversos tipos de sistemas de produção vêm contribuindo para o desenvolvimento tecnológico no mundo, como exemplo temos as máquinas CNC, que através de programações em código G, podem ser preparadas para produzir milhares de peças em um curto prazo de tempo e grande precisão nas medidas finais da peça. (Tavares)

Mas um dos sistemas que mais são utilizados hoje em dia é o sistema de movimentação de cargas. Encontramos sua aplicação em diversos segmentos industriais, um bom exemplo disso é a indústria automotiva, onde esteiras transportadoras são utilizadas para montagem dos veículos. Outros dois exemplos são:

- Transportadores magnéticos: usados para transporte de peças de ferro e aço, podendo conduzir o material em trajetórias verticais e horizontais, sem deixá-lo cair.
- Transportadores pneumáticos: Utilizados no transporte de materiais granulados, principalmente na indústria alimentícia.

Há também os sistemas de movimentação manual, como carrinhos hidráulicos, paleteiras e empilhadeiras, ambos ainda muito usados em indústrias de todos os segmentos, porém algumas têm implantado em sua estrutura o sistema de ponte rolante, que permite a movimentação de cargas mais pesadas, com maior rapidez e se operada corretamente, oferece maior segurança também. Em obras de construção civil, é comum o uso de guindastes para o transporte. (YIMG)

A finalidade deste trabalho é tornar automático um sistema de elevação que normalmente é feito de forma manual, onde o operador faz uso de um volante para elevar a carga. Automatizar este sistema resulta em inúmeras vantagens, tanto para a empresa, como para o operador.

O sistema de movimentação automatizado tem a capacidade de gerar maior velocidade de produção, maior precisão, porque é sempre o mesmo ponto definido e evita lesões por esforço repetitivo.

2. OBJETIVO

Automatizar um sistema de elevação de cargas visando ganho de tempo, precisão e aumento de segurança.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Arduino

Introdução

No ano de 2005 na Itália, um professor chamado Massimo Banzi necessitava ensinar eletrônica e programação para seus alunos do curso de projeto, com finalidade de que pudessem usá-la em seus projetos de arte, interatividade e robótica. Mas a missão de ensinar programação e eletrônica para pessoas que não eram da área era uma tarefa complicada, e, além disso, era necessário desembolsar um grande valor para adquirir placas poderosas no mercado. Massimo diante desta situação decidiu criar sua própria placa, e para isso contou com a ajuda de um amigo chamado David Cuartielles, e David Mellis, um de seus alunos. Mellis ficou responsável pela elaboração da parte de programação da placa então denominada por eles de “Arduino” (UFMS).

Arduino

O arduino é um microcontrolador projetado em uma única placa, com suportes de entrada e saída embutidos, e seu sistema de programação tem origem em *Wiring* e é baseado essencialmente na linguagem C/C++. Projetos utilizando o arduino podem ser independentes ou através de *software* instalados no computador (*Flash*, *Processing*, *MaxMSP* são alguns exemplos). Os circuitos podem ser montados manualmente ou há a opção de comprá-los pré-montados. O software de programação é disponibilizado gratuitamente pela internet (UFMS).

Vantagens do Arduino

- Baixo custo – Uma placa arduino custa em torno de R\$60,00;
- *Software* com versões para diversos sistemas operacionais como *Windows*, *MAC* e *Linux*;
- Linguagem de programação simples para iniciantes;
- *Software* livre – O próprio usuário pode montar seu próprio *software* ou modificar algum existente. Alguns modelos de programação estão disponíveis na página oficial do arduino (arduino.cc);

- Existe um fórum de usuários do arduino na internet, o que permite ao usuário tirar suas dúvidas com pessoas de diversas partes do mundo (UFMS).

Modelos de Arduino

Dentre os diversos tipos de placas arduino, destacaremos o UNO, que foi utilizado neste projeto.

Arduino UNO

O arduino Uno (Figura 1) consiste de uma placa com micro controlador *Atmega 328*. Possui 14 entradas/saídas digitais, seis entradas analógicas, um cristal oscilador de 16MHz, conexão USB, uma entrada para fonte, soquetes para ICSP, e um botão de *reset*. A placa atende a todos os requisitos para utilização do micro controlador. Basicamente é necessário conectá-la a um computador através de um cabo USB ou a uma fonte AC-DC (ou bateria) (UFMS).



Figura 1- Modelo de Arduino UNO.

Existem também alguns outros modelos de placas arduino conforme Figura 2 e Figura 3.



Figura 2 – Arduino 2009.



Figura 3 – Arduino Mega 2560.

3.2. Mancais e rolamentos

Mancais

Mancais são elementos de apoio de eixos girantes de máquinas. Classificam-se basicamente em dois tipos: Mancais de deslizamento e de rolamento.

Mancais de deslizamento: Concavidades nas quais as extremidades dos eixos se apoiam. Tem função de permitir deslizamento linear dos eixos apoiados. Abaixo (Figura 4) segue um modelo de mancal de deslizamento (UTFPR).

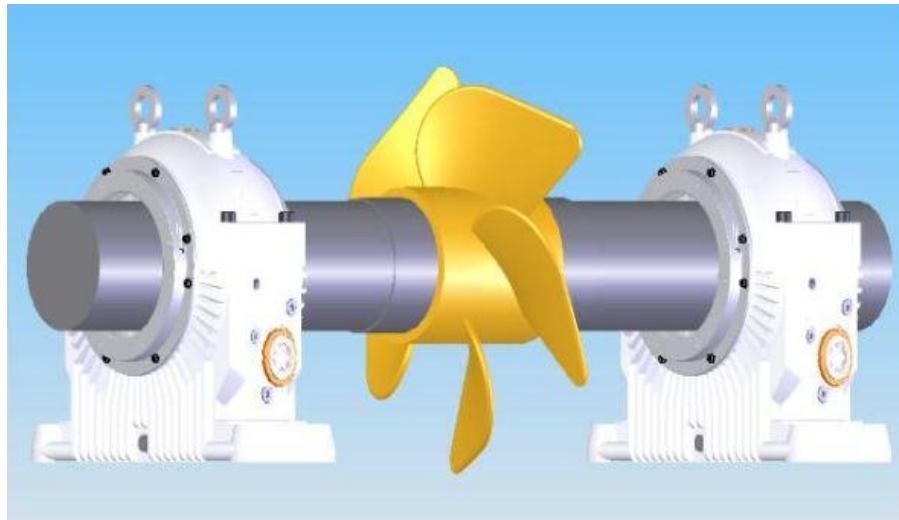


Figura 4 – Aplicação de mancais de deslizamento.

Mancais de rolamento: Em sua estrutura possuem rolamentos de esferas (Figura 5) ou rolos (Figura 6) que apoiam o eixo. No momento em que o eixo gira as esferas ou rolos também giram presos dentro do mancal (UTFPR).



Figura 5 – Rolamento de esferas.



Figura 6 – Rolamento de rolos.

Rolamentos

Os rolamentos são caracterizados como radiais e axiais. Rolamentos radiais tem função de suportar esforços perpendicularmente ao eixo, já os rolamentos axiais visam suportar esforços na mesma direção do eixo (UTFPR).

Comparação entre rolamentos axiais x rolamentos radiais

- **Rolamentos axiais**

Rolamentos com um ângulo de contato superior a 45° suportam maiores esforços na direção do eixo, sendo denominados como rolamentos axiais.

- **Rolamentos radiais**

Rolamentos com um ângulo de contato inferior a 45° tem como característica suportar esforços na direção do raio, sendo classificados como rolamentos radiais. Existem também os chamados rolamentos combinados, que tem como característica

suportar esforços tanto na direção do raio como na direção do eixo.

Comparação entre rolamentos de rolos x rolamentos de esferas

Selecionando rolamentos de esferas e de rolos

Normalmente para cargas de maior proporção, são usados os rolamentos de rolos, e para cargas leves ou médias, são usados rolamentos de esferas. Abaixo seguem as características de cada tipo de rolamento e seus exemplos de aplicações mais comuns (NTN).

Rolamentos de rolos

Este tipo de rolamento classifica-se de acordo com a forma de seus rolos. Podem ser cilíndricos, de agulhas, cônicos e esféricos. Possuem um ponto de contato para aplicação da carga, que quando acionado torna-se retangular. Em função deste ponto, podem suportar uma carga maior em relação aos rolamentos de esferas (NTN).

- **Rolamentos de rolos cilíndricos**

Possuem alta capacidade de carga, e são indicados para trabalhar como rolamentos livres, pois nesta condição, absorvem a expansão térmica do eixo. São encontrados em três tipos:

Tipo HT: Apresentam desenvolvimento nas bordas e faces dos rolos, aumentando assim a capacidade de carga axial.

Tipo E: Possui um desenho interno diferenciado que permite o aumento de carga no sentido radial. É padronizado para diâmetros menores.

Tipo SL: Rolamentos de múltipla carreira com número máximo de rolos, visando aumento na capacidade de carga.

Exemplos de aplicações: Motores elétricos pesados, caixas de eixos de vagões, vagonetas de pressão, cilindros de laminadores, etc (NTN).

- **Rolamentos de rolos cônicos**

São adequados para suportar cargas combinadas, tanto no sentido axial como radial. Normalmente são montados sempre opostos a outros rolamentos de mesma natureza, aumentando assim a rigidez de montagem. Devido a sua alta

capacidade de carga e sua versatilidade, este tipo de rolamento é o segundo mais utilizado, ficando atrás apenas do rolamento rígido de esferas. Exemplos de aplicações: Eixos de redutores, mudança de transmissão com pinhão cônico, bombas, compressores, indústrias papelerias, etc (NTN).

- **Rolamentos de agulhas**

São utilizados para cilindros de menor proporção e comprimento alongado em relação ao seu diâmetro. Normalmente suas agulhas possuem no máximo de 5 mm de diâmetro, e seu comprimento varia de 3 a 10 vezes a esta medida. Mesmo com a pequena proporção de suas agulhas, possuem alta capacidade de carga em relação ao seu tamanho, boa rigidez e são indicados em circunstâncias em que ocorrem oscilações. Exemplos de aplicações: Transmissões automotivas automáticas e manuais, acessórios automotivos (compressores, engrenagens de direção, entre outros) equipamentos agrícolas, etc (NTN).

