

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE SANTA CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS DEPARTAMENTO
ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA CURSO DE ENGENHARIA
MECATRÔNICA**

GUSTAVO FERNANDES COSTA

**PROPOSTA CONCEITUAL DE UM PROTÓTIPO LANÇADOR DE
BOLAS DE TÊNIS DE MESA**

FLORIANÓPOLIS, FEVEREIRO/2021

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

GUSTAVO FERNANDES COSTA

PROJETO E SIMULAÇÃO DE LANÇADOR DE BOLAS DE TÊNIS DE MESA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica

Professor orientador: Adriano Regis

**FLORIANÓPOLIS, NOVEMBRO/2020
FICHA DE IDENTIFICAÇÃO**

FICHA DE IDENTIFICAÇÃO



**ATA DA BANCA FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA
MECATRÔNICA DO INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA – Nº 0076**

Aos 06 de abril de 2021, às 10h, o estudante **Gustavo Fernandes Costa** apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para julgamento à Banca Examinadora constituída pelos seguintes integrantes: Prof. Adriano Regis, Me.(Orientador/Presidente da Banca/IF-SC), Prof. Raimundo Ricardo Matos da Cunha, Dr. (IFSC) e Prof. Jean Paulo Rodrigues, Dr. (IFSC). A sessão pública de defesa foi aberta pelo Presidente da Banca, que apresentou a Banca Examinadora e deu continuidade aos trabalhos, fazendo uma breve referência ao TCC que tem como título **Projeto e simulação de lançador de bolas de tênis de mesa**. Na sequência, o estudante teve até 30 minutos para a exposição de seu trabalho, e cada integrante da Banca Examinadora fez a arguição após a apresentação dele. Finalmente, foi aberto um espaço aos presentes para eventuais perguntas ou comentários sobre o trabalho apresentado. Ouvidas as explicações do estudante, a Banca Examinadora, reunida em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberou pelo conceito **sete**. Foi dada ciência ao estudante que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o dia **06/05/2021**, com as devidas alterações sugeridas pela banca. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às 12h 05min, dela sendo lavrada a presente ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo estudante.

Documento assinado digitalmente

gov.br Adriano Regis
Data: 22/04/2021 18:20:21-0300
CPF: 039.297.539-44

Prof. Orientador / Presidente: Adriano Regis

Documento assinado digitalmente

gov.br Raimundo Ricardo Matos da Cunha
Data: 22/04/2021 21:50:12-0300
CPF: 461.420.533-04

Prof. Avaliador 1: Raimundo Ricardo Matos da Cunha

Documento assinado digitalmente

gov.br Jean Paulo Rodrigues
Data: 23/04/2021 18:10:00-0300
CPF: 000.233.339-28

Prof. Avaliador 2: Jean Paulo Rodrigues

Acadêmico: Gustavo Fernandes Costa

Dedico esse trabalho a todos aqueles que,
Mandaram o passinho junto comigo.

AGRADECIMENTOS

Esse é o término de mais um passo em minha jornada de aprendizado, o qual tive a oportunidade de percorrer numa instituição que me ensinou muito no âmbito pessoal e profissional. Fazer esse trabalho me permitiu unir a engenharia e o tênis de mesa, duas coisas que amo muito.

Gostaria de agradecer aos meus pais, Anselmo e Roseli pela constante força durante toda a trajetória do meu curso e pelo amor incondicional em todos esses anos.

Gostaria de agradecer também aos professores do IFSC que me passaram o seu conhecimento não só técnico, mas também pessoal e de vivência com muita dedicação e paciência.

Um agradecimento especial à Shirlei da assistência estudantil, que me deu todo o apoio para passar as fases iniciais do curso.

À Ana, que me resgatou nos primeiros dias de aula.

Por último ao professor Adriano, que mesmo numa situação pandêmica se dispôs a me orientar de forma direta, assertiva e compreensiva.

Agradeço muito a todos vocês pela força e parceria.

A alegria que se tem em pensar e aprender,
faz-nos pensar e aprender ainda mais.

(Aristóteles)

RESUMO

Em razão da carência de lançadores de bolas de tênis de mesa no mercado brasileiro e buscando aumentar o acesso dos atletas a essa tecnologia, foi proposto o desenvolvimento em CAD de um produto de baixo custo para atender a este nicho. Através do estudo de mercado e benchmark dos produtos vendidos atualmente, optou-se por implementar as funcionalidades para a prática das técnicas e fundamentos básicos do esporte. Um mecanismo de lançamento por atrito foi desenvolvido para que a bola saia girando com topspin e backspin simulando um golpe realizado pelo adversário. Para alternar a posição de lançamento da bola, foi implementado um mecanismo biela-manivela para mover de forma cíclica a posição do cabeçote de lançamento, para permitir ao atleta treinar simultaneamente o jogo de pernas, forehand e backhand. O mecanismo de lançamento por atrito foi validado em teste real e o protótipo em CAD foi simulado no formato de animação do Solidworks, obtendo resultados satisfatórios a nível de simulação. O sistema de lançamento em posições alternadas e a possibilidade de lançar a bola com topspin ou backspin permite ao atleta treinar todos os principais fundamentos do esporte com um equipamento de baixo custo.

Palavras-chave: Tênis de mesa, CAD, Robô.

Abstract

Since table tennis ball launchers are scarce in the Brazilian market and looking forward to increase athlete's access to this technology, a CAD development project for a low-cost product to be inserted in this niche. Throughout market benchmark evaluation of the current products, it was opted to implement the functionalities for the practice and training of the basic fundamentals of table tennis. An attrition-based mechanism was developed so that the ball is extracted with topspin and backspin as to simulate an opponent's stroke. To alternate the ball placement, a rod-crank system was coupled to the launcher's head, so that it moves between each ball launched, thus allowing the athlete to train footwork, forehand and backhand simultaneously. The attrition-based mechanism was validated in a real-life test and the CAD prototype was simulated as an animation inside Solidworks obtaining satisfactory results in simulation level. The alternate ball placement system and the possibility to practice against topspin and backspin allows the athlete to practice all the basic skills of the sport with a low-cost equipment.

Keywords: Table tennis, CAD, Robot.

Sumário

1	11
1.1	14
1.2	15
1.2.1	15
1.2.2	15
2	15
2.1	16
2.1.1	16
2.1.2	17
2.2	18
3	19
3.1	20
3.2	23
4	24
4.1	24
4.2	25
4.3	26
4.4	26
4.5	26
4.6	27
4.7	28
4.8	30
5	31
6	32

1 INTRODUÇÃO

Assim como outros esportes, o tênis de mesa começou como uma simples diversão social. Era provavelmente jogado com equipamento improvisado na Inglaterra, durante o final do século 19. Embora o tênis de mesa tenha evoluído juntamente com o badminton e o 'tênis de quintal', o jogo foi de fato desenvolvido após o 'tênis de quintal' ter se tornado popular nos anos 1880 (ITTF, 2021)

Figura 1 - Primeiro retrato conhecido do jogo de tênis sobre a mesa



Fonte: Site oficial da ITTF

O jogo passou então por uma série de modificações, uma versão intermediária entre o mais primitivo e o que conhecemos hoje foi inventada pelo famoso criador de jogos Jaques of London em 1891, o jogo era chamado GOSSIMA (Figura 2), tinha uma grande rede no centro da superfície de jogo, 2 raquetes semelhantes às de badminton e uma bola de cortiça (ITTF, 2021).

Figura 2 - Um dos dois jogos GOSSIMA que restaram no museu da ITTF



Fonte: Site oficial da ITTF

Atualmente o jogo de tênis de mesa possui relevância internacional, é um esporte olímpico mundialmente praticado por cerca de 300 milhões de pessoas, sendo dessas, 200 milhões apenas na China. A grande popularização do esporte em clubes de recreação, escolas e casas é tida como a responsável por esse número. Na Figura 3, temos a imagem de um campeonato internacional recente de tênis de mesa (PLEDGE SPORTS, 2018).

Figura 3 - Partida recente de tênis de mesa



Fonte: acrítica.com

No jogo moderno, a velocidade e o giro da bola são os principais fatores que ditam as ações durante a partida, para cada tipo de giro há uma ação correta a ser tomada pelo jogador para compensar por aquele giro produzido pelo golpe do adversário. A alta rotação da bola e a fricção entre a borracha da raquete e a

bola intensificam o efeito dessa rotação ao contato, forçando o jogador a ter um posicionamento preciso da raquete para manter a bola em jogo.

Ainda no escopo das técnicas, elas são compreendidas em 2 grandes grupos de movimentos: forehand (frente da mão) e backhand (costas da mão). Vale lembrar que o tênis de mesa é um esporte muito dinâmico, portanto a movimentação corporal e de pernas ocorre o tempo todo antes e depois da execução das técnicas propriamente ditas. Existem níveis básicos, intermediários e avançados de forehand e backhand para lidar com ambos topspin e backspin (*HODGES, 2006*).

Para aprender as técnicas, golpes e movimentos, o jogador iniciante precisa de um ambiente de velocidade e complexidade reduzidos, dessa forma é bastante comum a utilização de robôs, que possibilitam reproduzir a jogada do adversário de forma controlada, em baixa velocidade, de acordo com a cadência escolhida pelo usuário e com o tipo e quantidade de giro selecionados, que proporcionam de uma forma prática essas condições necessárias para aprender os movimentos básicos. Os robôs também possibilitam que o jogador treine sozinho e aprenda as técnicas na sua própria velocidade, sem a dependência de um parceiro de treino ou de um treinador.

No mercado brasileiro há um grande salto de preço entre o robô mais básico e o intermediário, criando uma barreira de entrada para os praticantes de mais baixa renda. Observando esse cenário, busca-se desenvolver um robô de treino de tênis de mesa de baixo custo, que pode ser montado pelo próprio usuário para o aprendizado e aprimoramento das técnicas básicas do esporte. A Figura 4 mostra um atleta utilizando um robô em seu treinamento, mostrando um setup típico dessa prática.

Figura 4 - Atleta treinando com robô



Fonte: en.butterfly.tt

1.1 JUSTIFICATIVA

No mercado brasileiro de robôs lançadores de bola não existe uma evolução gradativa de preço e funcionalidades nos produtos comercializados, ao passo que o modelo mais simples custa em torno de R\$280,00, o modelo logo acima deste não é encontrado por menos de R\$1000,00, ou seja, todos os passos entre esses valores estão faltantes.

Aqueles que buscam praticar com um robô têm que fazer uma escolha difícil de produtos, entre o mais reles e barato e outros que já possuem qualidade muito maior, mas um alto preço. O desenvolvimento de um produto de baixo custo e com funcionalidades a mais em relação aos robôs de entrada do mercado satisfaria esse nicho intermediário de produto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento em CAD de um protótipo funcional de lançador de bolas de tênis de mesa de baixo custo.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos temos:

- Estudar as soluções de lançadores de bolas de tênis de mesa disponíveis no mercado;
- Avaliar quais funcionalidades diferenciariam o produto de outros do mercado;
- Elaborar a documentação da montagem do produto;
- Explorar maneiras diferentes de implementar as funcionalidades desejadas;
- Realizar a modelagem de um protótipo funcional em CAD do lançador;
- Simular em software o funcionamento do produto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para entender as funcionalidades e utilidade do produto, é necessário compreender os fundamentos básicos do tênis de mesa. O projeto visa desenvolver em CAD um protótipo funcional de um lançador de baixo custo, com lançamento alternado de bolas.

O lançador contém um reservatório de bolas, que são lançadas através de um cano, de forma sequenciada, numa velocidade ditada pela rotação do motor CC acoplado numa roda de borracha e numa frequência determinada pela rotação do eixo principal do mecanismo agitador, de no máximo 60 RPM

para este projeto em específico. O lançador possui ainda um mecanismo oscilador, responsável por alternar a posição de lançamento das bolas.

2.1 FUNDAMENTOS BÁSICOS DO TÊNIS DE MESA

Os fundamentos do tênis de mesa podem ser separados em dois grandes grupos: Forehand e backhand, em cada execução de técnica durante a prática do esporte, de alguma forma o atleta utilizará alguma forma desses fundamentos (HODGES, 2006), nas subseções abaixo há uma descrição melhor de cada um deles.

