



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
ENGENHARIA MECÂNICA

ROBERTO MOURA DO NASCIMENTO

PROJETO DE BAIXO CUSTO PARA LANÇADOR DE BOLAS ESPORTIVAS.

CRUZ DAS ALMAS

2019

ROBERTO MOURA DO NASCIMENTO

PROJETO DE BAIXO CUSTO PARA LANÇADOR DE BOLAS ESPORTIVAS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Msc. Leonardo Rafael
Teixeira Cotrim Gomes

CRUZ DAS ALMAS

2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, permitindo que tudo isso acontecesse ao longo de toda minha vida, e não somente nestes anos como universitário, é o maior mestre que alguém pode conhecer. A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e seu corpo docente, que me permitiram essa oportunidade. Ao meu orientador Leonardo Cotrim por todo o suporte dado. Aos meus pais pelo amor e todo o incentivo que me deram. A minha esposa e filho, por todo amor, apoio e incentivo. Todos que direta ou indiretamente me apoiaram e fizeram parte da minha graduação.

RESUMO

Há algum tempo no mundo o esporte deixou de ser somente para o lazer e passou a ter importância comercial, política e profissional, exigindo que os atletas se empenhem cada vez mais para superar seus limites. Devido a essa mudança os treinos também sofreram modificações e passaram a ser mais rígidos e realistas aos eventos ocorridos durante as partidas, sendo necessário o uso de equipamentos que possam simular essas situações de jogo. Os aparelhos ou equipamentos automatizados para lançamento de bola possuem um custo elevado, este trabalho tem o intuito de projetar um lançador de diferentes bolas que seja ao mesmo tempo eficiente, de fácil operação e manutenção, atendendo as necessidades dos treinos e ao mesmo tempo possa ser aplicado para diferentes modalidades esportivas. O lançador BTLC – 01, foi projetado para utilizar em sua fabricação materiais e peças de fácil acesso e baixo custo.

Os resultados mostram que o projeto apresentado possui viabilidade técnica e financeira satisfatória, podendo ser produzido para aplicação em diversas modalidades esportivas com suas bolas de diferentes diâmetros.

Palavras-chave: Lançador de bolas; esportes; treinos; baixo custo.

ABSTRACT

For some time in the world the sport has been left to be only for leisure and has become of commercial, political and professional importance, requiring that athletes strive more and more to overcome their limits. Due to this change the trainings also underwent modifications and became more rigid and realistic to the events occurred during the matches, being necessary to use equipment that can simulate these situations. The equipment or automated equipment has a high cost, this work is designed to design a ball launcher that is both efficient, easy operation and maintenance, meeting the needs of the training and at the same time can be applied to different modalities sports activities. The BTLC - 01 launcher is designed to use commercially available materials and parts for easy access and low cost. It was seen that the presented project possesses satisfactory technical and financial viability, being able to be produced for application in several sports modalities with its balls of different diameters.

Keywords: Launcher thrower, sports, training, low cost.

LISTA DE SIMBOLOS

| | |
|----------|------------------------------|
| x | Eixos das abscissas |
| y | Eixos das ordenadas |
| v | Velocidade |
| a | Aceleração |
| t | Tempo |
| g | Gravidade |
| r | Raio |
| D | Diâmetro |
| ω | Velocidade angular |
| α | Ângulo do lançamento oblíquo |
| \cos | Cosseno de um ângulo |
| \sin | Seno de um ângulo |
| \tan | Tangente de um ângulo |
| F_A | Força de arrasto |
| C_A | Coeficiente de arrasto |
| A | Área da secção transversal |
| Re | Número de Reynolds |
| F_M | Força de Magnus |
| C_S | Coeficiente de sustentação |
| S | Parâmetro de rotação |
| C_M | Coeficiente de Magnus |
| K | Energia cinética |
| E | Energia armazenada |
| P | Potência |
| cv | Cavalo vapor |
| rpm | Rotação por minutos |
| rps | Rotação por segundo |
| J | Joule, unidade de energia |
| W | Watt, unidade de potência |
| BTLC | Ball thrower low cost |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|-----------|----|
| (1)..... | 13 |
| (2)..... | 13 |
| (3)..... | 13 |
| (4)..... | 13 |
| (5)..... | 14 |
| (6)..... | 14 |
| (7)..... | 14 |
| (8)..... | 14 |
| (9)..... | 14 |
| (10)..... | 14 |
| (11)..... | 14 |
| (12)..... | 14 |
| (13)..... | 14 |
| (14)..... | 14 |
| (15)..... | 15 |
| (16)..... | 15 |
| (17)..... | 15 |
| (18)..... | 16 |
| (19)..... | 17 |
| (20)..... | 18 |
| (21)..... | 18 |
| (22)..... | 18 |
| (23)..... | 19 |
| (24)..... | 22 |
| (25)..... | 23 |
| (26)..... | 23 |
| (27)..... | 23 |
| (28)..... | 23 |
| (29)..... | 24 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Trajetória de um projétil desprezando a resistência do ar. | 13 |
| Figura 2: Forças aerodinâmicas em uma bola no ar. | 15 |
| Figura 3: Coeficiente de arrasto de uma esfera lisa. | 16 |
| Figura 4: Separação da camada limite. | 17 |
| Figura 5 : Comportamento da camada limite sob rotação. | 19 |
| Figura 6: Trajetória da bola com o chute do jogador Roberto Carlos. | 20 |
| Figura 7: Esquema básico do lançador de bolas. | 22 |
| Figura 8: Lançador de bolas. | 26 |
| Figura 9: Perna retrátil. | 26 |
| Figura 10: Perna do lançador. | 27 |
| Figura 11: Montagem dos suportes das pernas no disco dos suportes. | 28 |
| Figura 12: Suporte das pernas. | 28 |
| Figura 13: Disco dos suportes. | 29 |
| Figura 14: Montagem do disco com os suportes das pernas. | 29 |
| Figura 15: Regulador de inclinação. | 30 |
| Figura 16: Montagem dos reguladores de inclinação no disco dos suportes. | 30 |
| Figura 17: Base reguladora dos motores. | 31 |
| Figura 18: Chapa da montagem 6 após dobra de 90°. | 31 |
| Figura 19: Suporte da base reguladora dos motores. | 32 |
| Figura 20: Base reguladores dos motores com o suporte. | 32 |
| Figura 21: Base dos motores. | 33 |
| Figura 22: Motores genéricos posicionados. | 33 |
| Figura 23: Posição da conexão dos carvões. | 34 |
| Figura 24: Bucha para eixo do motor. | 34 |
| Figura 25: Montagem completa do lançador de bolas. | 35 |
| Figura 26: Bola comprimida por duas forças. | 37 |
| Figura 27: Posições do regulador do lançador. | 38 |
| Figura 28: Trajetória bola de beisebol x basquete. | 42 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Lista de materiais usados | 36 |
| Tabela 2: Quantidade de chapas de aço utilizadas. | 37 |
| Tabela 3: Esportes e suas respectivas bolas. | 38 |
| Tabela 4: Regulagem das posições e diâmetros aceitáveis. | 39 |
| Tabela 5: Alcance, altura e tempo com inclinação do lançador de 0°. | 40 |
| Tabela 6: Alcance, altura e tempo com inclinação do lançador de 15°. ... | 40 |
| Tabela 7: Alcance, altura e tempo com inclinação do lançador de 30°. ... | 41 |
| Tabela 8: Alcance, altura e tempo com inclinação do lançador de 45°. ... | 41 |
| Tabela 9: Alcance, altura e tempo com inclinação do lançador de 55°. ... | 42 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1: Comparativo entre o alcance das bolas, inclinação 0° | 43 |
| Gráfico 2: Comparativo entre o alcance das bolas, inclinação 30° | 43 |
| Gráfico 3: Comparativo entre a altura das bolas, inclinação 30° | 44 |
| Gráfico 4: Comparativo entre o alcance das bolas, inclinação 55° | 44 |
| Gráfico 5: Comparativo entre a altura das bolas, inclinação 55° | 45 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. OBJETIVOS..... | 12 |
| 2.1 Objetivo Geral | 12 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 12 |
| 3. REVISÃO DA LITERATURA | 13 |
| 3.1 Lançamento de projéteis..... | 13 |
| 3.2 Forças aerodinâmicas | 15 |
| 3.3 Crise do arrasto e camada limite..... | 17 |
| 3.4 Efeito Magnus | 18 |
| 3.5 Lançadores de bolas | 20 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS | 22 |
| 4.1 Calculo para seleção do motor..... | 22 |
| 4.2 Montagem..... | 25 |
| 4.3 Materiais e precificação | 36 |
| 4.4 Operação | 37 |
| 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS..... | 39 |
| 6. CONCLUSÃO | 46 |
| 7. REFERÊNCIAS..... | 47 |