Rolamentos de esferas

Os rolamentos de esferas classificam-se na configuração de seus anéis. Podem ser rígidos de esferas, de contato angular e axiais. Semelhante aos rolamentos de rolos, também possuem um ponto de contato para aplicação de carga, mas neste caso, quando acionado, o ponto torna-se oval. Devido a esse ponto de aplicação da carga, são indicados para aplicações de baixo torque e alta velocidade, pois possuem pouca resistência ao giro. O rolamento de esferas também apresenta como característica baixo ruído (NTN).

- **Rolamentos rígidos de esferas**

Tipo mais comum de rolamento. Muito útil por sua longa vida útil, pela facilidade de montagem e fácil lubrificação. Podem ser de uma carreira (menor capacidade de carga) ou duas carreiras (maior capacidade de carga) ou angular (combinação de cargas axiais e radiais). Exemplos de aplicações: Motores elétricos, alternadores, ventilação industrial, compressores, bombas de aquecimento, secadoras, instalações frigoríficas, etc (NTN).

- **Rolamentos de contato angular**

Apresentam característica de suportar esforços apenas em uma direção, sendo assim, em sua montagem, normalmente são usados em pares, para dar

suporte nas duas direções do eixo. Este tipo de rolamento também pode ser encontrado com quatro pontos de contato, que também tem a função de suportar esforços nas duas direções do eixo, porém requerem maior atenção, pois o excesso de carga pode provocar desgaste e aumento excessivo de temperatura. Possuem um ângulo de contato de 25°, e podem possuir duas carreiras de esferas, com o objetivo de se obter maior capacidade de carga. Exemplos de aplicações: Caixa de redutores, hastes de máquinas-ferramenta, etc (NTN).

- **Rolamentos axiais de esferas**

São encontrados inúmeros tipos de rolamentos de esferas axiais, cada um projetado para uma determinada aplicação. Normalmente apresentam baixa velocidade e requerem maior atenção com a lubrificação, para diminuir o atrito e evitar desgastes. Exemplos de aplicações: Eixos verticais, contra-pontas, bombas de platô, etc (NTN).

Configuração de montagens de rolamentos

Para apoiar um eixo giratório, são necessários no mínimo dois rolamentos, com uma determinada distância entre eles. Isso se denomina disposição de rolamentos. Conforme a aplicação pode-se optar por um mancal fixo-livre, um mancal ajustado ou um mancal flutuante.

- **Mancal fixo-livre**

Em uma montagem de dois rolamentos, a distância entre eles nem sempre será exata, devido às tolerâncias de usinagem. O mancal fixo-livre tem a função de compensar essa diferença através de seu sistema de montagem. Este mancal é montado por um rolamento em cada extremidade do eixo, de forma que um lado estará fixo e o outro livre. O lado livre tem a função de corrigir a distância entre os rolamentos (NTN).

- **Mancal ajustado**

Este mancal tem a função de proporcionar uma folga correta ou uma pré-carga necessária entre o rolamento e o eixo. É formado normalmente por dois rolamentos de contato angular de esferas ou rolos cônicos. Um bom exemplo de aplicação deste mancal é encontrado nos fusos de máquinas ferramentas, em que o ajuste deve ser fino, devido à precisão de guia do fuso (Irusa).

- **Mancal flutuante**

Semelhantes aos mancais ajustados, porém com um custo mais baixo. São recomendados quando a folga exigida entre eixo e rolamento não forem tão precisas. Normalmente para este tipo de mancal, são utilizados rolamentos de esferas, auto-compensadores de esferas ou de rolos (Irusa).

Disposição de rolamentos

Rolamentos podem ser montados das disposições em X em O e Tandem, conforme Figura 7, que são combinações com finalidade de proporcionarem uma menor folga axial entre eixo e rolamento e também de aumentar a capacidade de carga a ser suportada em casos em que apenas um rolamento não tenha uma capacidade de carga suficiente (Irusa).

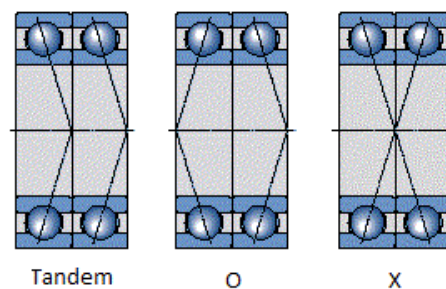


Figura 7 – Disposição de rolamentos.

3.3. Motores

Neste tópico descreveremos quatro dos principais motores elétricos, destacando suas características e algumas vantagens e desvantagens em suas utilizações.

- **Motor de Indução Trifásico**

O sistema trifásico é a forma mais comum de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica em corrente alternada. Este sistema faz uso de três ondas senoidais balanceadas, defasadas em 120 graus entre si, de forma a balancear o sistema, tornando-a muito mais eficiente ao se comparar com três sistemas isolados. As máquinas elétricas trifásicas tendem a ser mais eficientes pela utilização plena dos circuitos magnéticos (IFBA).

- **Motor de CC (Corrente Contínua)**

Um motor de CC (Figura 8) assim como os outros motores descritos, tem função de

converter energia elétrica em energia mecânica, porém ele apresenta uma característica particular: ele deve ser alimentado com corrente contínua, que pode ser extraída de pilhas ou baterias por exemplo. Os principais componentes de um motor de corrente contínua CC são descritos como segue:

- ✓ **Estator:** contém um enrolamento (chamado campo), que é alimentado diretamente por uma fonte de tensão contínua; no caso de pequenos motores, o estator pode ser um simples ímã permanente;
- ✓ **Rotor:** contém um enrolamento (chamado armadura), que é alimentado por uma fonte de tensão contínua através do comutador e escovas de grafite;
- ✓ **Comutador:** dispositivo mecânico (tubo de cobre axialmente segmentado) no qual estão conectados os terminais das espiras da armadura, e cujo papel é inverter sistematicamente o sentido da corrente contínua que circula na armadura (UFMG).

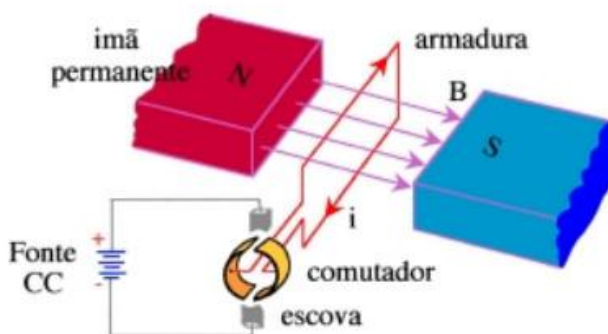


Figura 8 – Estrutura do motor de corrente contínua.

Servo motor

Os servo motores (Figura 9) são usados em várias aplicações quando se deseja movimentar algo de forma precisa e com alto controle. Este tipo de motor tem como partes principais:

- ✓ **Circuito de Controle** – responsável pelo monitoramento do potenciômetro e acionamento do motor visando obter uma posição pré-determinada;
- ✓ **Potenciômetro** – ligado ao eixo de saída do servo, monitora a posição do mesmo;
- ✓ **Motor** – movimenta as engrenagens e o eixo principal do servo;
- ✓ **Engrenagens** – reduzem a rotação do motor, transferem mais torque ao eixo Principal de saída e movimentam o potenciômetro junto com o eixo;
- ✓ **Caixa do Servo** – caixa para acondicionar as diversas partes do servo (Unesp).



Figura 9 – Componentes internos do servo motor

- **Motor de Passo**

Motores de passo são dispositivos que em seu funcionamento convertem pulsos elétricos em movimentos de rotação. Possuem três estágios: parado, ativado com o rotor travado ou girando em etapas. Atualmente são muito utilizados em áreas como informática e robótica, pois garantem precisão em seus movimentos e são de fácil controle. Os mais utilizados são os motores unipolares (Figura 10) e bipolares (Figura 11).

Os unipolares possuem em sua estrutura duas ou quatro bobinas. Este motor possui a vantagem de inverter seu campo magnético sem a necessidade de mudar o sentido da corrente. Já os bipolares exigem circuitos mais complexos, devido a inúmeras bobinas em sua estrutura. Porém garantem maior torque, além de possuírem uma menor proporção em seu tamanho (Queiroz).

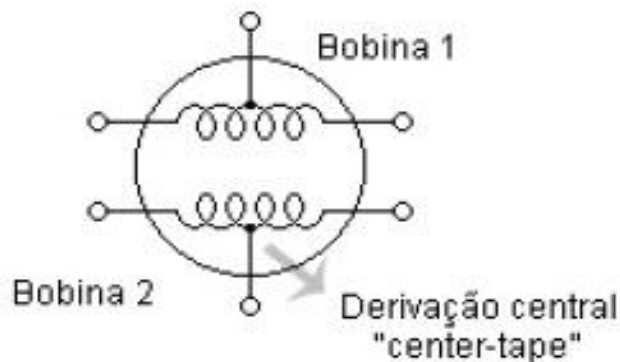


Figura 10 – Motor Unipolar com duas bobinas.

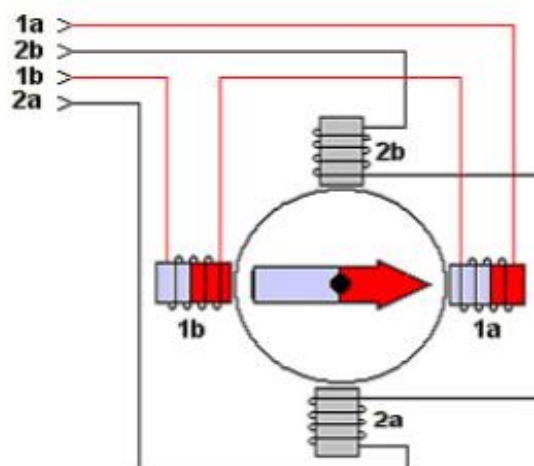


Figura 11 – Motor de passo bipolar.