2.1.1 FOREHAND

A técnica de forehand consiste em todos os movimentos onde o atleta utiliza o lado interno ou palma da mão, é o principal fundamento do jogo para a maioria dos atletas e 80% dos pontos são marcados utilizando golpes de forehand. Ainda dentro do forehand, destaca-se o forehand topspin, conhecido também como drive, que pode ser aplicado tanto contra topspin quanto contra backspin (LTT07... 2012). A Figura 5 mostra a sequência de movimentos para a execução do forehand topspin por um atleta profissional:

Figura 5 – Sequência de movimentos na execução do forehand topspin



Fonte: Autoria própria

Ainda segundo Clarke (LTT07... 2012)., destaca-se que essa técnica é executada quando a bola está à direita do jogador destro, o objetivo é produzir, através do atrito entre a borracha da raquete e a bola giro o suficiente para que a bola ganhe o máximo de velocidade e ainda assim toque a mesa do adversário.

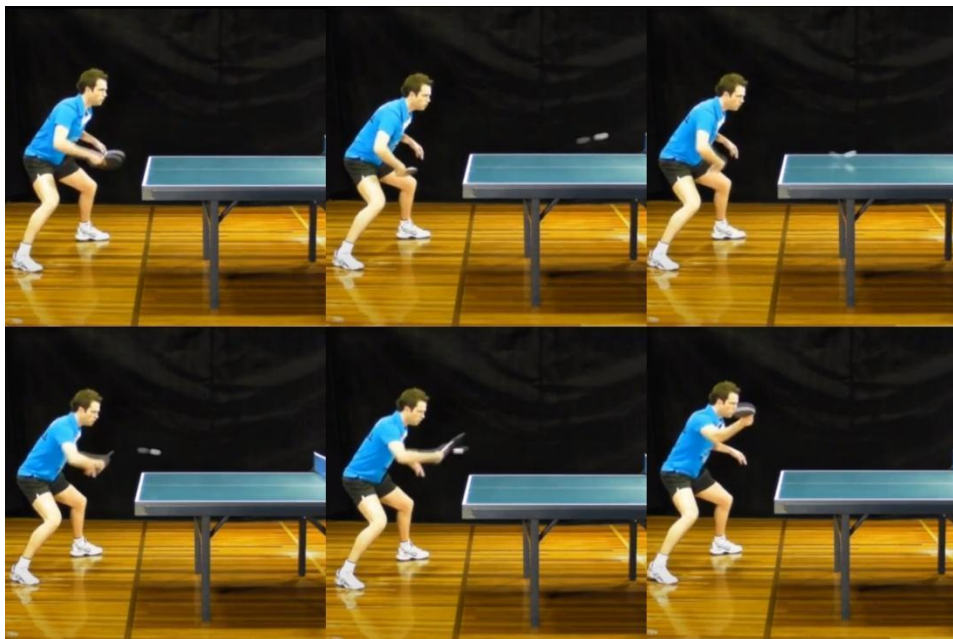
2.1.2 BACKHAND

As técnicas de backhand compreendem todos os movimentos onde o atleta utiliza o lado externo ou dorso da mão, são as técnicas utilizadas para jogadas onde o adversário golpeou a bola no lado da mesa contrário ao forehand (lado esquerdo do jogador destro). Sendo assim, a ideia é que o jogador se movimente para acertar a bola quando ela estiver próxima ao seu estômago, utilizando um princípio mecânico de chicote para produzir rotação e velocidade no golpe (I02... 2012).

Destaca-se nesse trabalho o backhand topspin que, semelhante ao forehand topspin pode ser usado contra o topspin ou o backspin advindos do

oponente, na Figura 6, uma sequência de movimentos para a execução do backhand topspin:

Figura 6 – Sequência de movimentos para a execução do backhand topspin



Fonte: Autoria própria

2.2 EFEITO MAGNUS

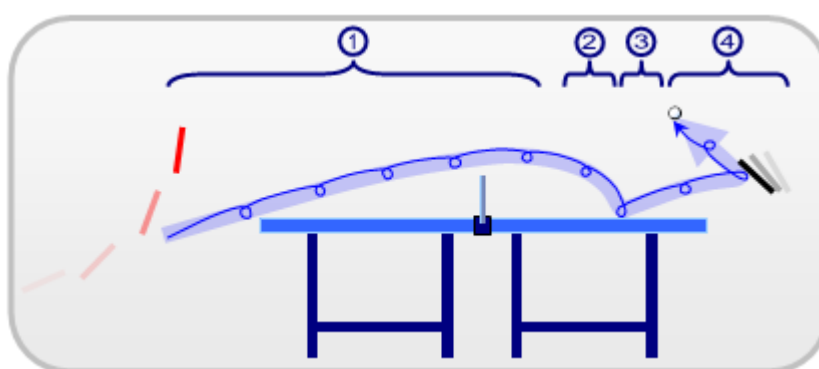
O efeito Magnus é um fenômeno observável comumente associado a um objeto em rotação que se movimenta pelo ar ou outro fluido. A trajetória do objeto é defletida de uma maneira que não ocorre quando o objeto não está girando. A deflexão pode ser explicada pela diferença da pressão do fluido em lados opostos do objeto em rotação, de forma proporcional, a intensidade do efeito depende da velocidade de rotação do objeto (CROSS, 2013).

O caso mais comumente observável do efeito Magnus é o de uma esfera que se curva em arco pelo ar, fazendo um caminho que não faria caso não estivesse girando, o efeito é frequentemente usado por atletas de futebol, boliche, tênis de mesa e outros para alterar de forma conveniente a trajetória da bola. Por consequência, o estudo do fenômeno é importante para diversos esportes com bola e para algumas aplicações de engenharia como a rotação de

mísseis teleguiados e projeto de hélices de navios (AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS, 1959).

No tênis de mesa o topspin é definido como a rotação no eixo horizontal perpendicular à direção de movimento onde a superfície do topo se move no mesmo sentido da translação da bola. Sob o efeito Magnus, o topspin produz um desvio para baixo na trajetória da bola maior do que a gravidade sozinha.

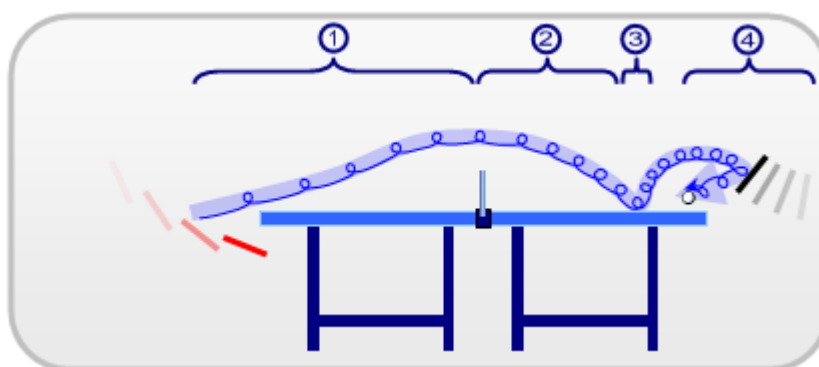
Figura 7 - Trajetória e reação ao contato da bola com topspin



Fonte: wikipedia.org

O backspin também é uma rotação no eixo horizontal perpendicular à direção de movimento, porém a superfície do topo da bola se desloca em sentido oposto ao de translação. A bola com backspin tem um desvio para cima em sua trajetória, prolongando o tempo de voo da bola. De forma análoga o sidespin desvia o caminho da bola para as laterais (HODGES, 2006).

Figura 8 - Trajetória e reação ao contato da bola com backspin



Fonte: wikipedia.org

3 METODOLOGIA

Nesse tópico será discorrido sobre a sequência de etapas e de recursos utilizados para a concepção e elaboração em CAD desse projeto.

3.1 PESQUISA DE MERCADO

Para se ter uma ideia de quais eram as principais concepções de robôs, os modelos e os preços praticados pelo mercado de robôs de tênis de mesa, uma pesquisa de mercado foi feita considerando os principais tipos de modelos vendidos no Brasil, são eles:

Robô tipo torre fixa

Figura 9 - Robô do tipo torre fixa



Fonte: netshoes.com.br

Este tipo de robô é o modelo mais simples que existe no mercado, conta com um funil de entrada de bolas que também tem a função de agitador,

ou seja, ele evita travamentos da bola durante o ciclo de alimentação e ‘empurra’ a próxima bola a ser lançada.

Robôs de torre fixa são muito limitados, pois não podem variar o posicionamento do lançamento da bola de forma sequencial e nem alterar o tipo de giro de forma sequencial; para cada alteração o atleta precisa interagir com o robô e ainda assim a posição de lançamento é fixa.

O preço desse tipo de robô está em torno de R\$ 280,00.

Robô tipo torre móvel

Figura 10 - Robô do tipo torre móvel



Fonte: joolausa.com

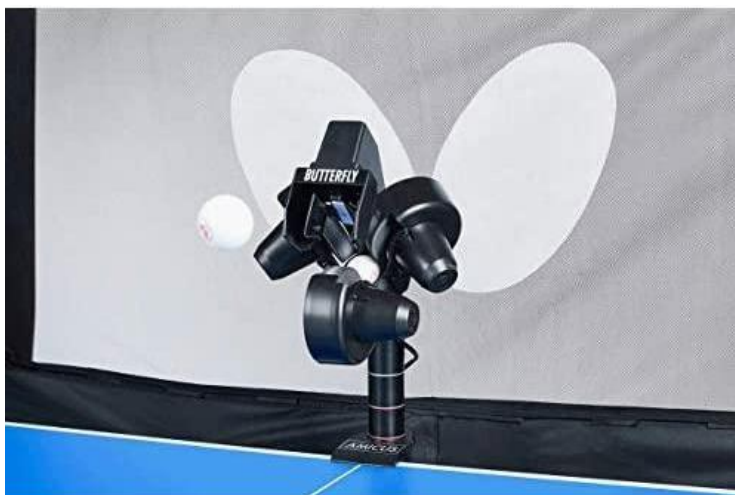
Robôs do tipo torre móvel são esteticamente semelhantes aos de torre fixa e possuem a mesma aparência de funil, entretanto possuem uma mecânica aprimorada e possuem um grau extra de liberdade, a rotação em torno do eixo Z.

Além disso, esses robôs possuem maior capacidade de armazenamento de bolas e principalmente, possuem mais opções de programação de rotinas, geralmente, é possível alterar a frequência de lançamento, a rotação da bola e a oscilação (em torno do eixo Z).

A faixa de preço desse modelo é consideravelmente superior aos de torre fixa, em torno de R\$ 1300,00.

Robôs de cabeçote móvel

Figura 11 - Robô de cabeçote móvel



Fonte: en.butterfly.tt

Figura 12 - Controlador de robô de cabeçote móvel



Fonte: en.butterfly.tt

Por último, temos os robôs de cabeçote móvel, esses são os mais caros, mais complexos e com maior variação de um fabricante para o outro, são superiores

aos demais tipos tanto construtivamente quanto em número e qualidade de funcionalidades do produto.

A principal característica do robô de cabeçote móvel é a variabilidade que o grande número de graus de liberdade possibilita, com robôs desse tipo é possível reproduzir quase qualquer jogada de forma precisa e repetível, também se nota que há um grande investimento dos fabricantes na parte de aplicativos para celular, visto que em quase todos utiliza-se um app para configurar os parâmetros do equipamento à distância.

O preço deste tipo de robô pode chegar na casa dos USD 1800,00.

3.2 MATRIZ MORFOLÓGICA

Para decidir sobre quais funcionalidades incluir no projeto do robô lançador, foi utilizada uma matriz morfológica levando em conta alguns critérios e características de robôs já existentes no mercado.