1. INTRODUÇÃO

O esporte não é uma atividade moderna, sempre acompanhou a humanidade. Na necrópole de Beni-Hassan, no Egito, foi descoberto um mural datado de 1850 a.C. com figuras de prática de luta em vários movimentos. Em 1500 a.C. há registros da prática do pugilismo em Creta, e em 776 a.C. iniciam os Jogos Olímpicos gregos os quais foram importantes para a criação do calendário já que eram disputados de quatro em quatro anos (DUARTE, 2019).

Em 580 a.C. inicia-se a premiação em dinheiro ou em objetos de valor para os atletas campeões, começando a partir dessa época a profissionalização do esporte, onde mulheres e escravos eram proibidos de participar (DUARTE, 2019). O esporte por muito tempo foi restrito, na Grécia antiga as atividades atléticas faziam parte da formação do homem, aplicando valores morais, pedagógicos e fundamento militar para a preparação de jovens em guerreiros (GODOY, 1996).

“As melhores horas que vivi, e vivo, foram-me proporcionadas pelo esporte...” (DUARTE, 2019).

A palavra esporte é a tradução de “sport” registrada na Grã-Bretanha pela primeira vez em meados do século XV, mas derivada do francês antigo “disport” (BOURDIEU, 1983).

Atualmente conhecido como esporte sistematizado, teve origem em meados do século XVIII na Europa, devido à grande revolução industrial, aos pensadores iluministas e os incentivos gerados pela ideologia capitalista, que mudaram a forma do esporte de ser utilizado como forma de lazer para jogos com estruturas bem definidas, e de pequenos e simples campeonatos para confederações esportivas (BETTI, 1997).

No Brasil a história do esporte se mistura um pouco com a história dos militares, iniciando com a Carta Régia de 4 de dezembro de 1810 para criação da Escola Militar, nomeada Academia Real Militar, onde foi introduzida a ginástica alemã (CASTELLANI, 2010).

Um dos primeiros registros esportivos que se tem conhecimento publicado no Brasil, é datado de 1893 sobre os aspectos históricos do turfe, esporte que envolve corridas de cavalo (PACHECO, 1893).

O esporte sempre foi um atrativo da elite do Brasil, principalmente o futebol, mas em 1937 durante o governo Getúlio Vargas o esporte começou a ganhar relevância no âmbito federal, sendo criada a Divisão de Educação Física, órgão vinculado ao Ministério da Educação e Saúde, como a divisão era administrada por quatro militares e um civil, não havia referência para regulamentar o esporte de alto rendimento, por isso entre os anos 1939 a 1941 foram realizados estudos para fundamentar e regularizar o esporte.

Logo após, o então presidente Getúlio Vargas criou a Escola de Educação Física da Universidade do Brasil (atualmente UFRJ) e criou também o CND, Conselho Nacional de Desportos, órgão ao qual normatizava o esporte no Brasil, funcionando até o ano de 1986 (ALVES & PIERANTI, 2007).

O esporte moderno sofreu muitas mudanças ao decorrer do tempo, mudanças essas causadas por novos paradigmas, tendências da sociedade e também a marcos históricos. A espetacularização, popularização e mundialização do esporte impulsionaram mais ainda sua disseminação (MARQUES; GUTIERREZ; ALMEIDA, 2008).

Após o período da segunda guerra mundial e a divisão do mundo entre dois blocos econômicos, o esporte era visto não só como uma forma de orgulho nacional, mas também superioridade do sistema político, culminando no aumento do investimento e melhorias no esporte de alto nível (WADDINGTON, 2006).

Atualmente o esporte passou a ser de alto rendimento, demandando o uso de aparelhos e equipamentos para auxiliar os treinadores e atletas a se superaram cada vez mais diante dos adversários.

Esportes como vôlei, futebol, tênis e beisebol necessitam de um equipamento que consiga lançar bolas com alta velocidade e alcance, possibilitando ser simulados eventos que ocorrem no jogo, como um ataque ou recepção no vôlei, um chute ao gol de longa distância, um lançamento do adversário para o rebatedor no beisebol e até mesmo um ataque feito durante a partida de tênis.

Visando a necessidade dos atuais atletas de treinos mais intensos e mais próximo a realidade das partidas, este trabalho tem intenção de projetar um lançador capaz de disparar diferentes bolas com alta velocidade e alcance, sendo uma ferramenta ideal para os treinos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Projetar e detalhar a montagem de um lançador de bolas eficiente que possa ser aplicado para o treino de diferentes modalidades esportivas, com um custo muito inferior aos encontrados no mercado.

2.2. Objetivos Específicos

- Estudar os fenômenos físicos envolvidos durante o lançamento e também no percurso aéreo de uma bola.
- Simular o lançamento de diferentes bolas utilizando software, analisando a velocidade e alcance de cada uma.
- Desenvolver um modelo prático e de fácil uso.
- Projetar em 3D utilizando software CAD SolidWorks.

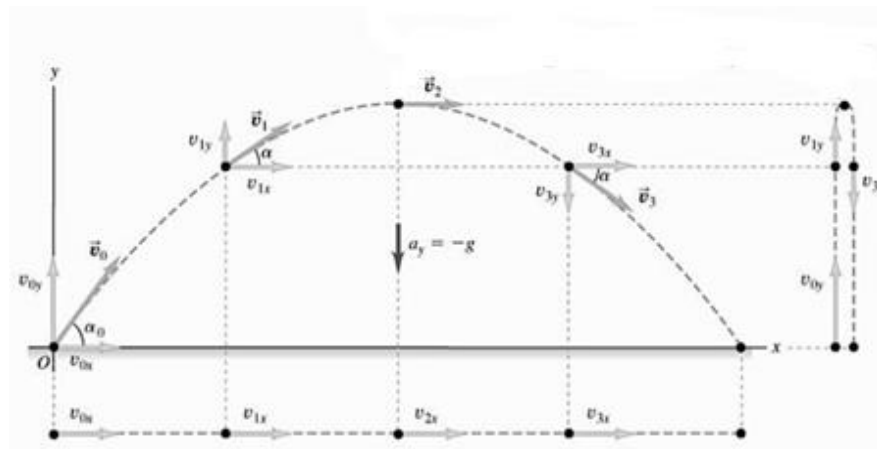
3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Lançamento de projéteis

Projétil é considerado como qualquer corpo lançado com uma velocidade inicial e que segue uma trajetória determinada pela aceleração da gravidade e a resistência do ar, o movimento do projétil vai estar sempre contido em um plano vertical causado pela aceleração da gravidade e determinado pela direção da velocidade inicial, por isso o movimento do projétil ocorre em um plano de duas dimensões (SEARS; ZEMANSKY; YOUNG; FREEDMAN, 2008).

O plano considerado será o plano xy com Ox vertical e Oy horizontal, orientados de baixo para cima, analisando x e y separadamente, a componente x da aceleração é igual a zero e y é constante e seu valor é $-g$. A figura abaixo exemplifica o movimento do projétil (SEARS; ZEMANSKY; YOUNG; FREEDMAN, 2008).

Figura 1: Trajetória de um projétil desprezando a resistência do ar.



Fonte: Adaptado de SEARS; ZEMANSKY; YOUNG; FREEDMAN, 2008.