Existem três tipos básicos de motores de passo: relutância variável, ímã permanente e híbrido.

Relutância Variável

O motor de relutância variável (Figura 12) possui um rotor com várias polaridades e um estator laminado. Normalmente operam com ângulos de passo de 5 a 15 graus, a taxas de passo relativamente altas e, por não possuir ímã, quando energizados apresentam torque estático nulo. Quando a fase A é energizada, quatro dentes de rotor se alinham com os quatro dentes do estator da fase A através de atração magnética. O próximo passo é dado quando a fase A é desligada e na fase B é energizada fazendo o rotor girar 15 graus à direita. Continuando a sequência, a fase C é energizada e depois a fase A novamente (Queiroz).

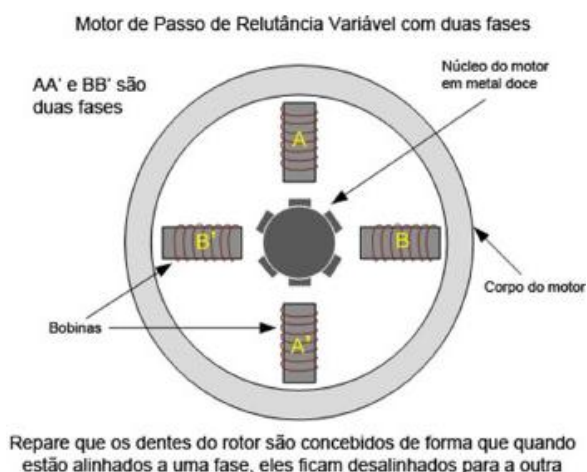


Figura 12 – Motor de relutância variável.

Ímã Permanente

O motor de ímã permanente (Figura 13) possui rotores sem dentes e magnetizado perpendicularmente ao eixo. Seu torque estático não é nulo. Energizando as quatro fases em sequência, o rotor gira, pois é atraído aos polos magnéticos. O rotor dará um passo de 90 graus quando os enrolamentos ABCD forem energizados em sequência. Geralmente tem ângulos de passo de 45° ou 90° a taxas de passo relativamente baixas, porém exibindo alto torque (Queiroz).

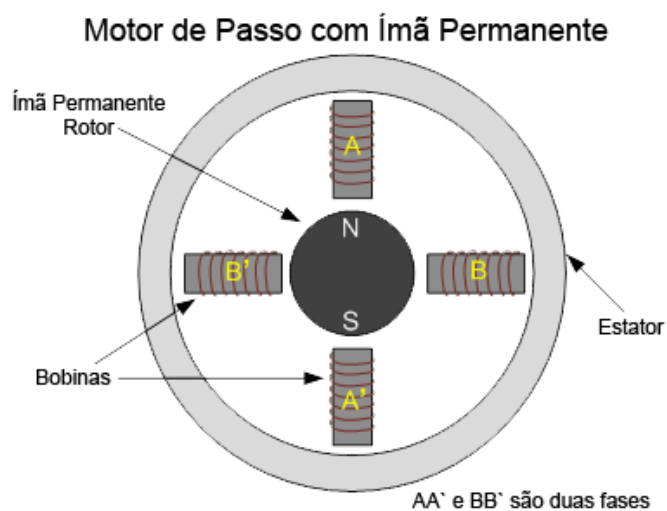


Figura 13 – Motor de passo de ímã permanente.

Híbrido

O motor híbrido (Figura 14) tem alto torque, não apresenta torque estático nulo e podem operar em velocidades de passo altas, porém quando utilizado em alta velocidade, tende a perder precisão em seu movimento. Têm ângulos de passo que variam de 0.9 a 5 graus. São providos de pólos que são formados por dois enrolamentos de forma que uma única fonte pode ser usada. Se as fases são energizadas uma de cada vez, na ordem indicada, o rotor gira em incrementos de 1.8 graus. Este motor também pode ser controlado de forma a usar duas fases de cada vez, para obter maior torque, ou alternadamente, ora uma ora duas fases de cada vez, a fim de produzir meio-passos ou incrementos de 0.9 graus (Queiroz).

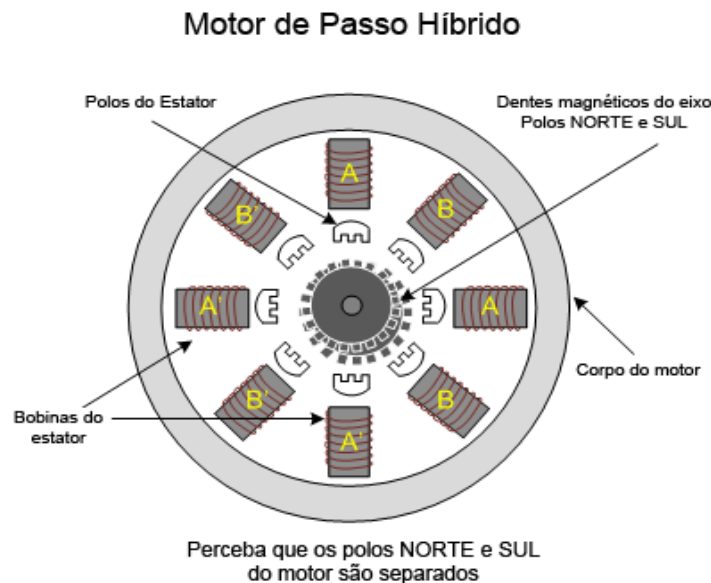


Figura 14 – Motor de passo híbrido.

O motor pode mover rotações específicas de certo grau, apenas calculando o número de rotações por pulsos. Existem também três tipos básicos de movimento: passo normal, com excitação única e dual, e meio passo tanto para o unipolar como o bipolar.

PASSO NORMAL

Caracteriza-se em três tipos:

Única excitação de fase – Opera com apenas uma fase energizada por vez. Recomendado em situações onde torque e velocidade não requerem grande importância.

Excitação dual – Opera com apenas duas fases energizadas por vez. Proporciona bom torque e velocidade, porém apresenta alguns problemas de ressonância.

Meio passo - Resulta em passos com a metade de seu tamanho, dobrando assim a resolução. O torque no motor varia a alternar o passo, isto é, compensado pela necessidade de se usar um passo com metade do ângulo normal. Este modo reduz a ressonância do motor, mas pode fazer este protelar em frequências ressonantes particulares. O maior inconveniente do motor de passo é a perda de passo devido a uma sobrecarga ou perturbação (Queiroz).

Vantagens do motor de passo

Neste projeto o motor de passo será utilizado devido as seguintes características apresentadas:

- ✓ Tamanho e custos reduzidos;
- ✓ Pouco desgaste;
- ✓ Boa precisão;
- ✓ Dispensa realimentação;
- ✓ Total adaptação à lógica digital.

3.4. Perfil de alumínio

Os Perfis em Alumínio (Figura 15) oferecem uma grande quantidade de seções com elementos de conexão e acessórios adequados à sua necessidade. Apresentam maior facilidade com relação a uma estrutura soldada, devido a sua simplicidade e versatilidade de montagem de equipamentos, dispositivos mecânicos, linhas de produção, mesas de trabalho entre outros. A montagem de um perfil de alumínio requer parafusos e conexões, o que garante a estrutura montada uma união segura e resistente, capaz de suportar inúmeros tipos de esforços mecânicos em qualquer aplicação. Dependendo da necessidade, podem ser realizadas modificações em sua estrutura até chegar ao produto desejado, evitando assim desperdícios de materiais, gerando economia, pois com a adaptação, não será necessário comprar um novo perfil. Os perfis dispensam pintura, pois são anodizados, processo no qual passam a ter alta resistência a abrasão e a corrosão e adquirem um bom acabamento superficial (Estrutural).

Comparação estrutura soldada x Perfis de Alumínio

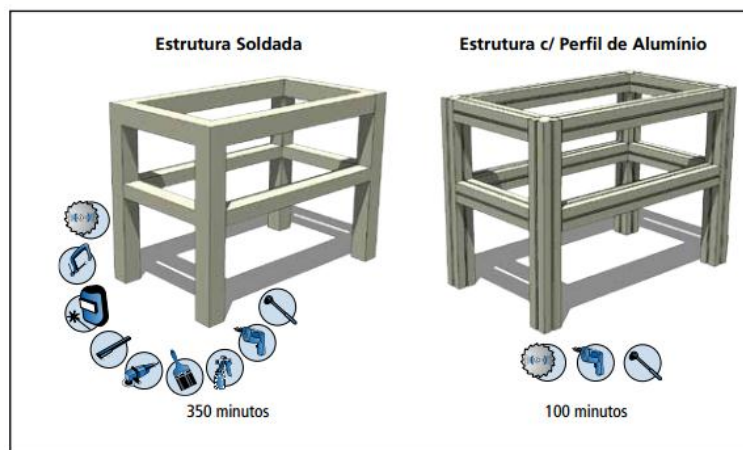


Figura 15 – Comparação entre estrutura de solda e perfil de alumínio.

3.5. Sistemas de acoplamentos mecânicos

Acoplamento (Figura 16) é um conjunto mecânico, constituído de elementos de máquina, utilizado para transmitir movimento de rotação entre dois eixos, também conhecido como árvores ou eixo-árvores.

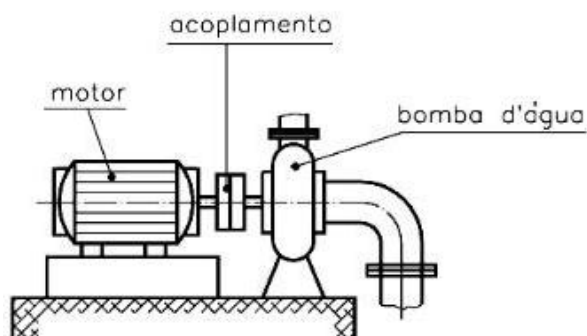


Figura 16 - Aplicação de um acoplamento mecânico.

Os acoplamentos podem ser elásticos, fixos e móveis.