A seleção de funcionalidades pode ser observada abaixo (Fig 13)

Figura 13 - Matriz morfológica de funcionalidades

FUNCIONALIDADE	TIPO DE ROBÔ			
	TORRE FIXA	TORRE MÓVEL	CABEÇOTE MÓVEL	PROPOSTA
Lançamento em posição fixa	x	x	x	x
Lançamento em posição alternada		x	x	x
Variação entre topspin e backspin		x	x	x
Variação de distância de lançamento			x	
Lançamento com sidespin			x	
Preço	R\$280,00	R\$1300,00	R\$10.300,00	Entre torre fixa e móvel

Fonte: Autoria própria

É possível ver pelo quadro que a ideia do produto é atender um nicho diferente do mercado, dando um pouco mais de funcionalidade aos produtos de entrada,

porém sem a intenção de se equiparar ao estado da arte em robôs de tênis de mesa.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO EM CAD

No desenvolvimento em CAD deste projeto, foi utilizado o software Solidworks para a modelagem e simulação 3D do protótipo.

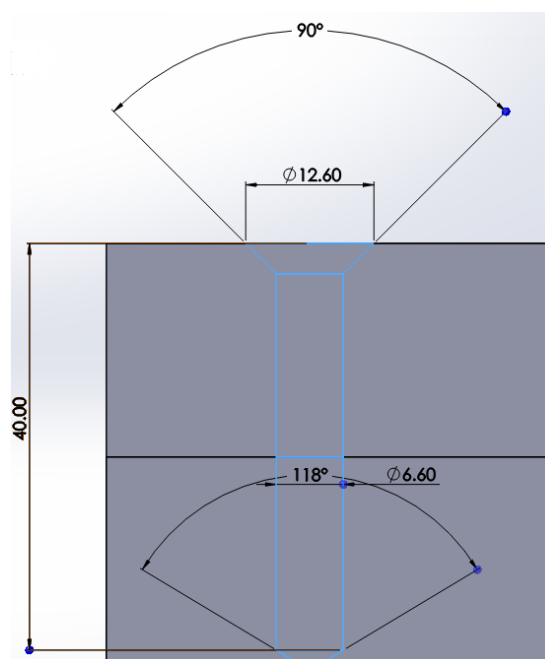
Para ter uma estimativa das dimensões que um robô teria na realidade, foram usados alguns objetos disponíveis no IFSC como uma base para o desenho, como baldes plásticos, pedaços de cano PVC, bolas de tênis de mesa, chapas de aço e recortes de madeira. Os desenhos técnicos relativos aos modelos CAD individuais de cada peça podem ser vistos no Apêndice A, e a montagem final do protótipo pode ser vista no Apêndice B e estão apresentados da seguinte forma:

4.1 MONTAGEM DA BASE DE MADEIRA

Montagem da base de madeira: A forma que o robô possui para se sustentar em pé é a base de madeira, onde todos os componentes e mecanismos do lançador estão montados, dessa forma, foi escolhida uma geometria de moldura quadrada com um espaço no meio para que fosse possível comportar o reservatório de bolas na parte superior da base e ainda houvesse espaço para que não ocorram colisões nas partes móveis inferiores.

Nessa etapa, foi especificado o comprimento e tipo de parafuso a ser usado na montagem, nesse caso, parafusos de rosca soberba e cabeça chata, para que não houvesse ressalto sobre a superfície da madeira (Fig 14).

Figura 14 - Detalhe do parafuso da base de madeira



Fonte: Autoria própria

4.2 MECANISMO DE LANÇAMENTO POR ATRITO

Seguindo a premissa de que a bola deve ser lançada com alta rotação, foi desenvolvido um mecanismo que faz a bola ser ejetada por atrito, fornecendo à bola velocidade de movimento e rotação ao sair do lançador.

O mecanismo consiste em um cano PVC de 50mm de diâmetro interno com dois rasgos simétricos próximos à saída do cano, nos quais uma roda de borracha, que está acoplada a um motor CC que gira em alta rotação. Ao passar pela roda, a bola, que tem 40mm de diâmetro fica pressionada entre as rodas, isso faz com que seja gerado atrito entre a bola e a roda, desta forma a força aplicada pela roda em alta rotação somada à força exercida pela bola anterior fazem com que a bola seja ejetada para frente, com rotação para cima ou para baixo (topspin ou backspin, respectivamente), simulando um golpe executado pelo adversário.

As rodas posicionadas de forma simétrica nas partes superior e inferior do cano possibilitam que o praticante alterne de forma fácil entre topspin e backspin, uma vez que não é possível inverter apenas o sentido de rotação do motor, ou a bola ficaria presa dentro do mecanismo.

4.3 MONTAGEM DO EXTENSOR DO MECANISMO LANÇADOR

Montagem do extensor do mecanismo lançador: O extensor do mecanismo suporta os dois motores CC de alta rotação e as rodas de lançamento e acrescenta um grau de liberdade ao mecanismo lançador, permitindo que o mecanismo agitador altere a direção que a ponta do extensor aponta. Com os dois motores CC acoplados ao extensor de forma simétrica no eixo vertical, é possível alternar entre o topspin e o backspin com facilidade, uma vez que não é possível apenas inverter o sentido de rotação do motor.

4.4 MONTAGEM DO MECANISMO AGITADOR

Montagem do mecanismo agitador: O mecanismo agitador faz duas funções dentro do produto, alimentar as bolas para dentro do lançador e oscilar a ponta do extensor, para tal, é utilizado um único eixo, onde em uma ponta é acoplado um disco de suporte para o agitador na parte superior da base de madeira e na outra ponta são acopladas uma polia de plástico, ligada por uma correia de borracha ao motor CC do agitador e uma biela também de plástico, conectada a uma manivela que movimenta o restante do mecanismo até a conexão ao extensor.

4.5 MECANISMO BIELA-MANIVELA

Para que o atleta possa alternar rapidamente e de forma sequenciada entre as técnicas de forehand e backhand e por consequência trabalhar a movimentação de pernas requerida no tênis de mesa, foi utilizado um mecanismo biela-manivela para variar a posição do cabeçote de lançamento. Esse mecanismo permite introduzir um movimento excêntrico ao sistema,

fazendo com que o cabeçote de lançamento de bolas se movimente numa certa amplitude, de tal forma que, uma bola é lançada do lado direito da mesa e a bola seguinte é lançada do lado esquerdo da mesa, de forma sequencial e alternada, possibilitando uma nova gama de exercícios que pode ser realizada pelo atleta.

Adicionalmente à biela-manivela, foi adicionado um parafuso e porca que atuam como um limitador e ajustador do mecanismo, sendo possível controlar a amplitude de oscilação do cabeçote lançador, ou seja, o atleta poderá ter as bolas lançadas na mesma posição, em posições relativamente próximas, ou em lados opostos da mesa se desejar.

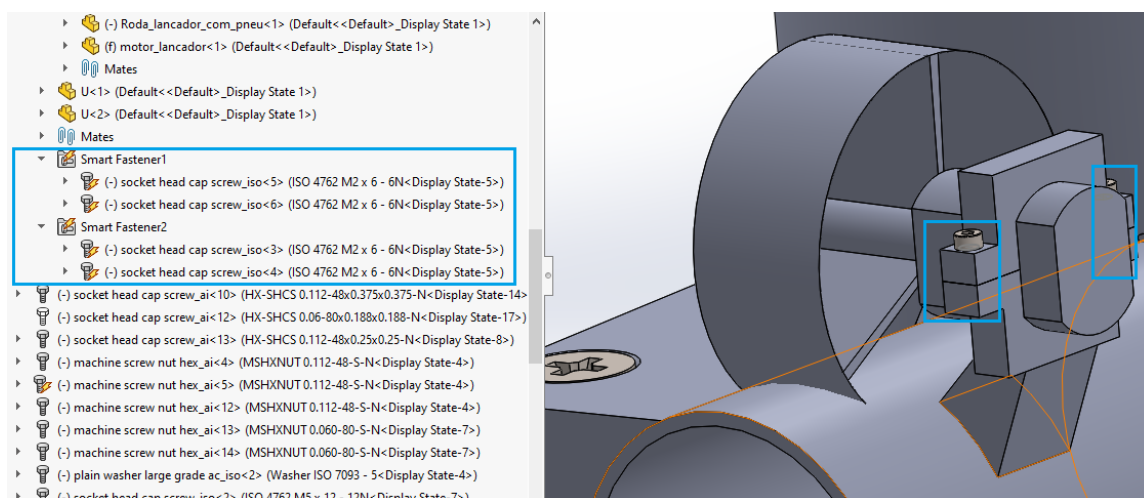
Após modelados os mecanismos de forma individualizada, foi usado o recurso de montagem do Solidworks para unir todos esses componentes em um único produto.

4.6 MONTAGEM DO PROTÓTIPO COMPLETO

O protótipo completo foi feito a partir da união das montagens descritas anteriormente, dessa forma, é a etapa que envolve maior complexidade dentro do Solidworks, a integração de vários mecanismos pensados de forma separada requereu muitas alterações para que tudo funcionasse de forma integrada.

Para aproximar o projeto ao máximo da realidade, usou-se muitas vezes os recursos de fixadores inteligentes (smart fasteners) para ter-se uma base de componentes reais do mercado (Figura 15).

Figura 15 - Detalhe do recurso fixadores inteligentes do Solidworks



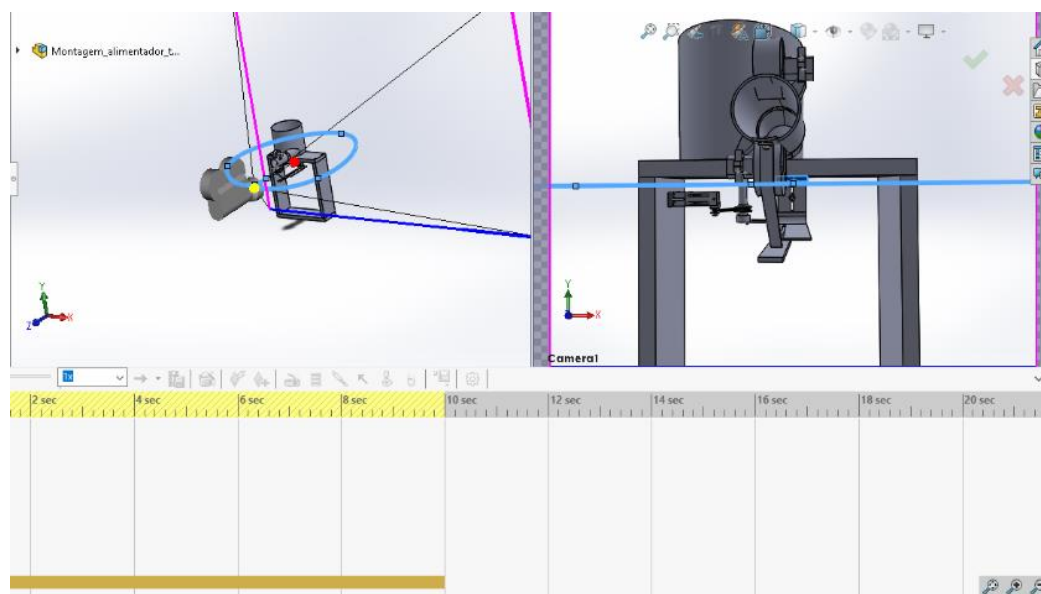
Fonte: Autoria própria

Outro recurso de muita relevância foi o de flexibilização/fixação de submontagens, pois os vários mecanismos se movimentando simultaneamente em relação um ao outro deixa a simulação com excessivos graus de liberdade. Esse recurso permitiu iniciar a montagem de uma forma simplificada e gradativamente acrescentar os graus de liberdade condizentes com os que serão aplicados ao protótipo físico, também avaliar e atribuir os limites de movimento das partes móveis e o posicionamento correto das partes fixas

4.7 SIMULAÇÃO NO SOLIDWORKS

Para fazer a simulação no solidworks, usou-se o recurso *estudo de movimento* (Motion Study) e o protótipo foi colocado num estado semelhante ao que estaria quando estivesse em funcionamento, com seu eixo principal girando a uma velocidade fixa. Foi adicionado um motor rotativo (fictício) ao eixo principal de lançador, fazendo com que todo o equipamento se movimente, o setup inicial da animação pode ser visto na Figura 16.