Abaixo temos algumas equações úteis para o estudo de movimentos de projéteis.

$$v_x = v_{0x} + a_x t \quad (1)$$

$$x = x_0 + v_{0x} t - \frac{1}{2} a_x t^2 \quad (2)$$

$$v_x^2 = v_{0x}^2 + 2a_x(x - x_0) \quad (3)$$

$$x - x_0 = \left(\frac{v_{0x} + v_x}{2}\right)t \quad (4)$$

Supondo que a partícula esteja no ponto (x_0, y_0) , e no instante $t = 0$, as componentes da aceleração serão $a_x = 0$ e $a_y = -g$, considerando o movimento inicial no eixo Ox e fazendo a substituição de a_x por 0 nas equações (1) e (2), obtêm-se as equações:

$$v_x = v_{0x} \quad (5)$$

$$x = x_0 + v_{0x}t \quad (6)$$

Já para o movimento no eixo Oy , substitui y por x , v_y por v_x , v_{0y} por v_{0x} e a_y por $-g$ para encontrar:

$$v_y = v_{0y} - gt \quad (7)$$

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (8)$$

Observando a figura 1, podemos decompor a velocidade v em v_x e v_y da forma:

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha_0 \quad ; \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha_0 \quad (9)$$

Utilizando as equações (9) e substituindo nas equações (5) até (8), obtemos as equações de posição e velocidade do projétil em qualquer instante t .

$$x = (v_0 \cos \alpha_0)t \quad (10)$$

$$y = (v_0 \sin \alpha_0)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (11)$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha_0 \quad (12)$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha_0 - gt \quad (13)$$

A partir das equações acima é possível tirar outras informações como a distância r entre a origem e o projétil.

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (14)$$

E o módulo da sua velocidade escalar em qualquer instante t .

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (15)$$

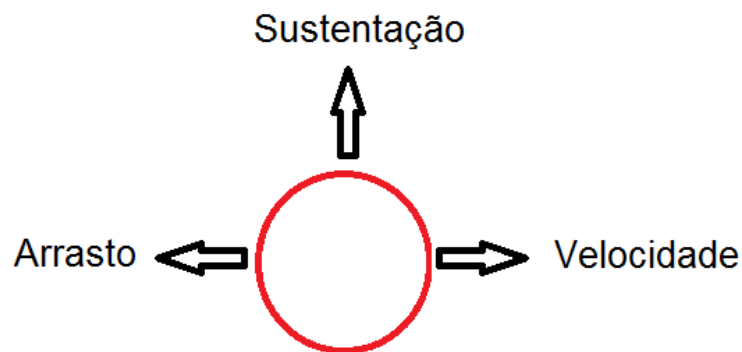
A altura do projétil pode ser encontrada utilizando a equação:

$$y = (tg\alpha_0)x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha_0} x^2 \quad (16)$$

3.2. Forças aerodinâmicas

Quando uma bola está em movimento no ar, ela submete-se a forças aerodinâmicas que a viscosidade do meio e a pressão atmosférica exercem. As forças podem ser decompostas em basicamente duas, arrasto é oposta a velocidade e a força de sustentação sendo perpendicular à velocidade, representadas pela figura 2.

Figura 2: Forças aerodinâmicas em uma bola no ar.



Fonte: Autor, 2019.

A força de arrasto está diretamente relacionada com a velocidade, e pode ser encontrada utilizando a equação:

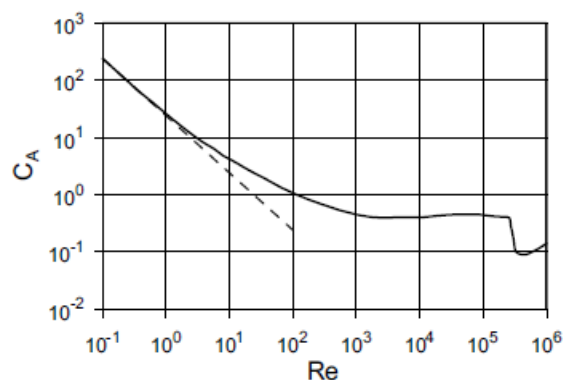
$$F_A = \frac{1}{2} C_A \rho A V^2 \quad (17)$$

Onde: C_A é o coeficiente de arrasto, ρ é a densidade do ar e A é a seção transversal da bola.

O coeficiente de arrasto é uma variável adimensional, e como as velocidades usadas no lançador são muito menores que a do som, uma forma de encontrar C_A é utilizando o número de Reynolds, $Re = \frac{\rho DV}{\eta}$ (ALMEIDA; SILVA, 2015).

D é o diâmetro da bola e η é a viscosidade do ar, e o valor encontrado nos fornece uma informação sobre o tipo do escoamento do fluido. Valores pequenos indicam um escoamento laminar, já valores maiores indicam escoamento turbulento (AGUIAR; RUBINI, 2004).

Figura 3: Coeficiente de arrasto de uma esfera lisa.



Fonte: AGUIAR; RUBINI, 2004.

A figura 4 apresenta uma relação determinada experimentalmente entre o C_A de uma esfera lisa em função do Re da mesma. Para $Re \ll 1$ o coeficiente de arrasto pode ser encontrado utilizando a fórmula de Stokes (AGUIAR; RUBINO, 2004).

$$C_A = 24/Re \quad (18)$$

A linha tracejada da Figura 3 representa a fórmula de Stokes, um evento curioso ocorre para Re maiores que 3×10^5 , havendo uma queda abrupta do C_A , esse evento é chamado de crise do arrasto (AGUIAR; RUBINO, 2004). Utilizando

como referência uma bola de futebol com 22 cm de diâmetro e superfície lisa, a relação entre sua velocidade e o número de Reynolds é:

$$V = (6,7 \times 10^{-5} \text{m/s}) \times \text{Re} \quad (19)$$

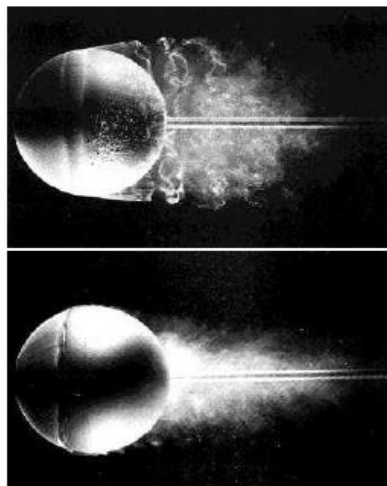
Então pode-se observar que o arrasto linear só vai acontecer com velocidades muito pequenas, na casa de 0,1 mm/s, outra observação é que a crise do arrasto vai acontecer com $V \approx 20$ m/s, como projeto pretende lançar bolas com 30 m/s, os lançamentos estarão na zona da crise do arrasto.

3.3. Crise do arrasto e camada limite

O ponto da crise do arrasto está ligado ao comportamento da camada limite, a camada limite são partículas de ar que “aderem” a superfície da bola, essas partículas transferem parcialmente sua viscosidade para partículas mais distantes criando uma camada de ar que desloca junto com a bola (ARMANTI, 1992).

Para valores de Reynolds menores que 20, a camada limite envolve toda a bola, seu escoamento é laminar e o arrasto é denominado pela viscosidade. Para Re maiores a camada limite se separa da bola e permanece na parte posterior, causando uma redução significativa da pressão na parte inferior da bola, efeito mostrado na parte de cima da figura 4 (ARMANTI, 1992).

Figura 4: Separação da camada limite.



Fonte: AGUIAR; RUBINO, 2004.

A crise do arrasto vai ocorrer quando a camada limite da bola se tornar turbulenta, e essa turbulência permite que a camada limite seja mais resistente a separação, a parte de baixo da figura 4 apresenta esse efeito, a contração da esteira atrás da bola reduz a área afetada por baixas pressões e diminui a resistência do ar (SHAPIRO, 1961).