- **Acoplamentos Elásticos**

O acoplamento elástico (Figura 17) tem como característica amenizar a transmissão em árvores que tenham movimentos bruscos, tolerando um desalinhamento paralelo, e permitem até 6 graus de deslocamento angular axial.

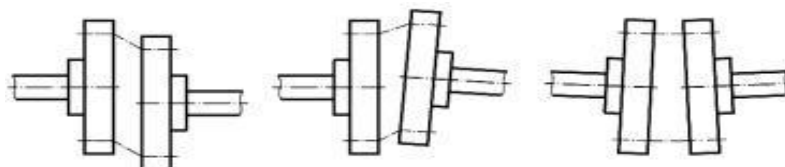


Figura 17 – Exemplo de desalinhamento entre eixos acoplados.

- **Acoplamento elástico de garras**

Neste projeto, o sistema escolhido para acoplar o eixo do motor de passo com a barra roscada foi o acoplamento elástico de garras, devido a seu baixo custo, boa resistência mecânica, facilidade de montagem e isenção de lubrificação. As garras (Figura 18), normalmente fabricadas de borracha, se encaixam nas aberturas do contra-disco e transmitem o movimento de rotação.



Figura 18 – Acoplamento Elástico de garras.

Seguem abaixo outros exemplos de acoplamentos elásticos:

- **Acoplamento elástico de pinos** (Figura 19).

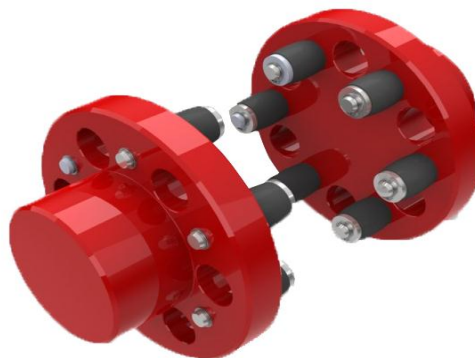


Figura 19 – Acoplamento elástico de pinos.

- **Acoplamento Perflex** (Figura 20).



Figura 20 – Acoplamento Perflex.

- **Acoplamento elástico de fita de aço** (Figura 21).



Figura 21 – Acoplamento elástico de fita de aço.

- **Acoplamentos Fixos**

Os acoplamentos fixos servem para unir árvores de tal maneira que funcionem como se fossem uma única peça, alinhando as árvores de forma precisa. Abaixo alguns exemplos destes modelos:

- **Acoplamento rígido com flanges parafusadas** (Figura 22).

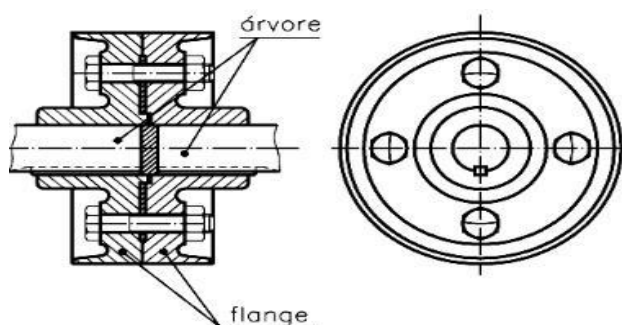


Figura 22 - Acoplamento rígido com flanges parafusadas.

- **Acoplamento com luva de compressão ou de aperto** (Figura 23)

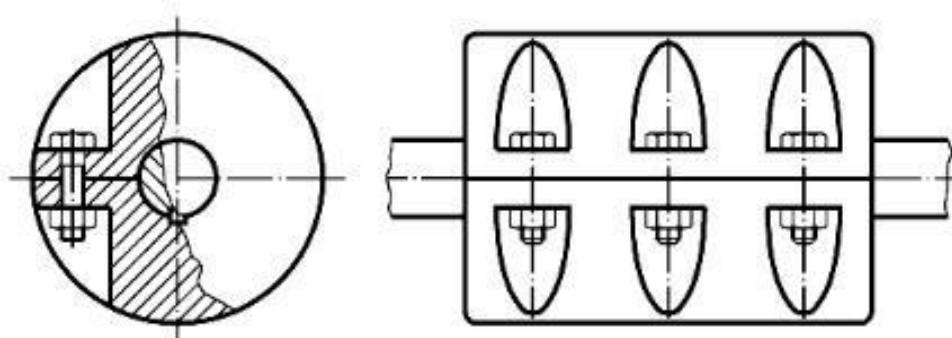


Figura 23 - Acoplamento com luva de compressão ou de aperto.

- **Acoplamento de discos ou pratos** (Figura 24).

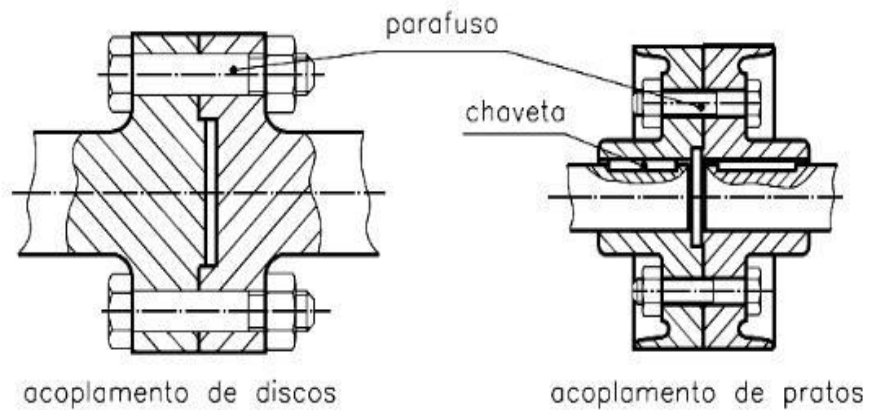


Figura 24 – Acoplamentos de discos ou pratos.

- **Acoplamento de dentes arqueados** (Figura 25).



Figura 25 – Acoplamento de dentes arqueados.

- **Junta universal homocinética** (Figura 26)



Figura 26 – Junta universal.

Acoplamentos móveis: Sua função é permitir o jogo longitudinal dos eixos-árvores. Transmitem força e movimento somente quando recebem um comando de acionamento. Os acoplamentos móveis (Figura 27) podem ser: de garras ou dentes. Geralmente, esses acoplamentos são usados em aventais e caixas de engrenagens de máquinas-ferramenta convencionais (Barbosa).

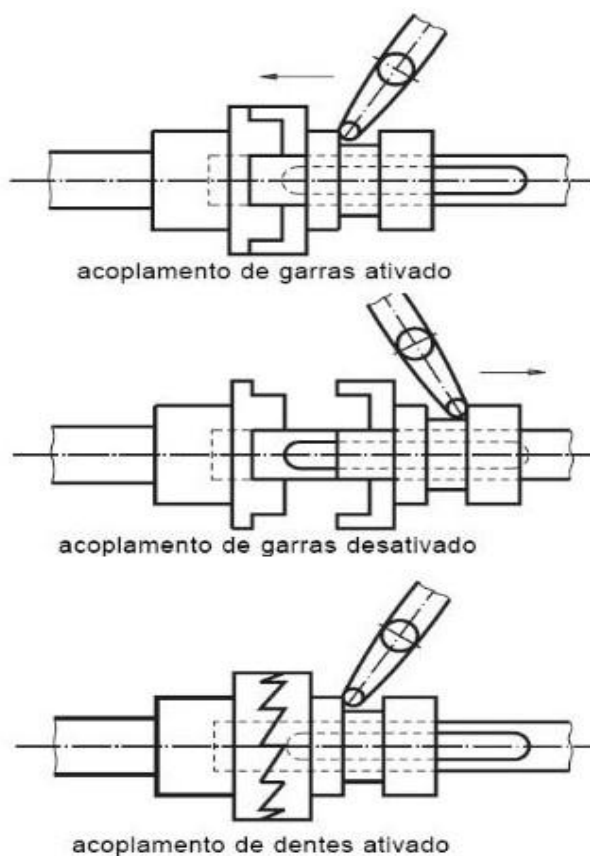


Figura 27 – Modelos de acoplamentos móveis.

3.6. Sistemas de transmissão de movimento

- **Barra Roscada**

As barras roscadas (Figura 28) são importantes elementos de fixação e união, podendo realizar montagens dos mais variados equipamentos. Utilizadas em diversos segmentos como mecânica, hidráulica, construção civil, montagens industriais entre outras (Ergoman).



Figura 28 – Modelo de barra roscada.

Vantagens da barra roscada

A barra roscada foi escolhida para ser utilizada neste projeto devido as seguintes vantagens:

- ✓ Baixo Custo;
- ✓ Boa repetibilidade;
- ✓ Fácil de ser usinada;
- ✓ Facilidade de montagem.

• Guia Linear

As Guias Lineares de esferas (Figura 29) são projetadas com capacidade de carga e rigidez superiores a outros produtos similares. Uma de suas características é dimensionar a carga igualmente nas direções radial, radial inversa e lateral, e de auto alinhamento, para absorver erros de instalação. Assim, podem alcançar uma vida longa com alta velocidade, alta precisão e suave movimento linear (Wgb automação).

Características da guia linear de esferas:

- ✓ Capacidade de auto alinhamento;
- ✓ Intercambialidade;
- ✓ Alta rigidez em todas as quatro direções.



Figura 29 – Modelo de guia linear.

- **Fuso de Esferas**

O fuso de esferas (Figura 30) é um sistema de acionamento de alta eficiência, no qual a esfera realiza um movimento helicoidal entre o eixo do fuso e a castanha com baixo atrito. Comparado com fuso trapezoidal ou rosca quadrada convencional, esse produto necessita de um terço do torque de transmissão necessário, tornando-o mais adequado para economizar a energia de acionamento. Converte energia de rotação (normalmente gerada através de um motor de passo, motor AC, Servomotor, dentre outros) em um movimento linear. Possuem a capacidade de aplicar ou suportar grandes esforços com baixo atrito. Eles são feitos com tolerâncias pequenas e são, portanto, adequados para uso em situações em que a alta precisão é necessária (Wgb Automação).