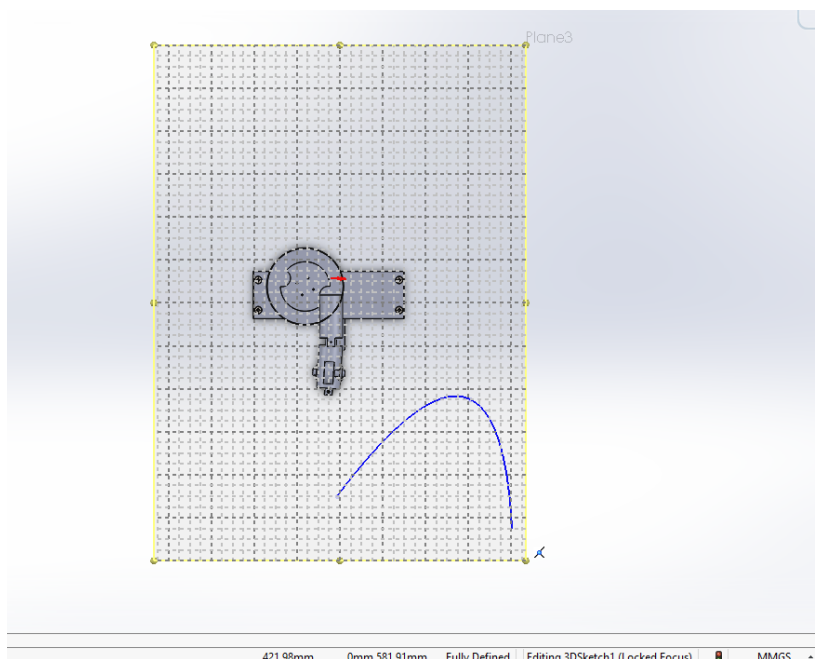
Figura 16 - Setup de animação no Solidworks



Fonte: Autoria própria

Para ter um efeito panorâmico de filmagem e mostrar a operação dos mecanismos de diferentes ângulos, foi desenhada uma trajetória em um plano que parte o lançador ao meio para que a câmera o seguisse, dessa forma foi possível numa única animação mostrar diferentes partes do lançador de forma fluida, sem muitos cortes. A trajetória sendo desenhada por uma spline pode ser vista na Figura 17.

Figura 17 - Desenho de trajetória da câmera



Fonte: Autoria própria

4.8 FUNCIONAMENTO DO LANÇADOR

O lançador tem um ciclo bem definido de funcionamento, do momento em que a bola é colocada no cesto, até que é expulsa pelo mecanismo lançador para ser golpeada pelo atleta, este processo está descrito abaixo:

- 1) Primeiramente a bola é colocada manualmente no reservatório juntamente de outras.
- 2) O movimento do disco do agitador aliado à sua forma força a entrada das bolas no lançador a uma velocidade de 2 bolas por revolução.
- 3) Quando bolas suficientes estiverem enfileiradas dentro do lançador, a próxima bola que entrar no lançador forçadamente irá desencadear uma sequência de empurrões e fará com que a primeira bola dentro do lançador seja pressionada contra a roda de lançamento.
- 4) A força de atrito entre a bola e a roda de lançamento faz com que a bola gire no mesmo sentido de rotação que o motor e seja expulsa do

mecanismo, tanto com topspin quanto com backspin para ser golpeada pelo atleta.

- 5) Caso o mecanismo oscilador esteja atracado, a cada rotação do eixo do agitador o conjunto biela-manivela fará um ciclo completo de oscilação, levando a ponta do extensor ao máximo da amplitude de movimento dos dois lados. Como o disco do agitador lança 2 bolas por revolução e o mecanismo agitador e o conjunto biela-manivela compartilham o mesmo eixo, o lançamento das bolas é sincronizado com o ponto em que a oscilação atinge a amplitude máxima de movimento.

5 CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento do projeto, tinha-se como objetivo o desenvolvimento em CAD de um protótipo lançador de bolas de tênis de mesa, um modelo mais simplificado do mecanismo lançador foi construído fisicamente e validou o princípio de lançamento das bolas, mostrando que era viável seguir com essa ideia de projeto.

Após fazer a modelagem completa do protótipo, também foi possível notar que com a presença de várias peças de geometria complexa, mas de baixa solicitação mecânica, o processo de manufatura aditiva é imprescindível para a fabricação do produto e dessa forma também pode facilitar que hobbystas que possuam impressoras 3D em casa ou pequenas empresas consigam fabricar as peças do lançador.

É possível concluir que o trabalho teve resultados satisfatórios em termos de simulação CAD, pois foi possível verificar que o protótipo poderia funcionar na vida real e tornar-se um produto funcional.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se a construção física do lançador de bolas, pois esse processo certamente irá detectar falhas, possibilidades de melhorias e incremento de funcionalidades.

6 REFERÊNCIAS

AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS. Washington, 26 mar. 1959. Disponível em:

<https://web.archive.org/web/20110516150056/http://webusers.npl.illinois.edu/~a-nathan/pob/Briggs.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2021.

CROSS, Rod. **WINDTUNNEL PHOTOGRAPHS.** 2013. Disponível em: <http://www.physics.usyd.edu.au/~cross/TRAJECTORIES/Fluidflow%20Photos.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2021.

HODGES, Larry. **Table Tennis: Steps to Success.** Champaign,il: Human Kinetics Publishers, 2006. 224 p.

ITTF. **HistoryofTableTennis.** Disponível em: <https://www.ittf.com/history/documents/historyoftabletennis/>. Acesso em: 24 fev. 2021.

I02 - Backhand Topspin Against Block. Roteiro: William Henzell. [S.l]: Ttedge.Com, 2012. (6 min.), son., color.

LTT07 - Learning table tennis part 7 - Forehand Topspin. Roteiro: Brett Clarke. S.l: Ttedge.Com, 2012. (7 min.), son., color. Série LTT.

PLEDGE SPORTS (org.). **Top 10 most played sports.** 2018. Disponível em: <https://www.pledgesports.org/2017/06/top-10-most-played-sports/>. Acesso em: 24 fev. 2021.

APÊNDICE A

Lista de desenhos técnicos do lançador de bolas de tênis de mesa

Base de madeira

Figura 18 - Chapa de madeira sem encaixe de rolamento

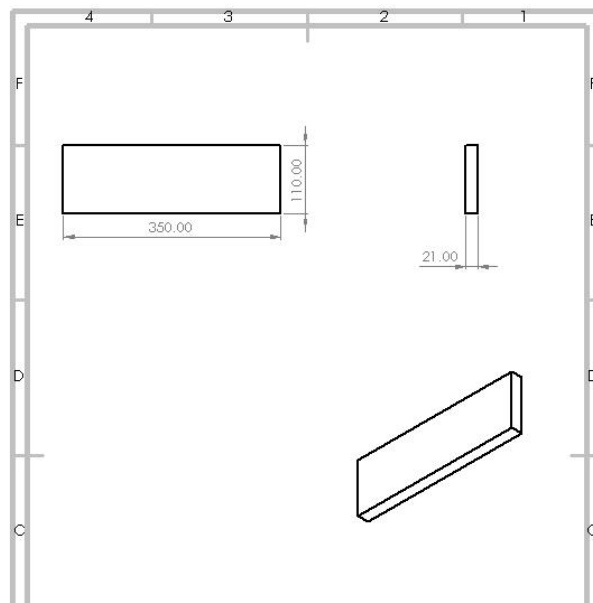
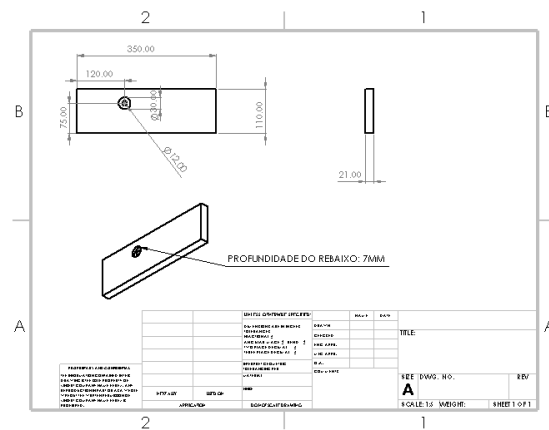