A superfície da bola também vai interferir, para superfícies rugosas a crise do arrasto irá acontecer com um Re menor comparado com bolas de superfícies lisas, a rugosidade precipita a turbulência da camada limite diminuindo a resistência do ar em altas velocidades, logo bolas com superfícies mais ásperas irão oferecer menor resistência ao ar que bolas lisas (AGUIAR; RUBINO, 2004).

3.4. Efeito Magnus

Quando uma bola deslocando no ar gira em torno do seu próprio eixo, inicia uma ação de uma força de sustentação perpendicular ao sentido da velocidade, figura 2. Essa força pode ser determinada pela equação (ALWAYS, 1998):

$$\vec{F}_M = \frac{1}{2} C_s \rho A V^2 \frac{\vec{\omega} \times \vec{V}}{|\vec{\omega} \times \vec{V}|} \quad (20)$$

C_s é o coeficiente de sustentação, ω é a velocidade angular. A força de Magnus é perpendicular ao eixo de rotação e a velocidade. Assim como o C_A o C_s é uma variável adimensional, que vai depender do número de Reynolds, do parâmetro de rotação, dado por (ALWAYS, 1998):

$$S = \omega r / V \quad (21)$$

E também do ângulo α entre o eixo de rotação e a velocidade, assim é possível definir um parâmetro de Magnus C_M dado por:

$$C_M = C_s / (S \text{ sen} \alpha) \quad (22)$$

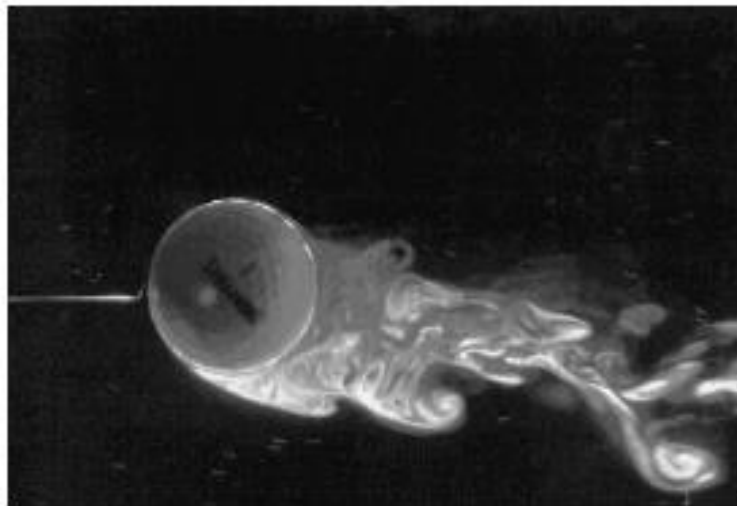
Então a força de Magnus também pode ser obtida pela equação:

$$\vec{F}_M = \frac{1}{2} C_M \rho A r \vec{\omega} \times \vec{V} \quad (23)$$

Experimentos feitos com bolas de futebol e de beisebol com o eixo de rotação perpendicular à velocidade, $\alpha = \pi/2$, indicaram $C_M \approx 1$ (ALWAYS, 1998).

Em bolas esportivas o efeito Magnus acontece devido ao comportamento da camada limite quando submetida a rotações. A figura abaixo apresenta o fluxo do ar em uma bola girando no sentido horário.

Figura 5 : Comportamento da camada limite sob rotação.



Fonte: Foto por H. Higuchi e M. van Rooij,
Dpt. of Mechanical, Aerospace and Manufacturing Engineering, Syracuse University.

Observa-se que a camada limite se antecipa na parte de baixo da bola e o fluxo de ar é oposto a rotação da bola, a assimetria da camada limite empurra o ar para baixo da bola que segundo a 3ª Lei de Newton, surge uma força contrária para cima, causando o efeito Magnus, ou a curva da trajetória da bola como mostra a figura 6.

Figura 6: Trajetória da bola com o chute do jogador Roberto Carlos.



Fonte: Adaptado de CURTO E CURIOSO, 2018.

3.5. Lançadores de bolas

No mercado nacional e internacional são possíveis encontrar lançadores de bolas, mas esses lançadores são de geometria específica para somente um tipo de bola.

A Figura 7 apresenta um lançador de bolas de vôlei vendido no site tennis classic no valor de R\$ 14.899,00, valor esse no dia 26/07/2019.

Figura 7: Máquina de volley tutor gold.



Fonte: TENNISCLASSIC, 2019.

Um exemplar de lançador nacional Figura 8 é o modelo Wiseball Tênis Pro 9ah, lançador de bolas de tênis encontrado na internet pelo valor de R\$ 8.100,00 no dia 26/07/2019.

Figura 8: Lançadora de bolas de tênis.



Fonte: WISEBALL, 2019.

A Figura 9 apresenta um lançador de bolas de futebol encontrado no mercado exterior vendido no site Sports Tutor no valor de US\$ 1.499,00 com a cotação do dia 26/07/2019 convertendo R\$ 5.655,73.

Figura 9: Lançador de bolas de futebol de campo.



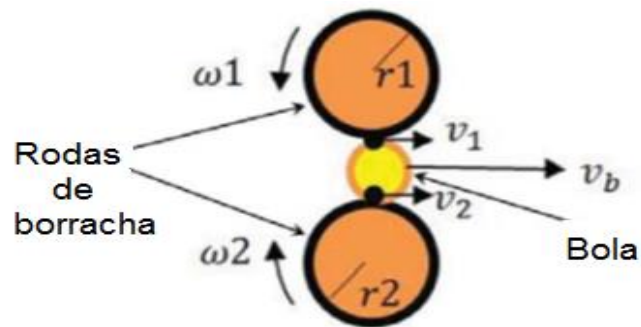
Fonte: SPORTSTUTOR, 2019.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Calculo para seleção do motor

O lançador de bolas é baseado em duas rodas de borracha com aro em plástico de 8", as duas rodas estão com uma distância menor que o diâmetro da bola conforme a Figura 10:

Figura 10: Esquema básico do lançador de bolas.



Fonte: Adaptado de PANNUSAMY et al., 2018.

Onde:

ω_1, ω_2 = velocidade angular das rodas.

v_1, v_2 = velocidade escalar das rodas .

v_b = velocidade da bola.

r_1, r_2 = raio das rodas.

Algumas variáveis do sistema já são previamente conhecidas, são elas:

Peso bola basquete = 575 g

Peso bola tênis = 56 g

Peso bola vôlei = 265 g

Diâmetro das rodas = 8" = 203 mm

Massa da roda = 1,3 kg

Velocidade máxima = 30 m/s

Iniciando os cálculos:

$$V_{\text{basquete}} = (v_1 + v_2) / 2$$

(24)

$$r = 101,5 \text{ mm} = r_1 = r_2$$

$$\omega = v/r = 30 / 0,1015 = 295,56$$

rad/s

Aproximando o valor de ω para 300 rad/s e então convertendo para rpm obtemos:

$$\text{rpm} = \omega/2\pi = 300 / 2\pi = 47,75 \text{ rps}$$

$$47,75 \times 60 \text{ rpm} = 2865 \text{ rpm}$$

Sabemos que 2865 rpm seria necessário para o motor ausente de carga, considerando que o fator de segurança da carga atuando no eixo do motor seja 1,5 devido cada bola oferecer uma resistência diferente a compressão, encontramos:

$$2865 \times 1,5 = 4297,5 \text{ rpm}$$

Arredondando o valor descobrimos que o motor precisa de uma rotação de 4300 rpm ou 450,3 rad/s para conseguir lançar a bola com uma velocidade de 30 m/s.