Figura 30 – Modelo de fuso de esferas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

Para a construção deste projeto, foram utilizados os seguintes materiais, sendo todas as unidades em milímetros: Perfil de alumínio de 80 x 40 x 1000, quatro insertos roscados de rosca externa M16 e interna M6, três placas de alumínio de 85 x 45 x 12, uma placa de aço 1020 de 85 x 85 x 12, quatro placas de alumínio de 80 x 10 x 10, 14 parafusos allen de cabeça escareada M6 x 20, quatro parafusos allen de cabeça escareada M4 x 20, quatro parafusos allen de cabeça cilíndrica M4 x 20, dois parafusos allen de cabeça cilíndrica M3 x 10, um cilindro de aço 1020 de 15 x 150, dois rolamentos axiais de esferas de medidas 24 x 12 x 10, uma barra roscada de diâmetro 1/2" x 1000, um motor de passo, uma placa micro controladora arduino, dois sensores de fim de curso, um acoplamento elástico, uma porca adaptada e uma caixa de policarbonato.

4.2. Métodos

4.2.1. Usinagem das peças

Os procedimentos utilizados para montagem do conjunto estão descritos abaixo, todas as unidades de medida apresentadas são em milímetros.

Mancal inferior

Foi fabricada em alumínio, com medidas externas de 80 x 40 x 10. Em seguida foram feitos chanfros de 0,5 mm nos cantos vivos de todas as extremidades da peça. A cavidade central possui um diâmetro de 24 mm, porém esta medida pode variar dependendo do diâmetro externo do rolamento selecionado. Por se tratar do mancal inferior, a cavidade não é passante, e sua medida de profundidade é de 2 mm. Quatro furos foram usinados para passagem dos parafusos conforme desenho técnico demonstrado na Figura 31. A distância de centros dos furos pode variar dependendo do perfil de alumínio escolhido. O rebaixo para alojamento da cabeça do parafuso foi ser feito com um rebaixador de 10 mm de diâmetro.

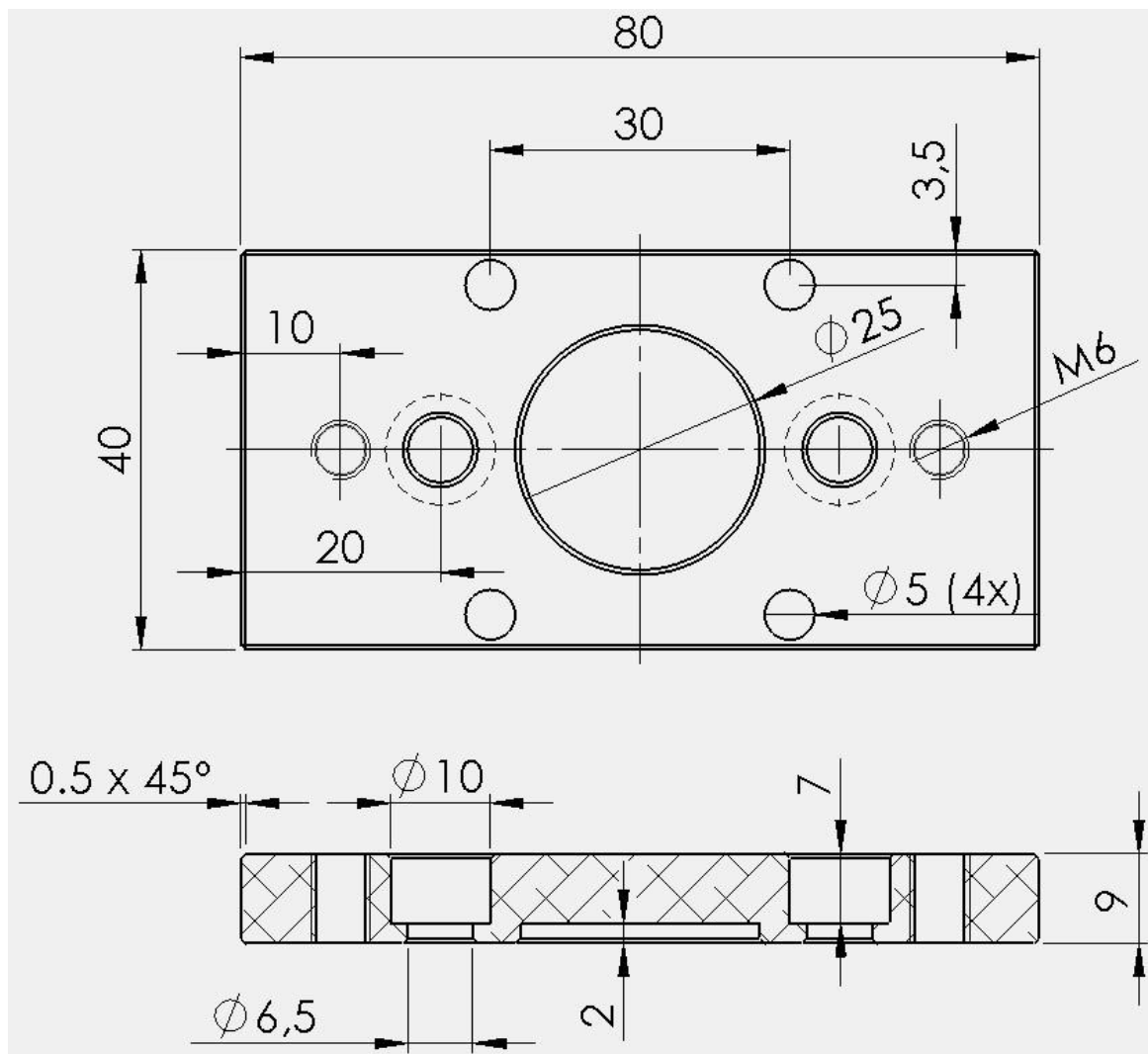


Figura 31 - Desenho técnico do mancal inferior.

Mancal Superior

Foi fabricada com medidas externas de 80 x 40 x 10. Em seguida foram feitos chanfros de 0,5 mm nos cantos vivos de todas as extremidades da peça. A cavidade central possui diâmetro de 24 mm, semelhante ao mancal inferior, porém neste caso ela possui um furo passante para permitir a passagem da barra roscada, fabricado com um diâmetro de 11 mm. Esta peça possui seis furos para passagem de parafusos, sendo dois na face superior e quatro na inferior. Os dois da face superior têm função de fixá-la junto ao perfil de alumínio, e os quatro da face inferior têm o objetivo de fixar as colunas. As coordenadas para usinagem dos furos estão demonstradas no desenho ilustrado na Figura 32. Ambos os furos tem alojamento para cabeça do parafuso fabricado com um rebaixador 10 mm de diâmetro.

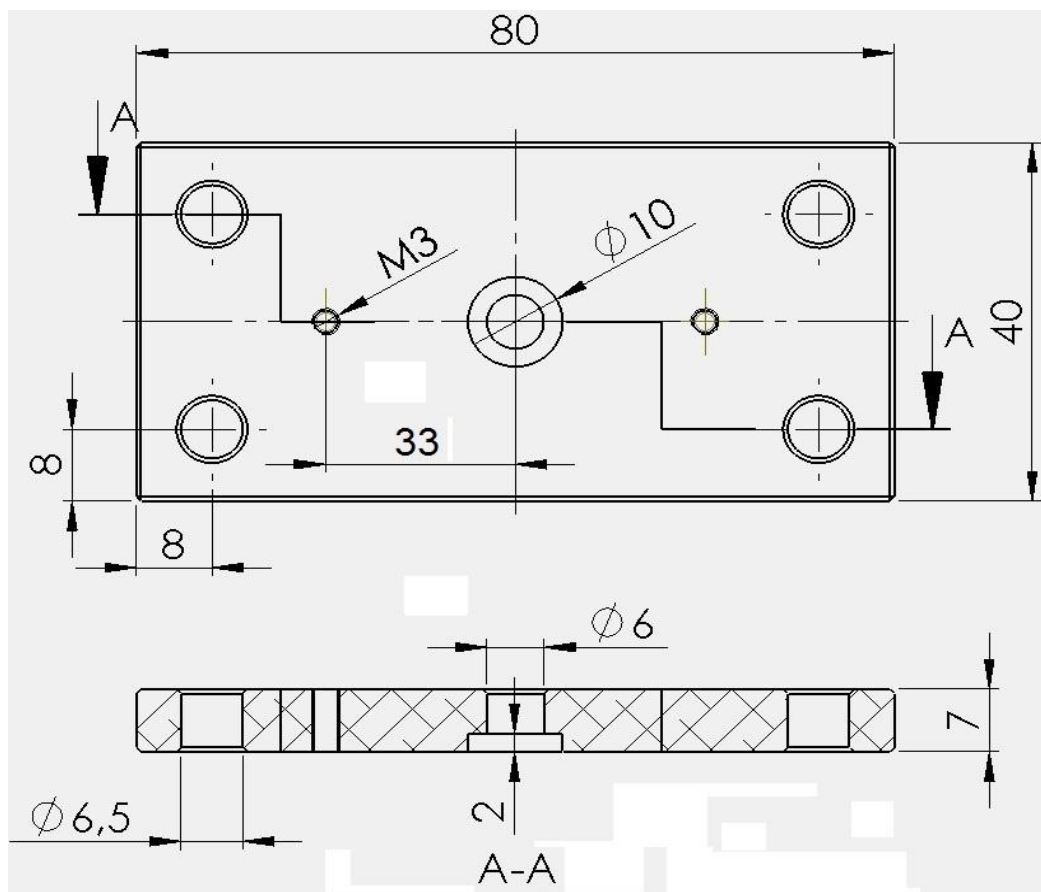


Figura 33 - Desenho técnico da placa de suporte ao motor de passo.