Figura 19 - Chapa de madeira com encaixe de rolamento



Mecanismo lançador

Figura 20 – Alimentador de bolas

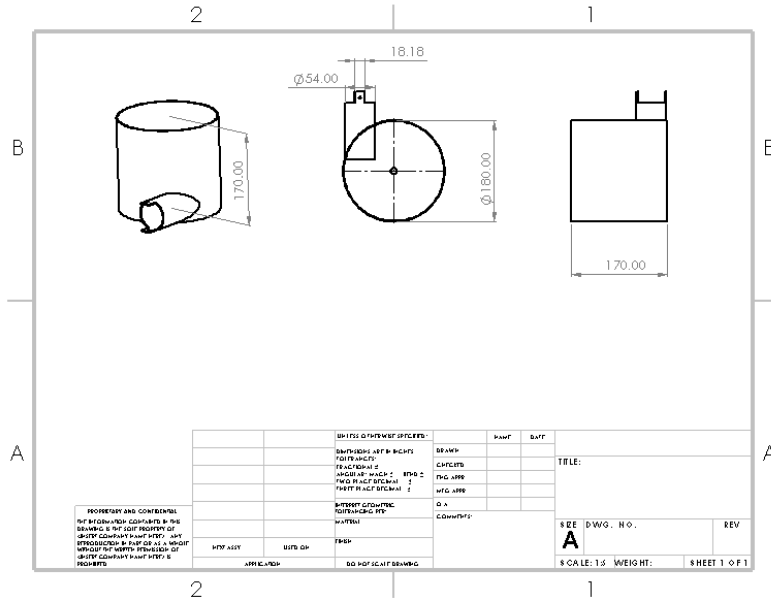


Figura 21 – Motor DC do alimentador

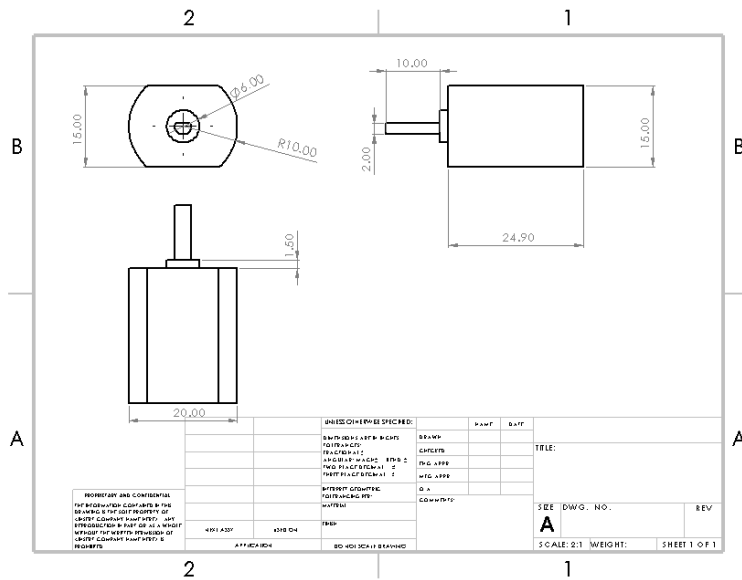


Figura 22 – Cabeçote lançador

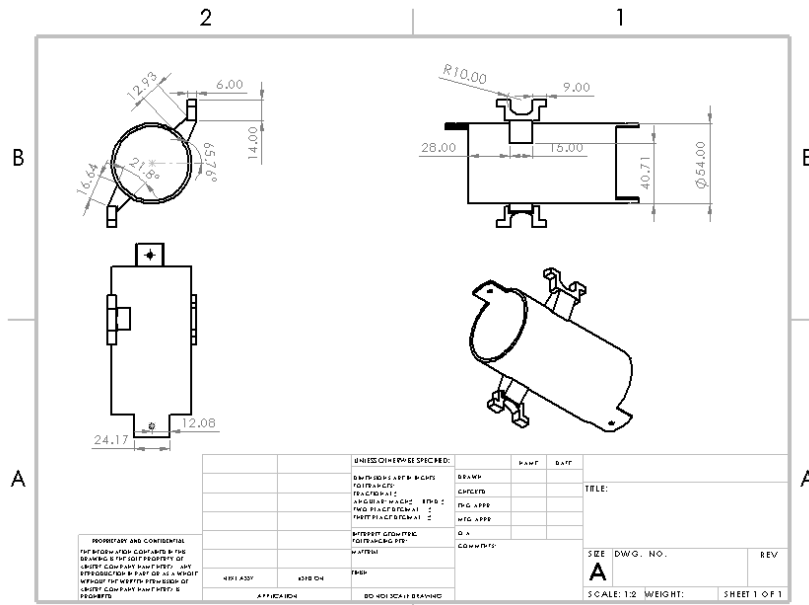


Figura 23 – Rodízio de lançamento

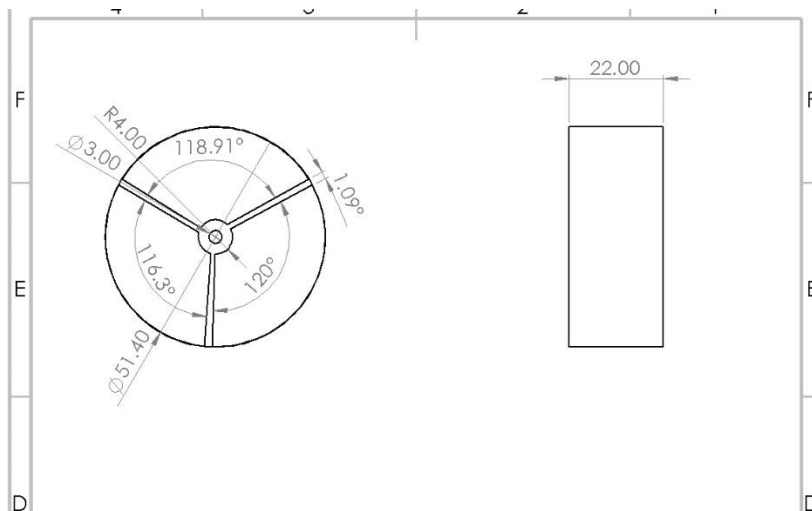
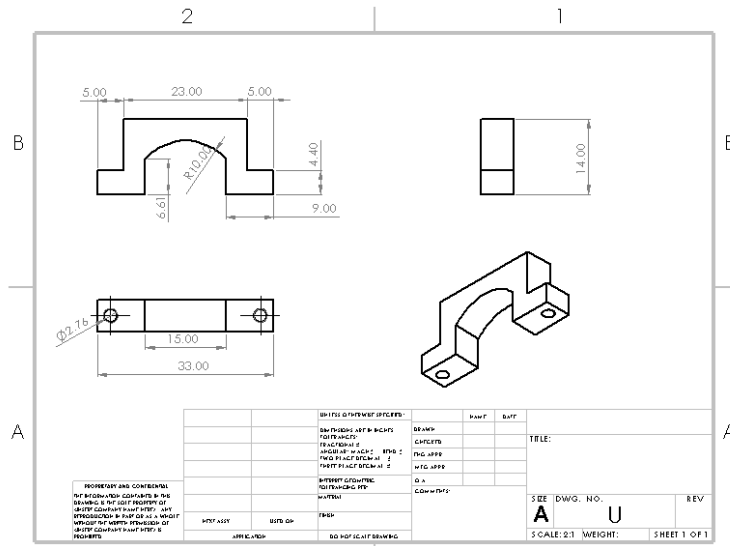