Calculando agora a energia cinética necessária para lançar a bola de basquete com uma velocidade de 30 m/s:

$$K = mv^2/2 \tag{25}$$

$$= (0,575 \times 30^2) / 2 = 258,75 \text{ J}$$

Encontrando a quantidade de energia armazenada nas rodas:

$$E_r = I\omega^2/2 \tag{26}$$

$$\text{sendo } I = mr^2 / 2 \tag{27}$$

$$= (1,3 \times 0,1^2) / 2 = 6,5 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$

$$E_r = (6,5 \times 10^{-3} \times 450,3^2) / 2 = 659 \text{ J}$$

$$\text{Energia Total (E)} = K + E_r \tag{28}$$

$$= 258,75 + 659 = 917,75 \text{ J}$$

Assumindo que sejam lançadas 10 bolas em um minuto.

$$\begin{aligned} \text{Potência (P)} &= E/t & (29) \\ &= (10 \times 917,75) / 60 \\ &= 152,95 \approx 153 \text{ W} = 0,2 \text{ cv} \end{aligned}$$

Considerando o coeficiente de segurança igual a 3 temos:

$$P_{\text{total}} = 3 \times 0,2 = 0,6 \text{ cv}$$

Após encontrada a potência requerida do motor para lançar bolas de basquete os cálculos serão refeitos utilizando a massa de uma bola de tênis. Calculando agora a energia cinética necessária para lançar uma bola de tênis com uma velocidade de 30 m/s:

$$\begin{aligned} K &= mv^2/2 & (25) \\ &= (0,056 \times 30^2) / 2 \\ &= 25,5 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energia Total (E)} &= K + E_r & (28) \\ &= 25,5 + 659 = 684,5 \text{ J} \end{aligned}$$

Assumindo que sejam lançadas 10 bolas em um minuto.

$$\begin{aligned} \text{Potência (P)} &= E/t & (29) \\ &= (10 \times 684,5) / 60 \\ &= 114,08 \text{ W} = 0,15 \text{ cv} \end{aligned}$$

Considerando o coeficiente de segurança igual a 3 temos:

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= 3 \times 0,15 \\ &= 0,45 \text{ cv} \end{aligned}$$

Repetindo os cálculos para encontrar a potência do motor necessária para lançar bolas de vôlei:

$$K = mv^2/2 \quad (25)$$

$$= (0,265 \times 30^2) / 2$$

$$= 119,25 \text{ J}$$

$$\text{Energia Total (E)} = K + E_r \quad (28)$$

$$= 119,25 + 659 = 778,25 \text{ J}$$

Assumindo que sejam lançadas 10 bolas em um minuto.

$$\text{Potência (P)} = E/t \quad (29)$$

$$= (10 \times 778,25) / 60$$

$$= 129,7 \text{ W} = 0,17 \text{ cv}$$

Considerando o coeficiente de segurança igual a 3 temos:

$$P_{\text{total}} = 3 \times 0,17$$

$$= 0,53 \text{ cv}$$

Partindo da análise dos cálculos observa-se que a potência requerida para lançar bolas de basquete, tênis e vôlei são respectivamente, 0,6 cv, 0,45 cv e 0,53 cv, a média dos valores é 0,526 cv ou 387,136 W e a rotação é de 4300 rpm, um motor de liquidificador de 400 W pode atender os valores encontrados, exceto à rotação, pois pode ser menor que a exigida.

4.2. Montagem

A montagem deverá ser feita em partes conforme a figura abaixo, o desenho de cada peça será apresentado também. Os desenhos foram feitos utilizando o software CAD SolidWorks 2016, as peças em chapas de aço são cortadas em uma máquina CNC de plasma.

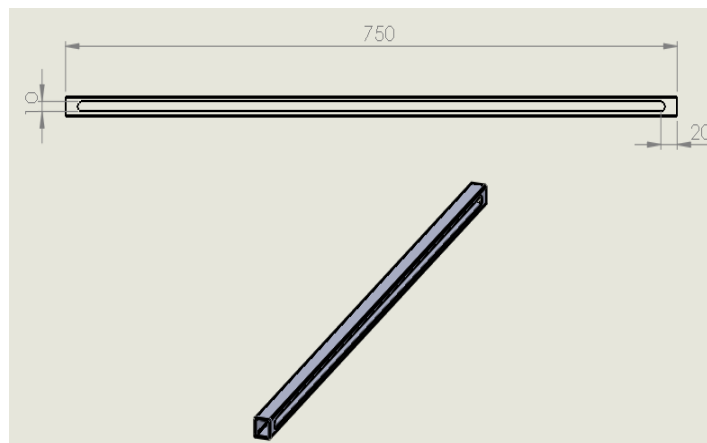
Figura 11: Lançador de bolas.



Fonte: Autor, 2019.

A parte 1 apresenta o metalon de perfil quadrado 20 x 20 com parede de 1mm de espessura, conforme a figura Figura 12.

Figura 12: Perna retrátil.



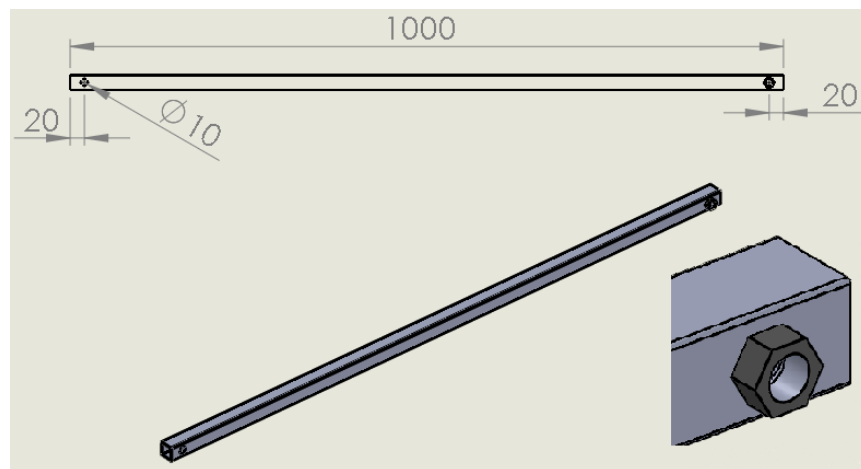
Fonte: Autor, 2019.

Em uma face do metalon são feitos dois furos com broca 10 mm ou 3/8" distantes 20 mm das extremidades conforme a Figura 12, e em seguida é feito um

furo oblongo utilizando uma esmerilhadeira ou lixadeira montada com disco de corte para aço, esse processo deve ser executado nos três pedaços de metalon 20 x 20.

Seguindo para a parte 2 da montagem, utilizando o perfil metalon 22 x 22 com parede de espessura igual a 1 mm, é realizado um furo passante com broca de 10 mm em um dos lados do metalon, distante 20 mm da extremidade, conforme Figura 13.

Figura 13: Perna do lançador.



Fonte: Autor, 2019.

No lado oposto do furo passante é feito um outro furo de 10 mm, mas somente em uma face, sendo soldada uma porca sextavada 3/8", para a soldagem pode ser utilizado eletrodo revestido 6013 ou MIG, a figura 6 apresenta a peça como deverá ficar.

Os 3 pedaços de metalons das pernas retrátil serão inseridos aos metalons 22 x 22 das pernas do lançador e fixados na posição com os manípulos 3/8" rosqueados nas porcas 3/8" soldadas aos perfis 22 x 22.

As partes 3, 4, 5, 6 e 7 são as peças em chapa metálica, seus formatos já foram projetados para facilitar a montagem e o alinhamento dos suportes nos devidos pontos onde deveram ser soldados, a Figura 14 apresenta a montagem dos suportes de fixação das pernas no disco dos suportes.

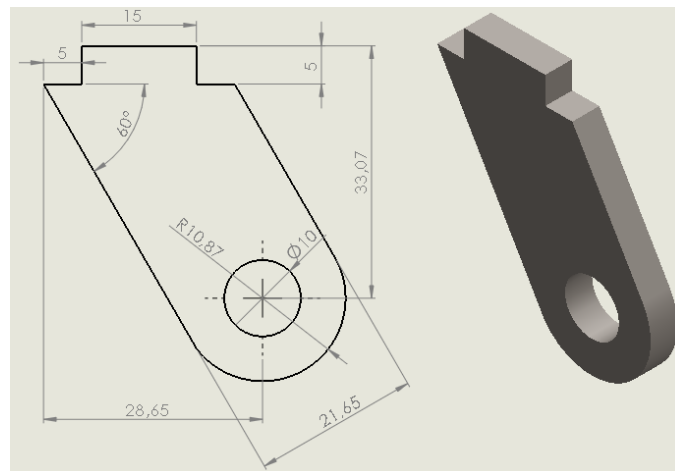
Figura 14: Montagem dos suportes das pernas no disco dos suportes.