Colunas

Fabricadas em aço 1020. Primeiramente foi torneada no diâmetro de 10 mm. Logo após, foram feitos chanfros de 0,5 mm x 45° para quebra de canto vivo. Foi usada uma broca de 4,2 mm para fazer um furo no centro passante. Foi aberta uma rosca com macho M5 no torno no furo central. Foi utilizado um bedame para cortar a peça em um comprimento maior do que 25 mm (medida que pode variar de acordo com o comprimento do acoplamento elástico). A peça foi faceada até 25 mm de comprimento conforme especificado no desenho ilustrado na Figura 34.

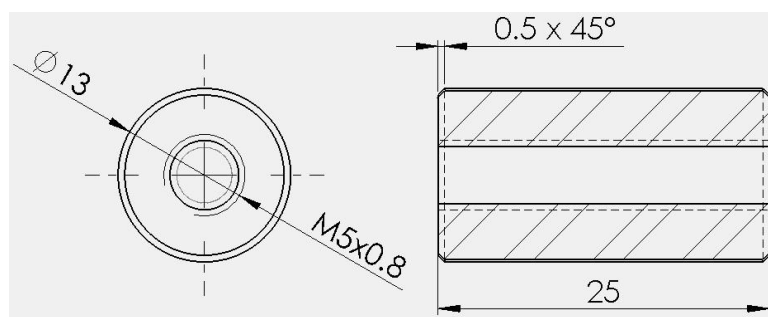


Figura 34 - Desenho técnico da coluna.

Base

A placa base foi usinada nas medidas de 105 x 60 x 10. Logo em seguida foram feitos os chanfros de 0.5 x 45°, conforme Figura 35. Foram feitos dois furos cuja função é servir de alojamento para os parafusos que a fixam junto ao mancal inferior e mais quatro que servem para alojar os parafusos que fixam as guias lineares. Foram usados dois rebaixadores, um de diâmetro de 10 mm e outro com 8 mm, com profundidade de 7 mm para alojar a cabeça dos parafusos. Foram acrescentados dois furos de 8 mm de diâmetro, que tem a função de permitir a passagem da chave allen, para que o conjunto seja desmontado com mais facilidade

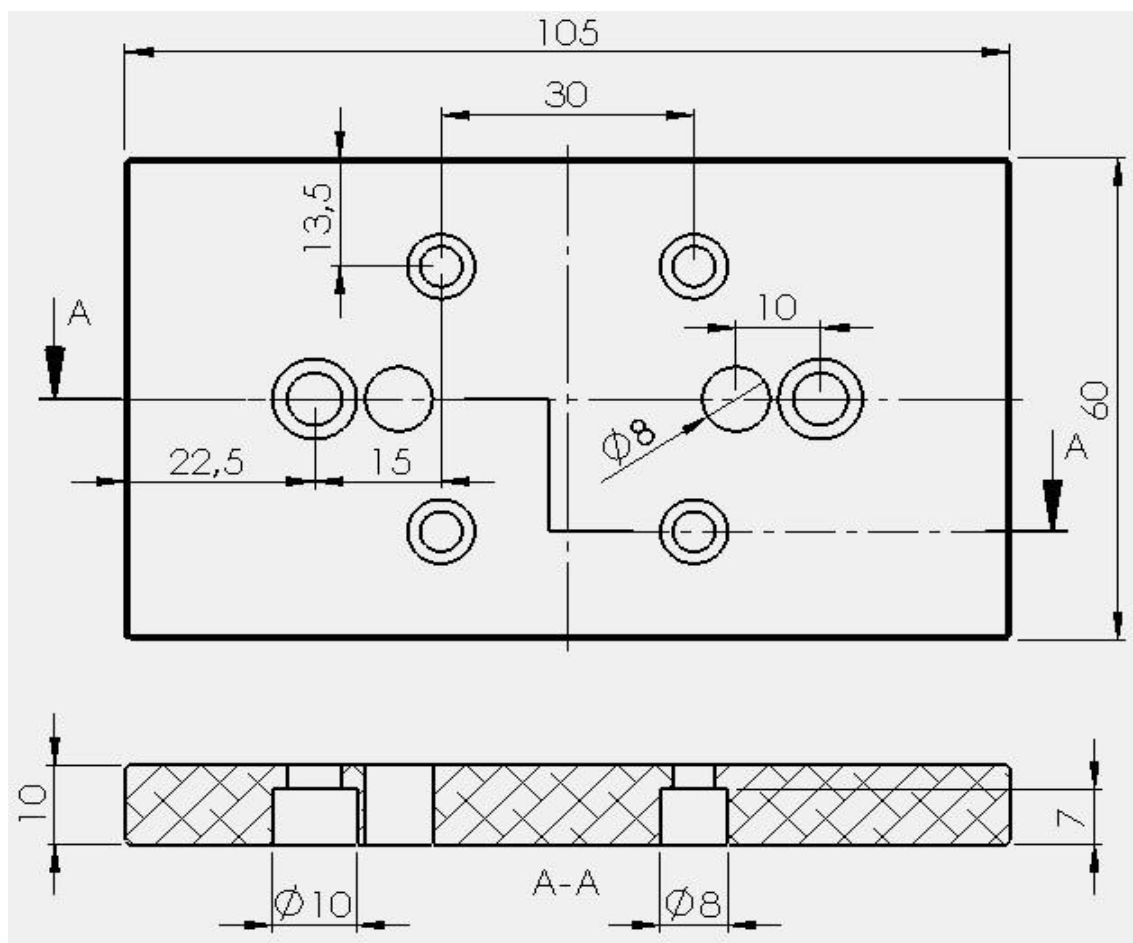


Figura 35 - Placa base.

Barra Roscada

A barra roscada necessitou de uma pequena adaptação para ser inserida junto aos rolamentos. Uma de suas extremidades foi torneada com o diâmetro de 10 mm e comprimento de 9 mm conforme Figura 36.

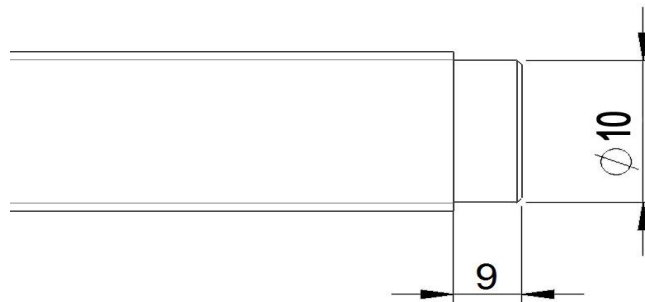


Figura 36 - Parte inferior da barra rosca

A outra extremidade foi torneada em dois rebaixos, um com diâmetro de 10 mm por 9 mm de comprimento e outro com 8 mm de diâmetro por 16 mm de comprimento conforme desenho ilustrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

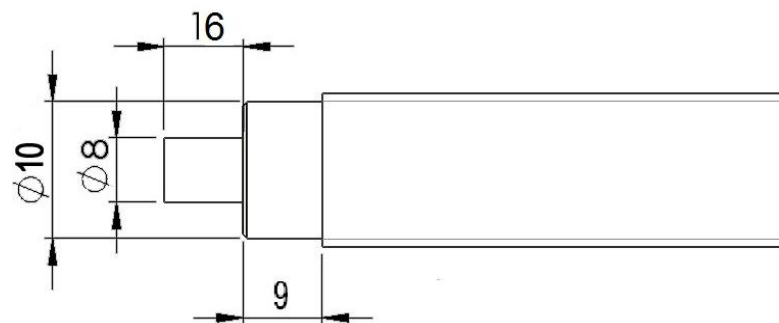


Figura 37 - Parte superior da barra rosca

Guias laterais

As guias laterais foram fabricadas em alumínio nas medidas de 80 x 7 x 7. Foram abertos dois furos roscados de medida M4 passantes e feitos chanfros para quebra de canto vivo, conforme desenho especificado na figura 38.

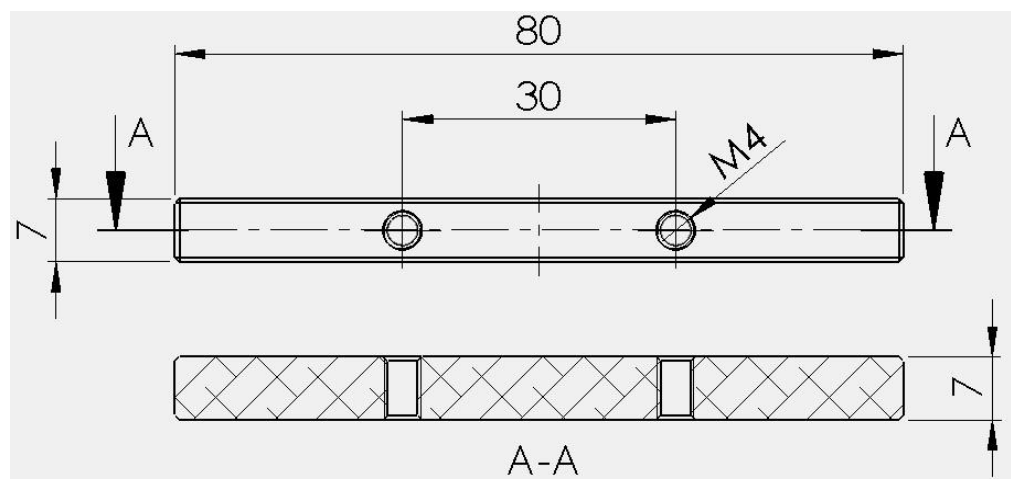


Figura 38 – Guias Laterais.

Porca adaptada

A carga que é elevada no conjunto foi adaptada em uma porca (Figura 39) semelhante a está, que pode ser fabricada ou comprada.

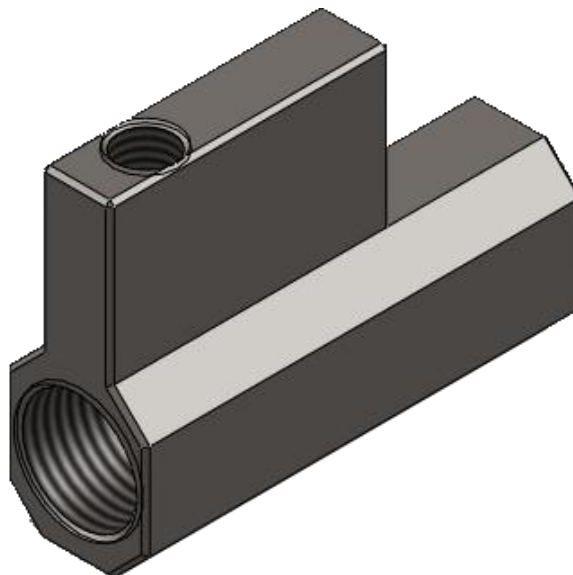


Figura 39 - Porca adaptada.