Figura 24 – Fixador U



Mecanismos agitador e oscilador

Figura 25 – Eixo do disco

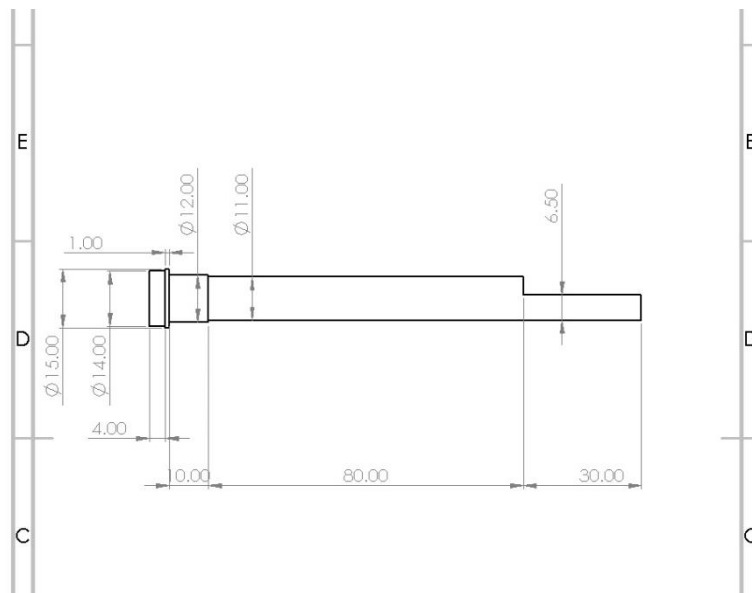


Figura 26 – Polia motor

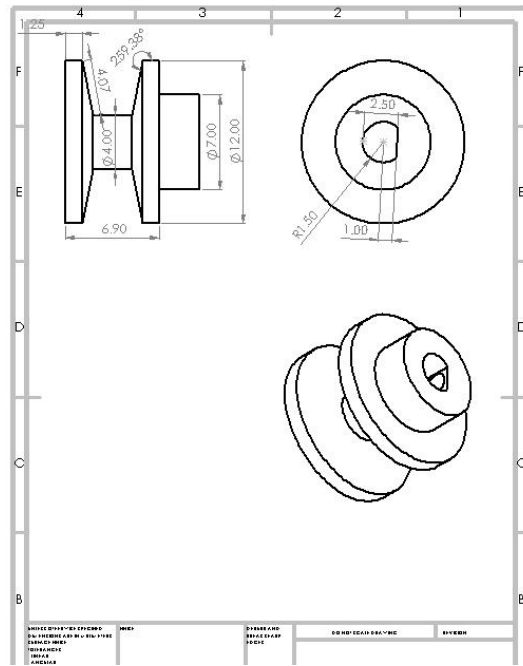


Figura 27 - Z

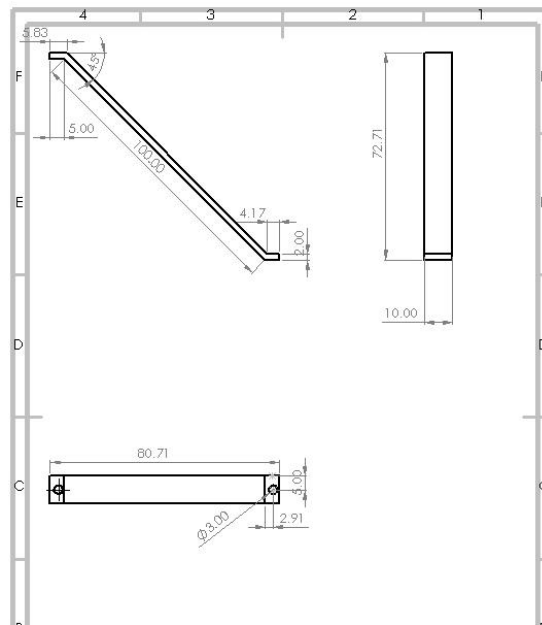


Figura 28 – Polia do eixo do disco

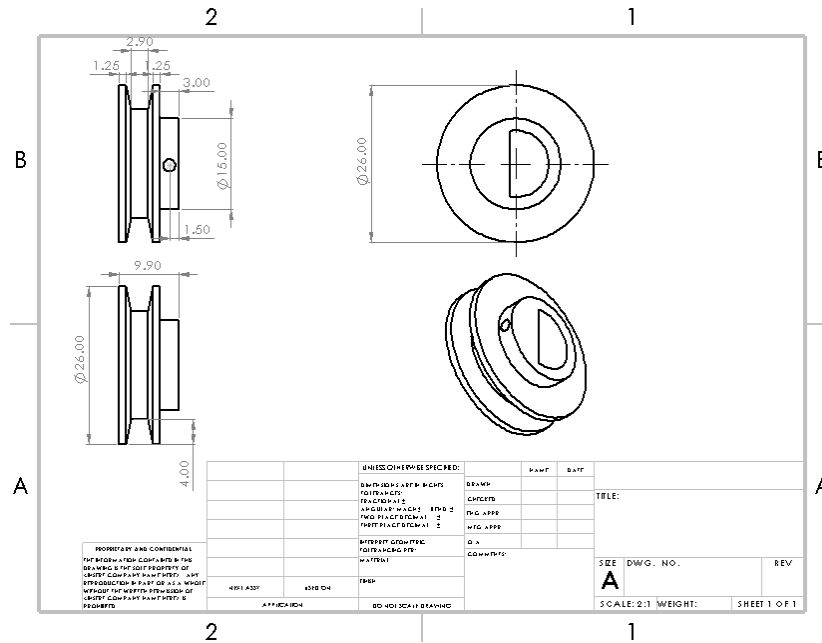


Figura 29 - Biela

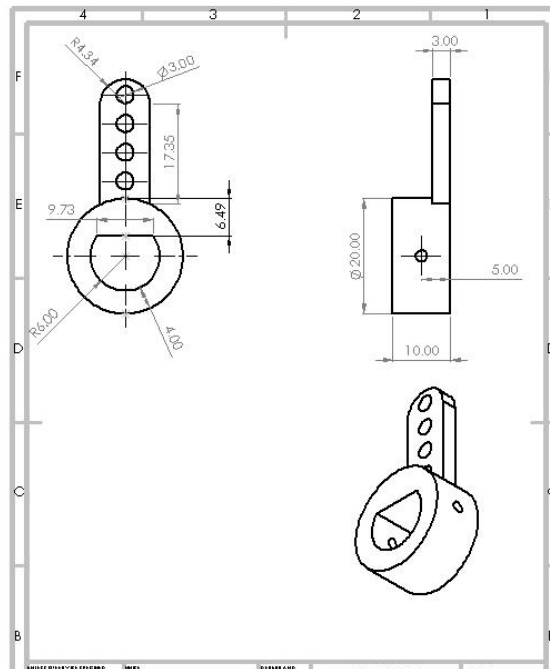


Figura 30 – Suporte motor alimentador

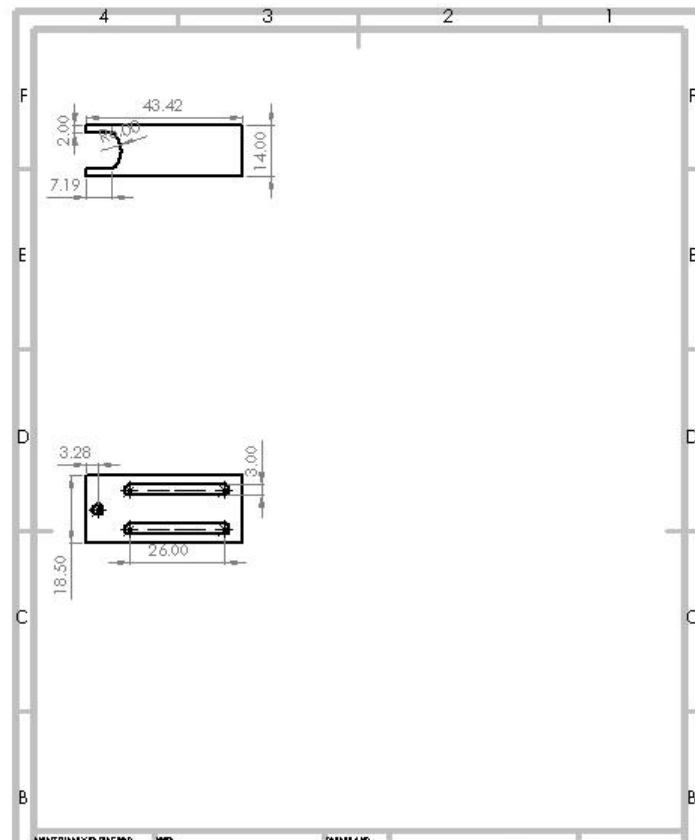


Figura 31 - Manivela

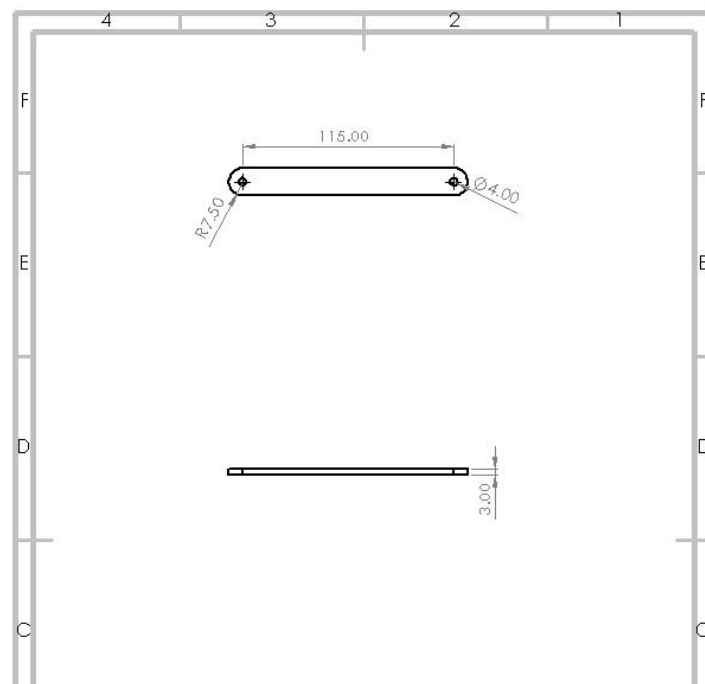


Figura 32 – Vareta condução

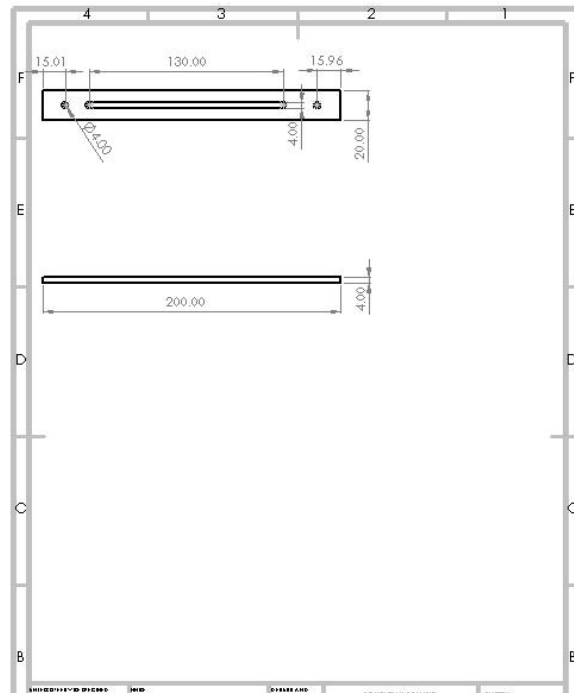


Figura 33 – Esticador motor alimentador

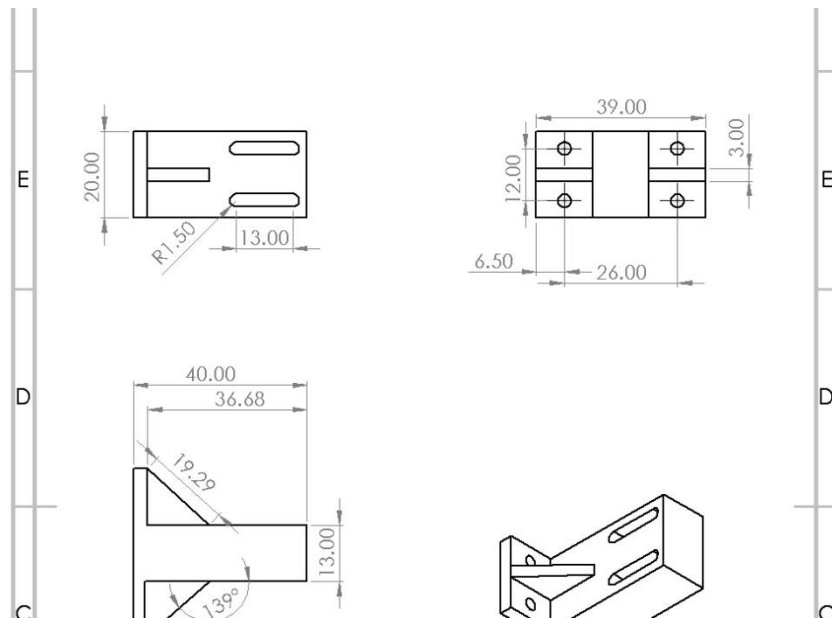


Figura 34 – Bolacha eixo

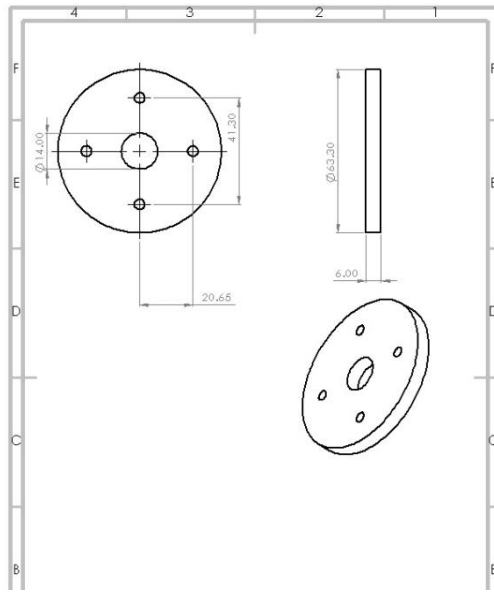


Figura 35 – Disco agitador

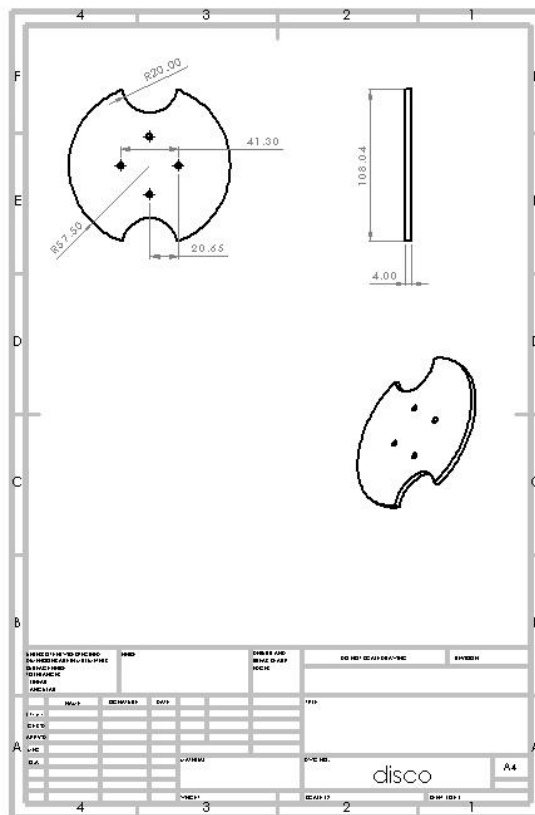


Figura 36 – Base manivelas

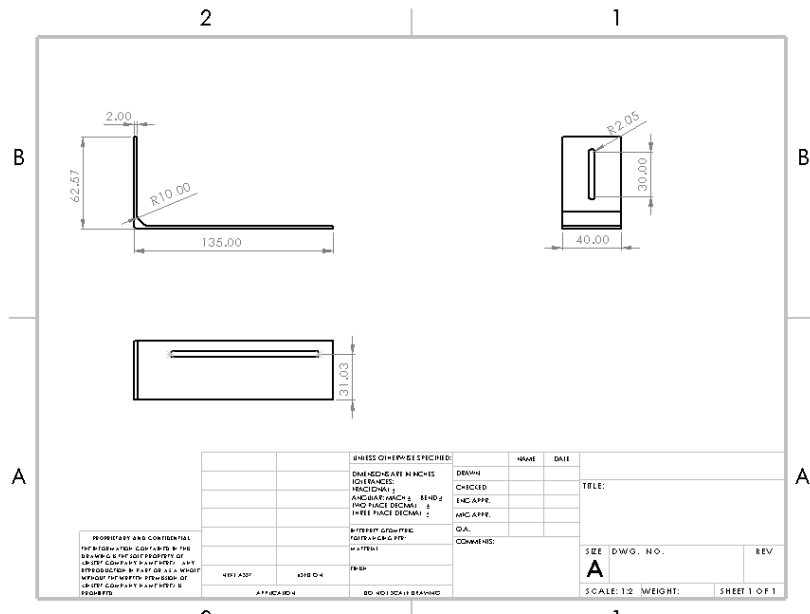
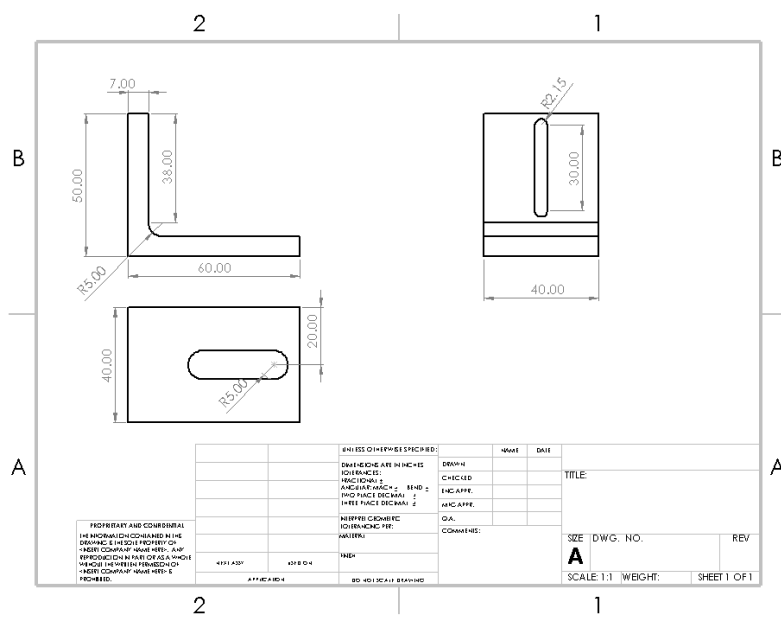


Figura 37 – Base manivelas fixação



APÊNDICE B

Manual de montagem – Lançador de bolas de tênis de mesa

Para fazer a montagem do protótipo, tenha em mãos os desenhos de cada peça, pois eles ajudarão a marcar da forma correta a posição dos furos e rasgos, o que facilitará na execução da montagem.

A montagem do lançador de bolas foi separada em 3 etapas, são elas:

1. Montagem da base de madeira;
2. Montagem do lançador;
3. Montagem do mecanismo agitador.

Abaixo está um descritivo de cada etapa de montagem:

Montagem da base de madeira:

Lista de peças:

3x Chapa de compensado de madeira;

1x Chapa de compensado de madeira com encaixe para rolamento;

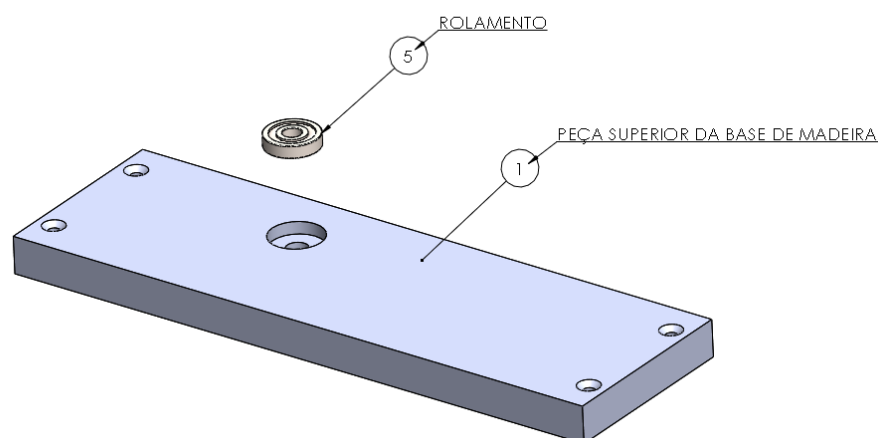
8x Parafuso de aço rosca soberba 8mm de diâmetro, 40mm de comprimento;

1x Rolamento NSK 6201Z;

Etapas de montagem:

Primeiramente, pegue a peça de madeira com encaixe para rolamento, prenda-a na morsa de uma prensa manual de bancada com atuador circular, alinhe o centro do rolamento com o centro do encaixe de rolamento (ver Figura 38). Prende o rolamento no encaixe com bastante cuidado, pois o rolamento de aço montado numa peça de madeira pode danificar a peça.