Fonte: Autor, 2019.

A Figura 15 apresenta o desenho com o formato do suporte das pernas, sendo necessário 6 peças idênticas em chapa de aço SAE 1045 3/16”.

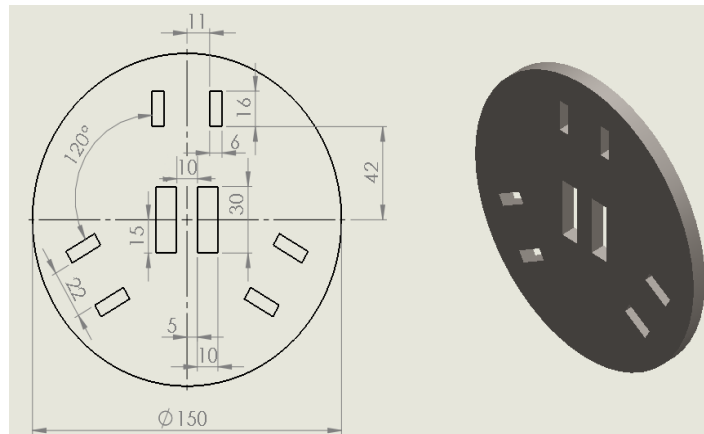
Figura 15: Suporte das pernas.



Fonte: Autor, 2019.

As 6 peças serão soldadas no disco dos suportes, a Figura 16 apresenta as dimensões do disco.

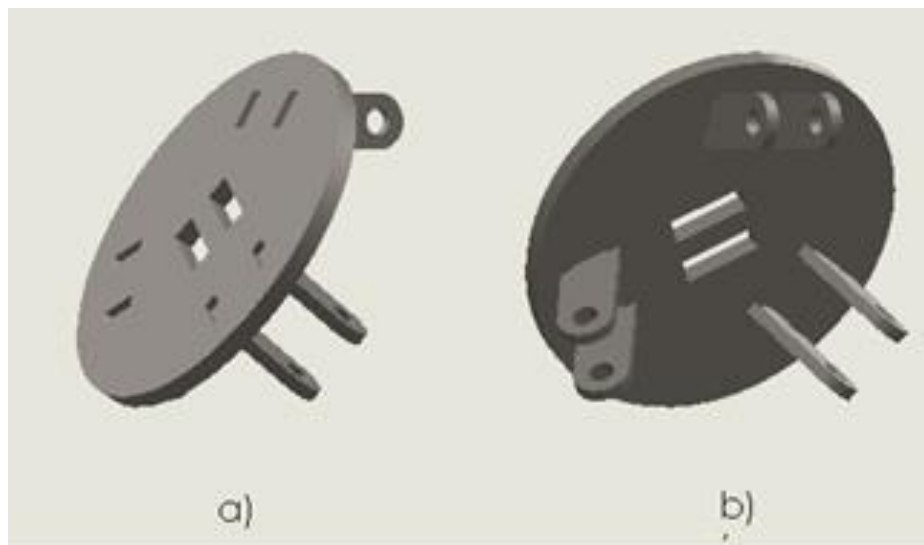
Figura 16: Disco dos suportes.



Fonte: Autor, 2019.

O disco deve ser cortado em uma chapa de aço SAE 1045 5/16", as 6 peças da parte 3 deverão ser soldadas com eletrodo revestido 6013 ou MIG no disco acima, posicionados conforme a Figura 14.

Figura 17: Montagem do disco com os suportes das pernas.

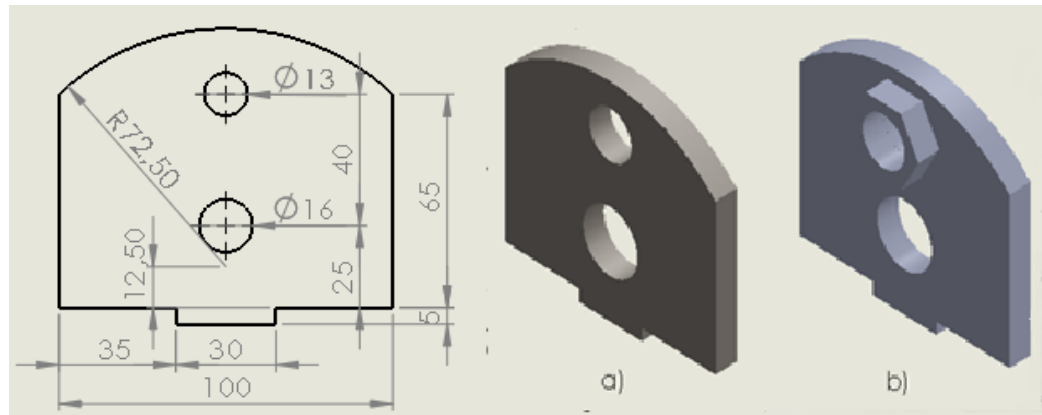


Fonte: Autor, 2019.

O item a) da Figura 17, primeiro é necessário pontear cada peça suporte na parte superior do disco conforme o item, as peças do suporte devem ficar afastadas 22 mm para que o metalon da perna do lançador seja encaixado e fique justo. Na parte inferior item b) deverá ser feito cordões de solda para fixar com rigidez as peças, cordões esses com eletrodo revestido ou MIG.

O próximo passo são soldar os suportes confeccionados em chapa SAE 1045 3/8", os suportes são mostrados na Figura 18.

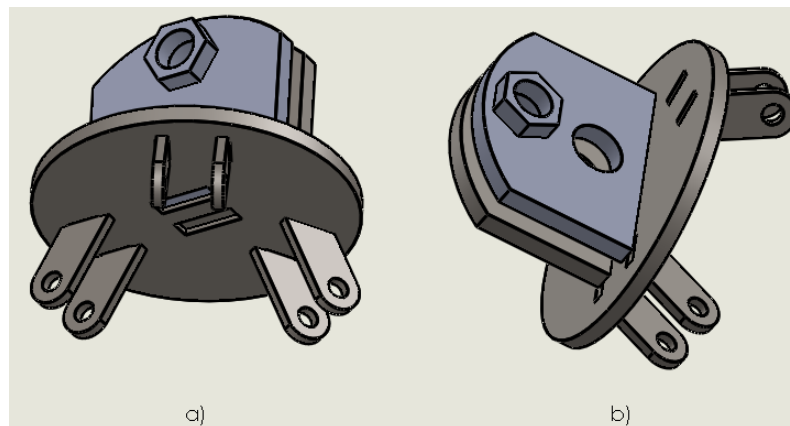
Figura 18: Regulador de inclinação.



Fonte: Autor, 2019.

São dois suportes, sendo que em um dos suportes será soldada uma porca sextavada 3/4" alinhada com o furo de 20 mm, conforme item b) da Figura 18. Em seguida os suportes são soldados no disco da figura 8, resultado apresentado na Figura 19.

Figura 19: Montagem dos reguladores de inclinação no disco dos suportes.



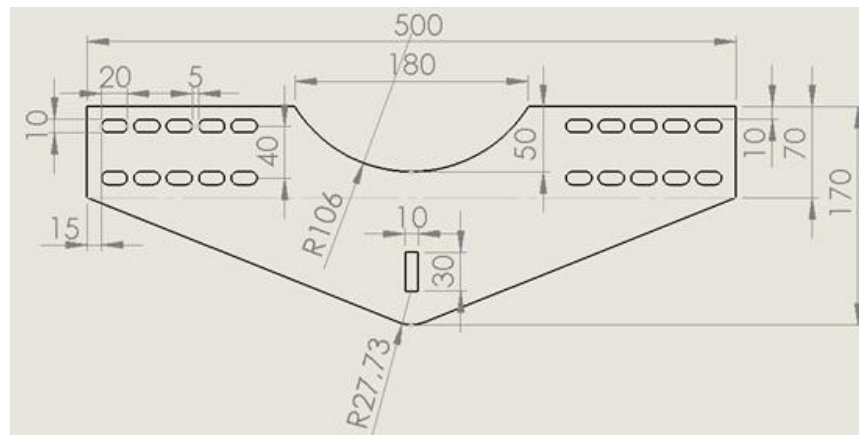
Fonte: Autor, 2019.