4.2.2. Montagem mecânica do conjunto

A montagem mecânica do conjunto foi dividida em duas partes: montagem inferior e montagem superior.

Montagem inferior

Primeiramente foi aberta uma rosca M16 nos furos do perfil de alumínio para inserir os insertos roscados. Após a colocação dos insertos, foi montado o rolamento no mancal inferior. Com o rolamento montado, foi parafusado mancal e inseridas as guias lineares na parte inferior do perfil de alumínio. Foi inserida a placa base para sustentar o conjunto quando o mesmo estiver na posição vertical. As guias lineares foram parafusadas após a colocação da placa base.

Montagem superior

A barra roscada foi centralizada tomando por base o rolamento inferior, já com a porca inserida. Foram colocados os insertos roscados nos furos do perfil e montado o rolamento no mancal superior. Foram parafusadas as colunas no mancal e em seguida foram parafusadas as guias laterais. O mancal foi então fixado junto

ao perfil de alumínio e então montou-se acoplamento elástico centralizando assim a barra roscada. A placa de suporte ao motor foi fixada junto às colunas e logo na sequência foi parafusado o motor de passo, acoplando seu eixo no acoplamento elástico, finalizando a montagem mecânica do conjunto, conforme Figura 40.



Figura 40 – Montagem mecânica do conjunto.

4.2.3. Montagem da parte eletrônica

Após o término da montagem do conjunto, o motor de passo e a placa Arduino foram conectados a um protoboard. Foi instalada uma caixinha de policarbonato de 200 mm x 150 mm x 100 mm para hospedar os componentes eletrônicos conforme Figura 41. Foram usadas também duas botoeiras, que quando acionadas, tem função de ativar as funções de subir ou descer a porca. Foram instalados dois sensores de fim de curso para preservar o motor de passo contra um possível travamento quando a porca chegasse até o limite do perfil de alumínio.

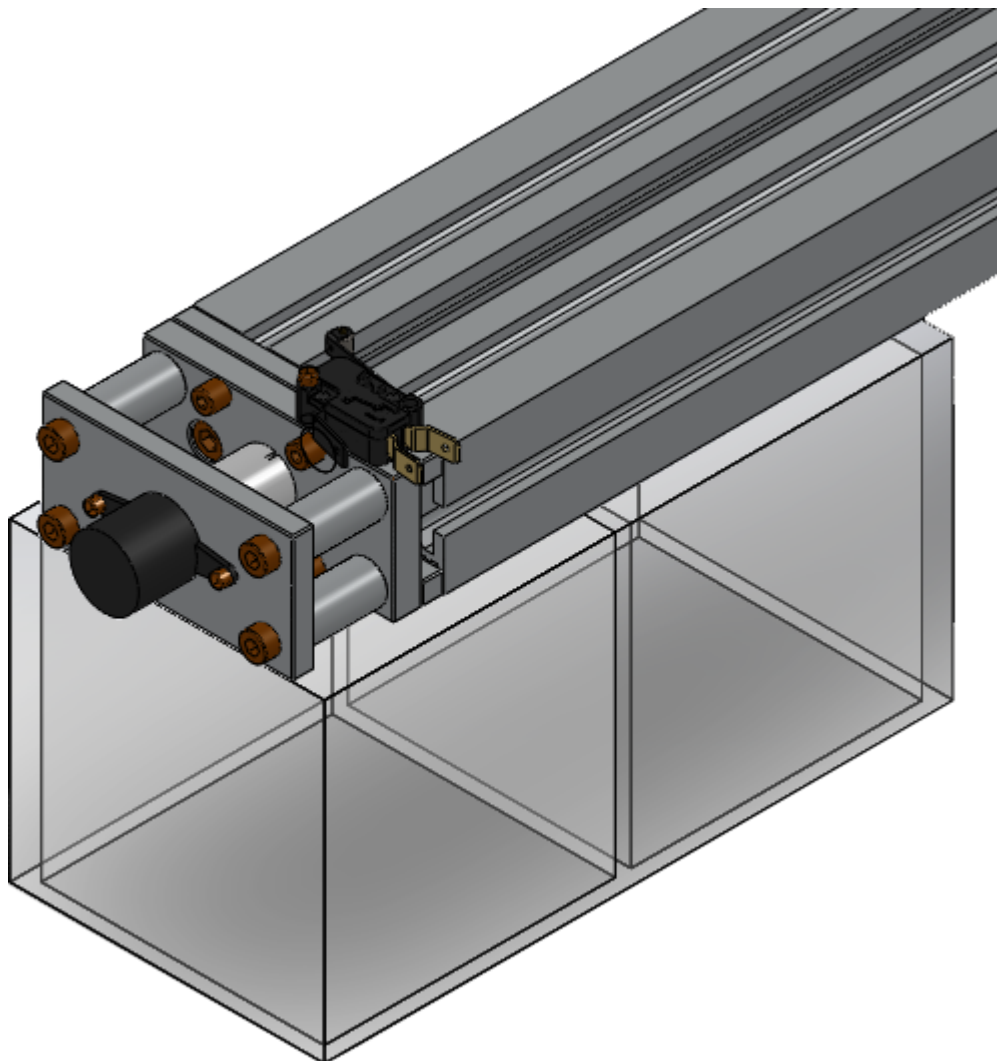


Figura 41- Montagem eletrônica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realização dos testes foi necessário elaborar um cálculo que expressasse a relação entre o eixo do motor de passo e a barra roscada. Essa relação foi descrita abaixo:

Diâmetro do eixo do motor = $1/4'' = 6.35 \text{ mm}$

Passo do motor = $7,5^\circ$

Sendo o passo do motor $7,5^\circ$, foi feito um cálculo para descobrir quantos passos seriam necessários para que o eixo do motor realizasse uma volta completa:

$$\frac{360}{7.5} = 48 \text{ passos}$$

Foi calculado também o passo da barra roscada através dos seguintes dados:

Diâmetro da barra: 1/2"

Passo: 20F por polegada

$$\frac{25.4}{20} = 1,27 \text{ mm}$$

Sendo o passo da barra 1,27 mm, e sabendo que são necessários 48 passos no motor para dar uma volta completa, tem-se a seguinte relação matemática para se calcular a distância percorrida pela carga:

$$\frac{1,27}{Dx} = \frac{48 \text{ passos do motor}}{X \text{ passos}}$$

Dx = Distância percorrida pela porca

Capacidade máxima de carga

Sendo o torque do motor igual a 304 gf/cm, foi usada a seguinte fórmula para descobrir a capacidade máxima de carga do sistema.

$$T = F.S$$

T= Momento ou torque

F= Força

S= Distância

Foi necessário converter o torque para gf/mm, então 304 gf/cm × 10 = 3004 gf/mm. Logo após o valor foi convertido para kgf/mm, então 3004 gf/mm / 1000 = 3,004 kgf / mm.

O ponto de partida da porca para elevar a carga é de 85 mm a partir da base. Este valor foi convertido de milímetro para metro, então 85 mm / 1000 = 0,085 m. A fórmula para se descobrir a capacidade máxima de carga no sistema ficou da seguinte maneira:

$$3,004 = F \times 0,085$$

$$F = \frac{3,004}{0,085}$$

$$F = 35,34 \text{ N}$$

Sabe-se que $F = m \times a$, em que m = massa e a = aceleração da gravidade. A fórmula então ficou da seguinte maneira:

$$35,34 = m \times 9,81$$

$$m = \frac{35,34}{9,81}$$

$$M_{\max} = 3,6 \text{ kg}$$

6. CONCLUSÃO

Após o término da montagem o conjunto, o mesmo foi testado em uma base plana, para evitar oscilações durante seu funcionamento, para não resultar em queda no sistema.

Durante o giro do motor, a porca percorreu um curso de livre de aproximadamente 900 mm, sendo interrompido seu movimento quando a mesma encostava-se a um dos dois sensores de fim de curso instalados, paralisando assim o funcionamento do motor de passo. Este sistema de segurança tem por finalidade impedir que o motor de passo continue girando após a porca chegar a seu limite de curso, o que causaria danos ao motor, podendo até queimá-lo. Este sistema funcionou com sucesso. O sistema de botoeiras acionou corretamente o funcionamento do motor.