Figura 38 - Montagem do rolamento na peça de madeira

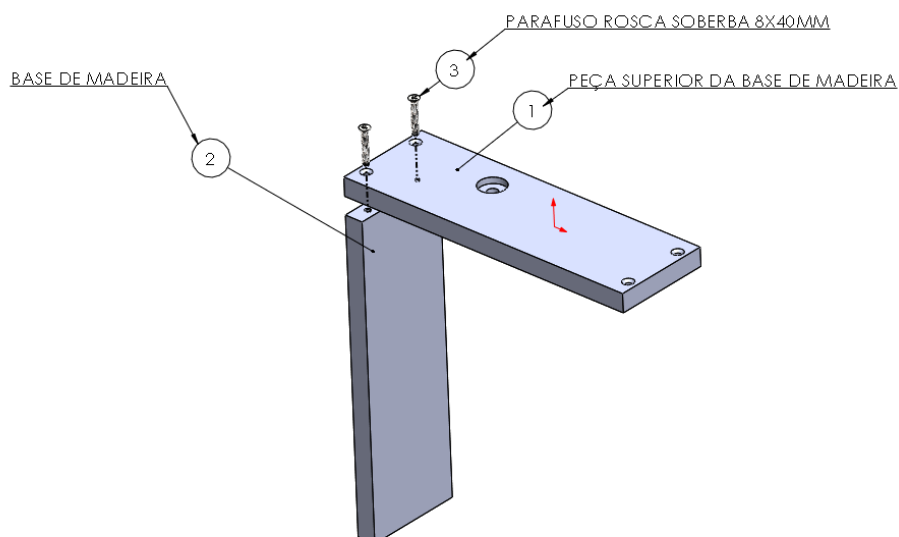


Com o rolamento montado na peça de madeira, pegue a chapa com o rolamento e uma chapa de compensado e posicione-as de forma que uma sobreponha a outra formando um ângulo de 90 graus.

Com auxílio de um lápis e um paquímetro, marque as posições do centro de furação dos parafusos de rosca soberba conforme o desenho da peça.

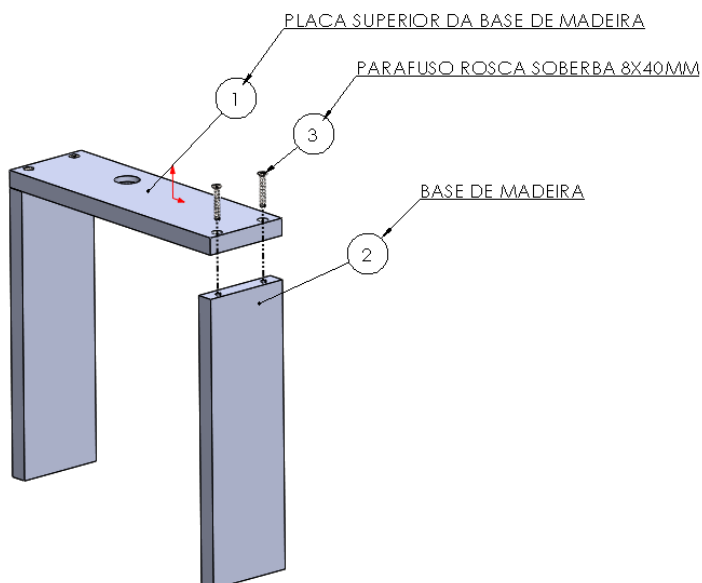
Com a ajuda de uma morsa, prenda a chapa sem o encaixe de rolamento na posição vertical, apoie a chapa com o encaixe de rolamento virado para cima e com a ajuda de uma parafusadeira, fixe as duas peças de madeira como abaixo (ver Figura 39):

Figura 39 - Colocação de parafusos na primeira peça de madeira



Repita o mesmo processo com a outra extremidade da chapa com encaixe de rolamento, marcando a posição do centro dos furos, prendendo a chapa sem encaixe de rolamento na morsa na posição vertical e fixando as duas chapas usando os parafusos de rosca soberba (ver Figura 40).

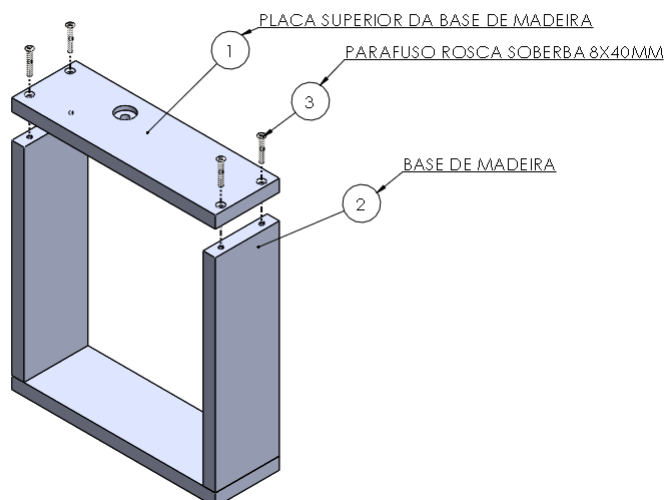
Figura 40 - Colocação de parafusos na segunda peça de madeira



Por fim, prenda as 3 chapas já fixadas, que agora devem ter um formato em “C” no sentido da largura na morsa ou apoie-se em uma bancada, coloque a chapa que restou apoiada nas duas que ficaram na posição vertical, marque com o lápis novamente a posição de furação e com a parafusadeira fixe as chapas completando a montagem da base de madeira.

A montagem final da base de madeira deve ser como da Figura 41.

Figura 41 - Conclusão da montagem da base do protótipo



Montagem do lançador:

Lista de peças:

1x Balde;

1x Extensão Lançador;

1x Cano PVC 54mm;

2x Motor DC 6~12V; 6.800 RPM Akiyama AK080/16.5ML12S6800S

2x Roda do lançador com pneu;

4x Parafuso Allem M3x15mm;

2x Parafuso Allem M3X10mm;

Etapas de montagem:

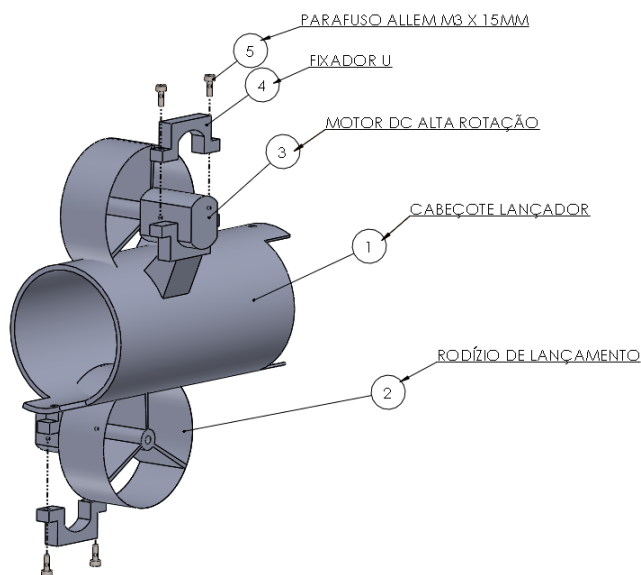
Primeiramente é necessário fazer uma sub montagem do extensor, que é a que segue:

Pegue o extensor do cano de 54mm, os 2 motores DC do lançador, os pneus e os fixadores em 'U'. Acople os eixos dos motores e dos pneus pressionando um contra o outro para que o eixo do motor entre o máximo possível do eixo do pneu, de preferência encostando a face do eixo do pneu na face da carcaça do motor.

Depois disso, coloque os motores na vertical no suporte da peça e pegue os fixadores em 'U', faça furos passantes com a broca de 2mm no centro das faces laterais do suporte e com 4 parafusos allem M3 abra roscas nessas faces laterais do 'U' e utilize porcas para dar o aperto e prender os motores DC no extensor.

O aspecto final dessa sub montagem deve ser como o da Figura 42.

Figura 42 - Montagem final do extensor



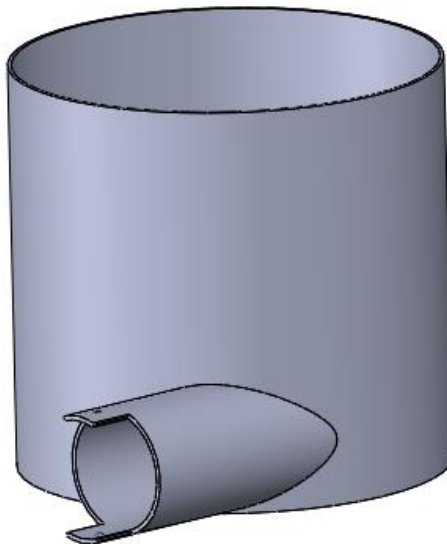
Agora que a montagem do extensor está pronta, faça em uma das faces do cano de 54mm um recorte de forma a deixar 2 ressaltos separados de 180 graus um do outro, faça nesses ressaltos um furo passante central com a broca de 3mm, o resultado da peça deverá ser como abaixo (ver Figura 42):

Pegue o balde e o cano PVC de 54 mm, use uma faca ou outro objeto cortante quente para abrir um rasgo de aproximadamente 52mm de diâmetro a 10mm de altura do fundo do balde e insira nesse rasgo o cano de 54 mm.

Marque com lápis ou marcador permanente no lado oposto aos ressaltos a intersecção entre a parede do balde e a parede externa do cano, feito isso, retire o cano, e com uma serra faça um corte em ângulo na posição marcada para facilitar a entrada das bolas no cano.

Coloque novamente o cano serrado na posição em que a parede do balde e o rasgo estejam mais alinhados o possível na vertical e aplique silicone para fixar o cano nessa posição, aplique o silicone na parte interior e exterior da junção para maior resistência mecânica (ver Figura 43).

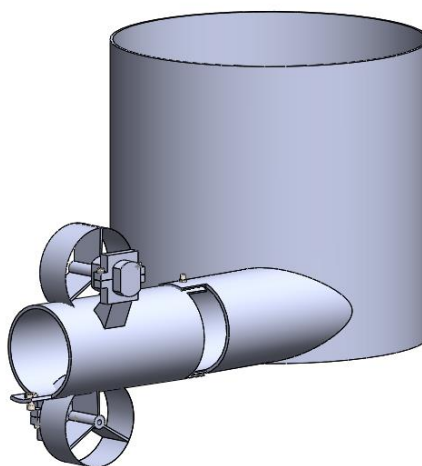
Figura 43 - Montagem do reservatório



Com 2 parafusos e 2 porcas, uma a extensão do lançador ao cano PVC para formar uma junta do tipo dobradiça, onde os parafusos atuam como pinos.

A montagem completa do lançador deverá se parecer com a figura 44.