Assim como descrito nas montagens anteriores, no item a) os dois suportes deverão ser ponteados na parte inferior do disco para posicionar e alinhar, e na parte superior mostrada no item b) deverá ser realizado um cordão de solda com eletrodo revestido 6013 ou MIG.

Finalizado a montagem acima, são posicionadas as pernas e fixas com os parafusos, porcas e arruelas 3/8" nos suportes mostrados na Figura 15.

A última parte da montagem precisa ser mais cuidadosa, já que o corte da chapa tem alguns detalhes, apresentados na Figura 20.

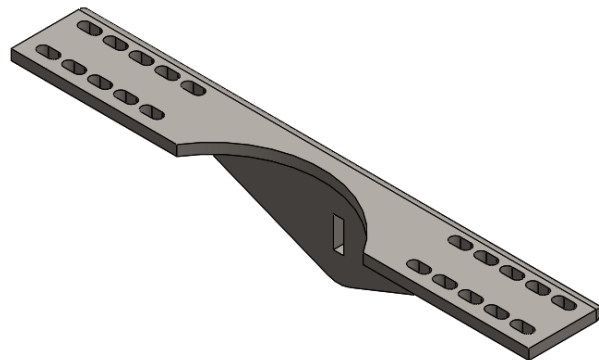
Figura 20: Base reguladora dos motores.



Fonte: Autor, 2019.

A peça da Figura 20 é confeccionada em chapa de aço SAE 1045 3/8", a base reguladora é composta de duas etapas, a primeira parte é a peça da Figura 20 e a segunda parte é o suporte soldada a mesma. A linha tracejada mostra onde deverá ser executada uma dobra de 90° na chapa de aço, ficando a seguinte forma.

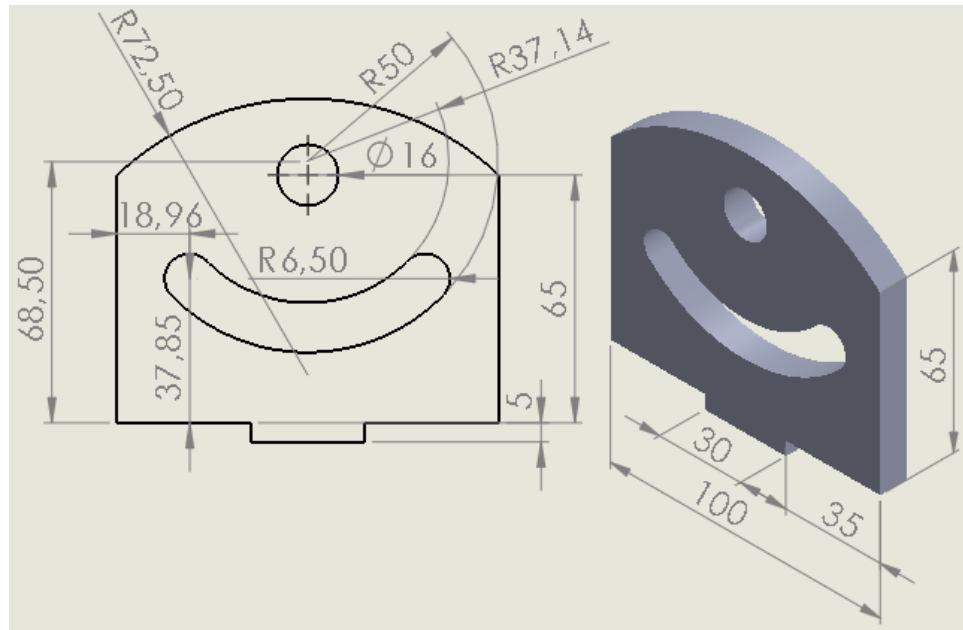
Figura 21: Base reguladora dos motores após dobra de 90°.



Fonte: Autor, 2019.

Na sequência, após o corte e dobra da chapa de aço, é soldado um suporte com as dimensões presentes na Figura 22.

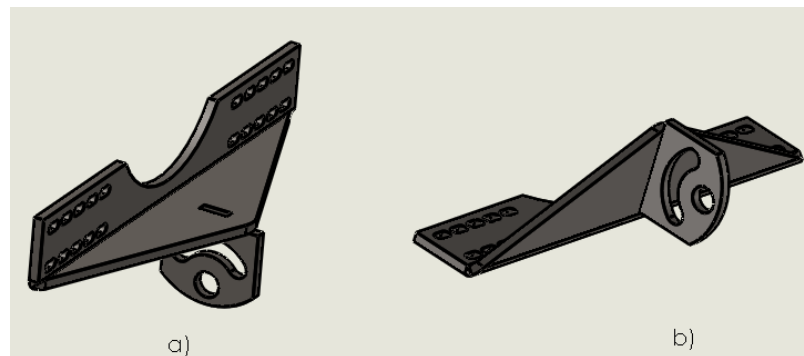
Figura 22: Suporte da base reguladora dos motores.



Fonte: Autor, 2019.

O suporte é confeccionado em chapa de aço SAE 1045 3/8", e soldado da chapa dobrada conforme a Figura 23.

Figura 23: Base reguladores dos motores com o suporte.

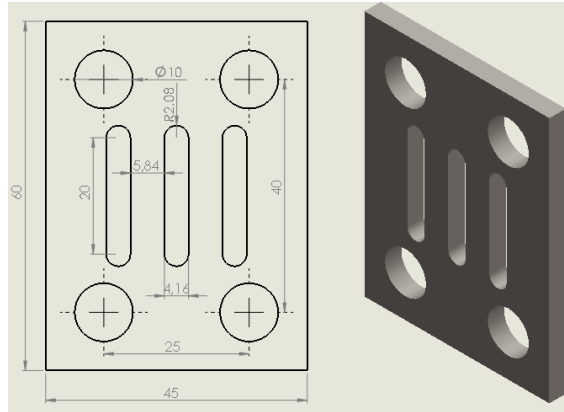


Fonte: Autor, 2019.

Como realizado anteriormente em outras partes da montagem, no item a) o suporte é pontado para posicionar e alinhar o suporte, após o pontear é realizado um cordão de solda dos dois lados mostrados no item b). Realizados os passos acima a estrutura já está pronta, basta colocar o parafuso de aço 1" as arruelas e a porca no furo de 26 mm, entre o suporte da base reguladora e os reguladores de inclinação. No furo de 20 mm é inserido o parafuso de aço 3/4" com as arruelas e porca. Assim a montagem estará igual a Figura 11.

Para finalizar o lançador é necessário acoplar os motores, a Figura 24 apresenta a base dos motores.

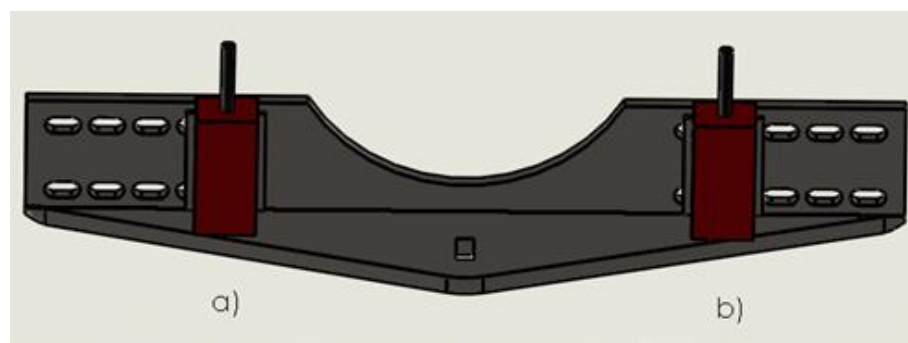
Figura 24: Base dos motores.