O projeto provou que um sistema automatizado é capaz de proporcionar inúmeras vantagens, tanto para a indústria como para os operadores, principalmente no que diz respeito ao ganho de segurança, tempo e lucratividade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Revista ÉPOCA. “Consequências da revolução industrial” . Acesso em 29 de 03 de 2014, disponível em <http://epoca.globo.com/vida/vida-util/carreira/noticia/2014/03/bprofissoesb-condenadas-desaparecer-e-que-resistiraonovas-tecnologias.html>

Tavares, J. M. “Conceito de CNC” . Acesso em 3 de 04 de 2014, disponível em http://paginas.fe.up.pt/~tavares/ensino/CFAC/Downloads/Apontamentos/cnc%20I_p.pdf

- YIMG. "Sistemas de movimentação de carga". Acesso em 03 de 04 de 2014, disponível em
<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CDcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fxa.yimg.com%2Fkq%2Fgroups%2F23916595%2F650745412%2Fname%2FArmazenagem%2B-%2B6%25C2%25BA%2BT%25C3%25B3pico%2B-%2BEquipamentos%2Bpara%2Bmoviment>
- UFMS . "Introdução ao Arduino". Acesso em 10 de 03 de 2014, disponível em
http://destacom.ufms.br/mediawiki/images/9/9f/Arduino_Destacom.pdf
- UTFPR. "Introdução a Mancais e rolamentos". Acesso em 17 de 03 de 2014, disponível em
 pessoal.utfpr.edu.br:
<http://pessoal.utfpr.edu.br/mariano/arquivos/19manu.pdf>
- NTN. "Tipos de rolamentos". Acesso em 24 de 03 de 2014, disponível em
<http://www.ntn.com.br/pdfServicos/indiceA2/indiceA2.pdf>
- Irusa. "Configuração de montagens de rolamentos". Acesso em 29 de 03 de 2014, disponível em
<http://www.irusa.com.br/catalogos/FAG/Cat%E1logo%20Geral%20FAG.pdf>
- IFBA. "Motor de indução trifásico" . Acesso em 20 de 03 de 2014, disponível em
<http://www.ifba.edu.br/professores/castro/MIT.pdf>
- UFMG. "Motor de CC" . Acesso em 14 de 03 de 2014, disponível em
<http://www.cpdee.ufmg.br/>
http://www.cpdee.ufmg.br/~gbarbosa/Disciplina%20de%20M%E1quinas%20El%E9tricas/Disciplinade%20M%C3%A1quinas%20El%C3%A9tricas/motor_cc.pdf
- Unesp. "Servomotor" . Acesso em 14 de 03 de 2014, disponível em
 www.feis.unesp.br:
<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/aula-4---servo-motor-13-03-2013-final.pdf>
- Queiroz, R. A. "Motor de passo". Acesso em 10 de 03 de 2014, disponível em
http://www.zaplocadora.com.br/upload/produtos/arquivos/motor_20139910138.pdf
- Estrutural. "Perfil de alumínio" . Acesso em 10 de 03 de 2014, disponível em
<http://www.estrutural-ind.com/>
- Barbosa, P. J. "Sistemas de acoplamento" . Acesso em 20 de 03 de 2014, disponível em
[ftp://ftp.sm.ifes.edu.br/professores/joaopb/Elementos%20de%20Maquinas%20I/Aula_08%20-%20Modos%20de%20transmiss%E3o%20\(Acoplamentos\).pdf](ftp://ftp.sm.ifes.edu.br/professores/joaopb/Elementos%20de%20Maquinas%20I/Aula_08%20-%20Modos%20de%20transmiss%E3o%20(Acoplamentos).pdf)

Ergoman. “Barra roscada”. Acesso em 13 de 03 de 2014, disponível em [/www.ergoman.com.br](http://www.ergoman.com.br):
<http://www.ergoman.com.br/produtos.php?pagina=2&subgrupo=60&grupo=15&tipo=N%E3o>

Wgb automação. “Guias Lineares”. Acesso em 12 de 03 de 2014, disponível em www.wgbautomacao.com.br: <http://www.wgbautomacao.com.br/guias-lineares>

Wgb Automação. “Fuso de esfera”. Acesso em 12 de 03 de 2014, disponível em www.wgbautomacao.com.br: <http://www.wgbautomacao.com.br/fusos-de-esferas>

ANEXOS

Anexo 1 – Programação do circuito

```
// Programa para comandar um Motor de Passo no Sentido Horário e Anti-Horário
// Comandado por 2 Botoeiras, 2 Fins de Cursos e acionando 2 LEDS

// Inclusão da Biblioteca do Motor de Passo do Arduino
#include <Stepper.h>

const int stepsPerRevolution = 48; // número de passos por revolução do motor

// Pinos para Polarização do Motor
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 10,11,12,13);

// set pin - Constantes
const int buttonPinVer = 2; // Pino da botoeira Vermelha
const int ledPinVer = 8; // Pino do LED Vermelho

const int buttonPinAm = 1; // Pino da botoeira Amarela
const int ledPinAm = 0; // Pino do LED Amarelo

const int fcSupPin = 7; // Pino do Fim de Curso Superior;
const int fcInfPin = 9; // Pino do Fim de Curso Inferior;

// variáveis
int buttonVerState = 0; // variável para leitura do Estado da Botoeira Vermelha
int buttonAmState = 0; // variável para leitura do Estado da Botoeira Amarela

int fcSup = 0; // variável para leitura do Estado do Fim de Curso Superior
int fcInf = 0; // variável para leitura do Estado do Fim de Curso Inferior

//Parâmetros de Inicialização - Setup
void setup() {

    myStepper.setSpeed(200); // Set da velocidade;

    // Declarando os pinos dos LEDs como Saída
    pinMode(ledPinVer, OUTPUT);
    pinMode(ledPinAm, OUTPUT);

    // Declarando os pinos das Botoeiras e Fins de Curso como Entrada
    pinMode(buttonPinVer, INPUT);
    pinMode(buttonPinAm, INPUT);

    pinMode(fcSupPin, INPUT);
```

```

    pinMode(fcInfPin, INPUT);
}

// Bloco de Monitoramento
void loop(){
    // Leitura dos Estados das Botoeiras e Fins de Curso
    buttonVerState = digitalRead(buttonPinVer);
    buttonAmState = digitalRead(buttonPinAm);

    fcSup = digitalRead(fcSupPin);
    fcInf = digitalRead(fcInfPin);

    // Lógica Booleana da Botoeira com o fim de Curso.
    // HIGH quando acionado – LOW quando em Repouso

    // Se a Botoeira Vermelha for Acionada (HIGH) E (&&) o Fim de Curso Superior
    estiver
    // em repouso (LOW) – Acende o LED correspondente e liga o motor no
    // sentido anti-horário

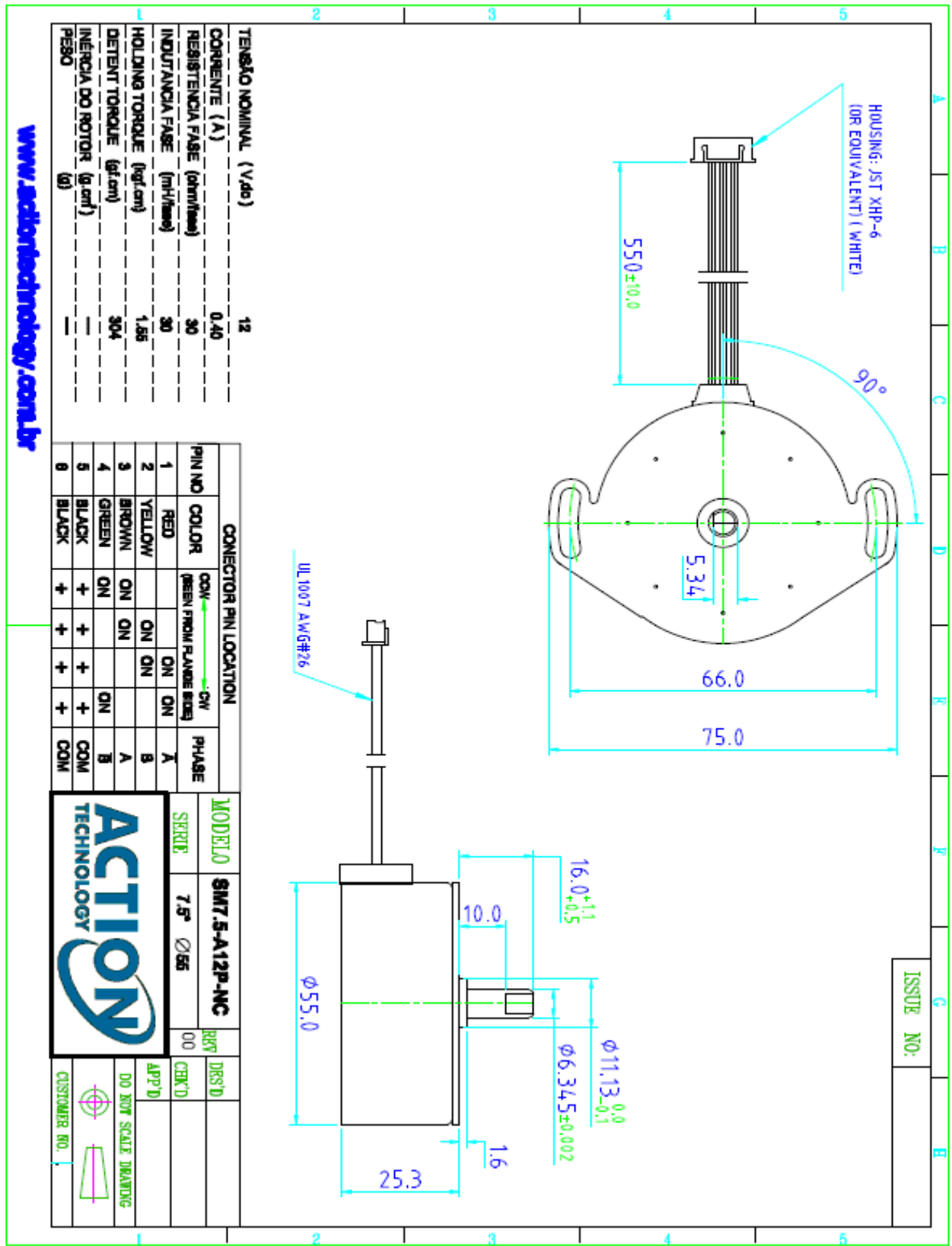
    if (buttonVerState == HIGH && fcSup == LOW) {
        // Acende o LED
        digitalWrite(ledPinVer, HIGH);
        myStepper.step(-48); // Liga o Motor
    }
    else {
        // Desliga o LED
        digitalWrite(ledPinVer, LOW);
    }

    // Se a Botoeira Amarela for Acionada (HIGH) E (&&) o Fim de Curso Inferior estiver
    // em repouso (LOW) – Acende o LED correspondente e liga o motor no
    // sentido horário

    if (buttonAmState == HIGH && fcInf == LOW) {
        // Acende o LED
        digitalWrite(ledPinAm, HIGH);
        myStepper.step(48); // Liga o Motor
    }
    else {
        // Desliga o LED
        digitalWrite(ledPinAm, LOW);
    }
}

```

Anexo 2 – Desenho do motor de passo utilizado



Anexo 3 – Placa de interface utilizada