Figura 44 - Aspecto final da montagem superior do protótipo



Montagem mecanismo agitador:

Lista de peças:

1x Eixo do disco;

1x Polia motor;

1x Polia eixo;

1x Biela;

1x Manivela;

1x Vareta condução;

1x Z;

1x Motor DC Pololu 6V, 90 RPM, 1,1 (kg cm) torque

Suporte motor;

1x Esticador motor;

1x Bolacha eixo;

1x Disco agitador;

1x O'ring de vedação;

2x Parafuso Allem M3X4mm cabeça abaulada para fixação do motor
DC Pololu de alto torque;

4x Parafuso Allem M3x5mm para o disco impresso;

2x Parafuso Allem M3x5mm para a polia do eixo e polia do motor;

2x Parafuso Allem M4x10mm;

2x Parafuso Allem M2X30mm para o esticador de correia;

4x Arruelas M2 para o esticador de correia;

2x Porcas M2 para o esticador de correia;

3x Parafuso Allem M5x12mm para fixação da base de manivelas;

1x Parafuso Allem M5x20mm para a biela;

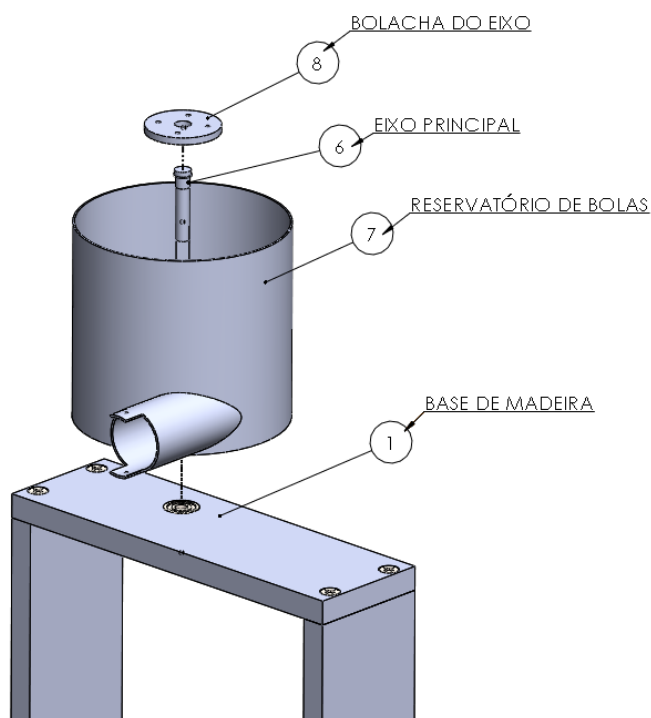
4x Parafuso Allem M5X20mm para as manivelas e o Z;

4x Porcas M5 para as manivelas e o Z;

Para iniciar a montagem do mecanismo agitador, as montagens da base de madeira e do lançador devem estar prontas, pois o mecanismo é montado usando os componentes dessas montagens anteriores.

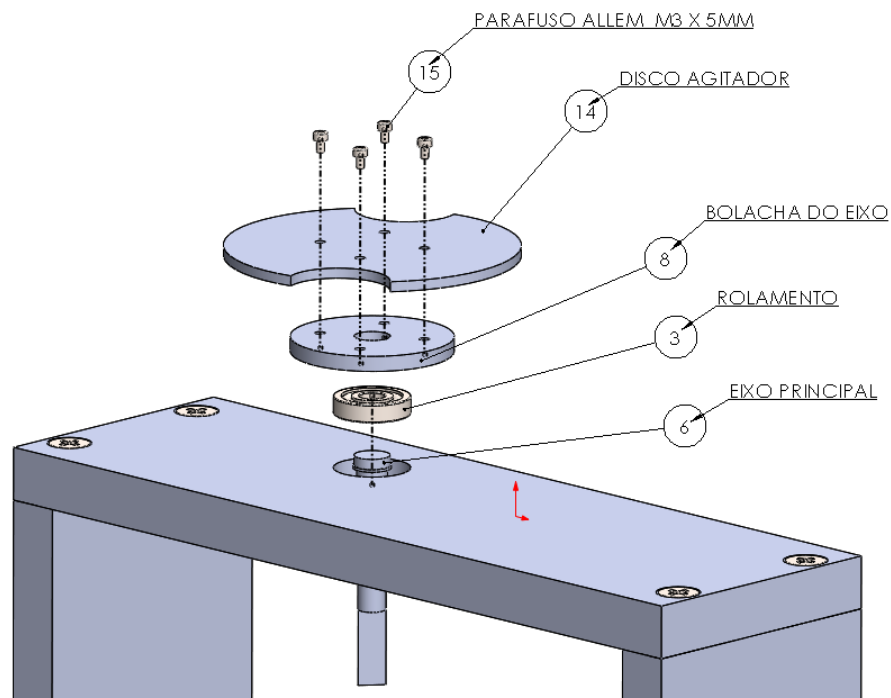
Posicione a montagem do lançador com o rolamento da base de madeira no centro do balde. Rosqueie a bolacha no eixo do disco até o fim da rosca para que trave, então passe o eixo pelo furo do rolamento. O diâmetro do eixo aumenta gradativamente até atingir a posição de montagem, chegando nessa posição é necessário pressionar o eixo para que ele monte no rolamento (ver Figura 45).

Figura 45 - Posição e ordem de montagem do eixo do disco



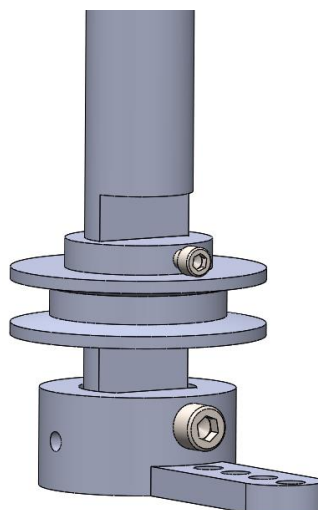
Depois de montado o eixo do disco no rolamento, pegue o disco impresso e prenda-o na bolacha com 4 parafusos allem M3, não é necessário um grande aperto, apenas prendendo o disco na bolacha já é suficiente, a montagem até o momento deverá ser como na figura 46:

Figura 46 - Montagem do disco impresso em seu eixo



Tendo a parte superior da montagem já pronta, insira e prenda na parte de baixo do eixo do disco a polia eixo e a biela, nessa ordem. A fixação dessas 2 peças é feita por um parafuso pressionado contra o rebaixo do eixo, veja na figura 47.

Figura 47 - Montagem da biela e polia do eixo através de parafusos



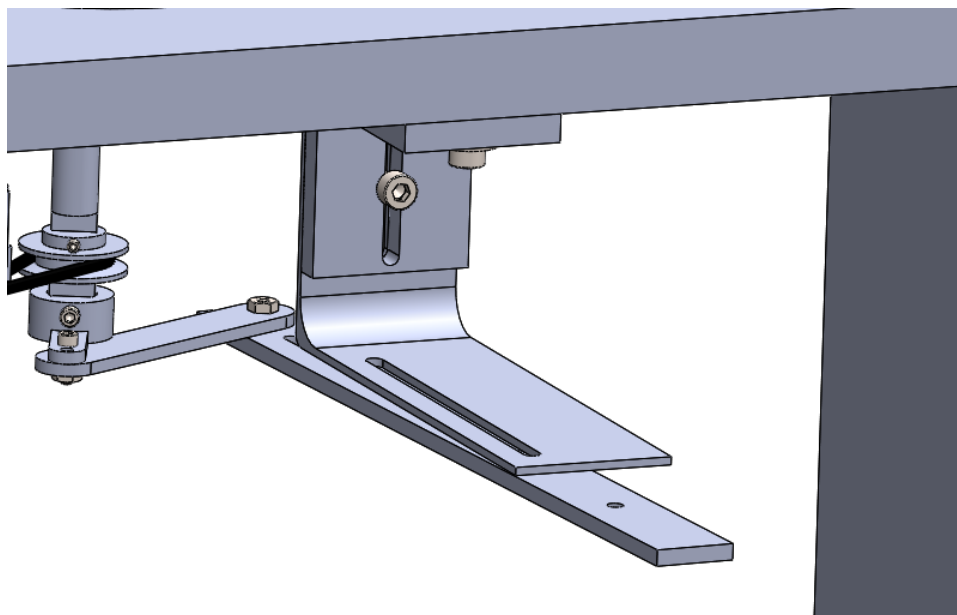
A partir dessa etapa, siga para a montagem do mecanismo biela-manivela.

Para montar o mecanismo biela-manivela, separe a manivela, a vareta de condução, a base de fixação da manivela, o Z e respectivos parafusos e porcas.

Pegue a manivela e com um parafuso e porca faça a fixação em algum dos furos da biela, vale notar que não se deve aplicar grande aperto nessa porca para permitir giro entre biela e manivela. Perpendicularmente a esse conjunto deve-se colocar a vareta de condução, nessa etapa, o movimento será passado da manivela para a vareta.

Pegue a base de fixação da manivela e parafuse ela na parte de cima da base de madeira, mantendo o ângulo entre a vareta e a manivela aproximadamente em 90 graus como abaixo (ver Figura 48).

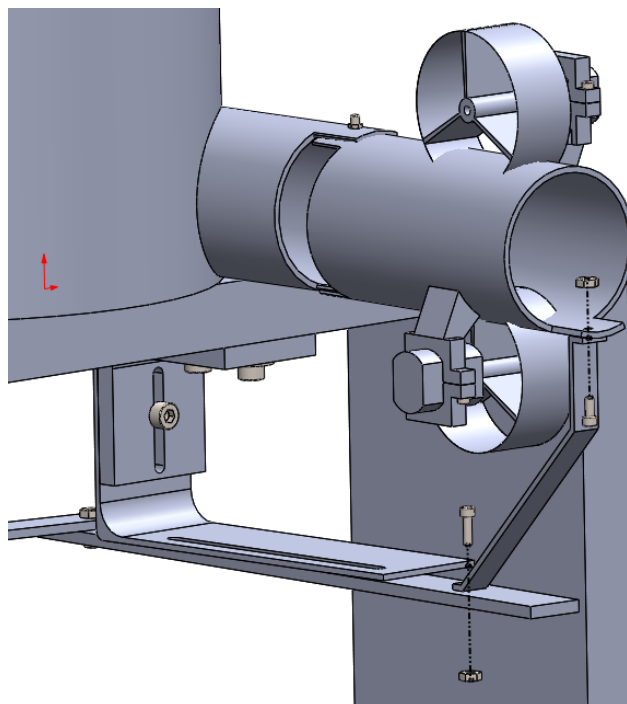
Figura 48 - Fixação da base biela-manivela na peça de madeira



Prenda o Z na vareta de condução e na ponta do extensor do lançador, como na figura 49:

]

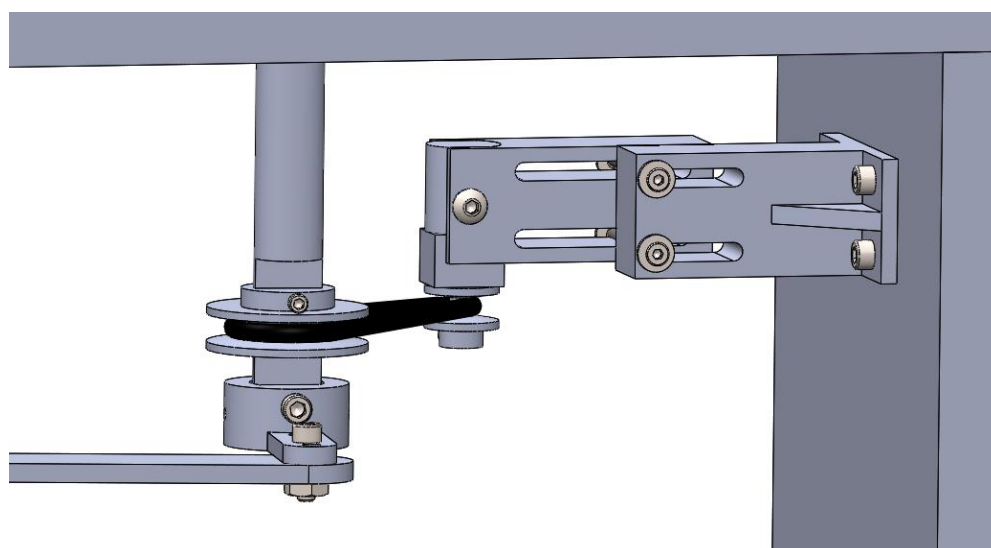
Figura 49 - Fixação do Z na vareta de condução e no extensor



Para concluir a montagem do protótipo, prenda o motor de alto toque ao seu suporte com o eixo virado para baixo e una o suporte ao esticador do motor, passando o o'ring (que atua como correia neste sistema) entre as 2 polias aplicando a esse o'ring uma leve tensão.

Fixe o suporte junto ao esticador na parte lateral da base de madeira e use o ajuste do esticador para aplicar tensão suficiente no o'ring para a transmissão no movimento, veja na figura 50:

Figura 50 - Sistema esticador de correia



Todo o conjunto do protótipo deverá estar como na figura 51:

Figura 51 - Montagem final do lançador