Fonte: Autor, 2019.

A base da Figura 24 tem os três oblongos para fixar o motor, e então ser fixo na base reguladora dos motores, com os parafusos, porcas e arruelas de 3/8". A Figura 25 apresenta os motores genéricos fixos as bases acima e posicionados nos espaçadores da chapa curvada.

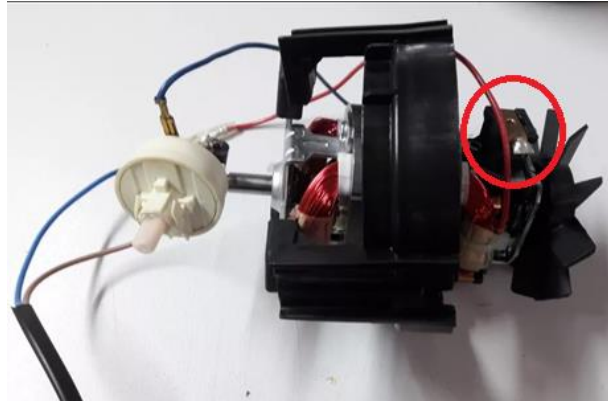
Figura 25: Motores genéricos posicionados.



Fonte: Autor, 2019.

Antes de fazer a montagem acima é necessário inverter os conectores das escovas do motor que ficará na posição a) da Figura 25. A Figura 26 mostras onde está situada a conexão das escovas.

Figura 26: Posição da conexão das escovas.

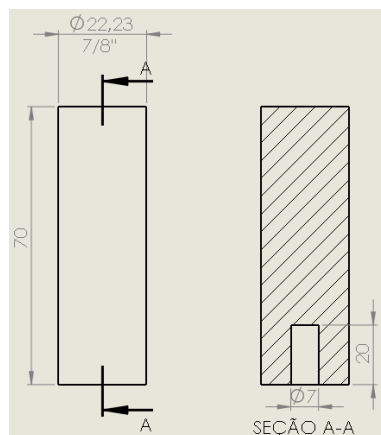


Fonte: Autor, 2019.

O motor acima é um skymssen 0,5 cv, 127 V, 4500 rpm, modelo LC 10, o sistema elétrico não precisará ser montado, pois os motores já vêm com dimmer e cabo de alimentação, como mostrado na imagem acima. O usuário precisará ficar atento para que a velocidade dos dois motores esteja na mesma posição do dimmer.

Após a fixação dos motores, serão encaixadas as rodas de borracha nos motores, sendo necessário o uso de buchas devido a diferença entre os diâmetros do eixo e o diâmetro da furação da roda de borracha, as buchas são de nylon com as dimensões mostradas na Figura 27.

Figura 27: Bucha para eixo do motor.



Fonte: Autor, 2019.

Para uma maior garantia, é indicado o uso de cola entre as buchas e o eixo dos motores e também entre as buchas e as rodas.

A Figura 28 apresenta as rodas de borracha utilizadas.

Figura 28: Rodas de borracha.



Fonte: MERCADOLIVRE, 2019.

A Figura 29 apresenta o esquema final de como ficará o lançador.

Figura 29: Montagem completa do lançador de bolas.



Fonte: Autor, 2019.

4.3. Materiais e precificação

A tabela 1 relaciona os materiais a serem utilizados. Usando a cotação do dólar no dia 19/06/19 US\$ 1,00 = R\$ 3,87.

Tabela 1: Lista de materiais usados

| Qtd. | Item | R\$ | US\$ | Total (R\$) |
|------|--|--------|-------|-------------|
| 2 | ¹ Motor liquidificador 400 W | 139,99 | 36,17 | 279,98 |
| 2 | ² Roda borracha 8 polegadas | 15,99 | 4,13 | 31,98 |
| 3 | ³ 75 cm metalon perfil quadrado 20 x 20 | 0,75 | 0,19 | 2,25 |
| 3 | ³ 1 m metalon perfil quadrado 22 x 22 | 1,00 | 0,26 | 3,00 |
| 2 | ⁴ Bucha para eixo do motor | 50,00 | 12,92 | 100,00 |
| 3 | ⁴ Manípulo 3/8" x 1" | 3,00 | 0,77 | 9,00 |
| 8 | ⁴ Parafuso galvanizado 3/8" x 1" | 1,00 | 0,26 | 11,00 |
| 14 | ⁴ Arruela lisa 3/8" | 0,30 | 0,08 | 4,20 |
| 14 | ⁴ Porca sextavada 3/8" | 0,70 | 0,18 | 9,80 |
| 3 | ⁴ Porca travante 3/8" | 0,90 | 0,23 | 2,70 |
| 3 | ⁴ Parafuso galvanizado 3/8" x 1 1/2" | 1,20 | 0,31 | 3,60 |
| 1 | ⁴ Parafuso aço 5/8" x 2" | 4,00 | 1,03 | 4,00 |
| 2 | ⁴ Arruela lisa 5/8" | 1,30 | 0,34 | 2,60 |
| 1 | ⁴ Porca travante 5/8" | 5,00 | 1,29 | 5,00 |
| 1 | ⁴ Manípulo M12 x 50 mm' | 5,00 | 1,29 | 5,00 |
| 2 | ⁴ Arruela lisa M12 | 0,80 | 0,21 | 1,60 |
| 1 | ⁴ Porca sextavada M12 | 2,00 | 0,52 | 2,00 |

Fonte: Autor, 2019

O item ³ foi cotado em um ferro velho, situado na cidade de Santo Antônio de Jesus na Bahia. Os itens com a marcação ⁴ foram cotados na empresa Caldeiras Brasil situada na mesma cidade do ferro velho.

A tabela 2 relacionam materiais que precisam ser fabricados, utilizando o valor 12,00 R\$ / kg que é cobrado pela empresa Caldeiras Brasil para cortar chapas metálicas em um plasma CNC.

Tabela 2: Quantidade de chapas de aço utilizadas.

| Kg | Chapa | R\$ | US\$ | Total (R\$) |
|-------|--------------------------|-------|------|-------------|
| 0,208 | Chapa aço SAE 1045 3/16" | 12,00 | 3,10 | 2,50 |
| 1,1 | Chapa aço SAE 1045 5/16" | 12,00 | 3,10 | 13,20 |
| 0,15 | Chapa aço SAE 1045 1/8" | 12,00 | 3,10 | 1,80 |
| 5,8 | Chapa aço SAE 1045 3/8" | 12,00 | 3,10 | 69,60 |

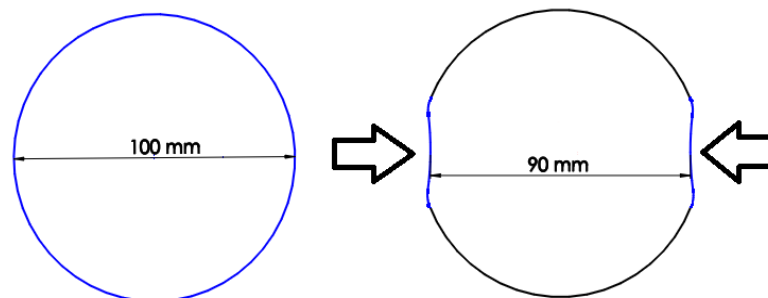
Fonte: Autor, 2019.

Valor total é R\$ 555,27 (US\$ 143,48). Sendo este valor uma estimativa do gasto com os materiais acima, não incluindo o valor de soldagem.

4.4. Operação

Para poder lançar as bolas é necessário que as rodas de borracha tenham um contato, quanto maior a área de contato melhor a precisão do lançamento, por isso as rodas precisam achatar um pouco as bolas, a Figura 30 demonstra uma compressão de 10 mm.

Figura 30: Bola comprimida por duas forças.



Fonte: Autor, 2019.

Para bolas com diâmetro de até 100 mm, será considerada uma compressão de 10 mm, para bolas de diâmetro maior será considerada uma compressão de 20 mm. A tabela 3, apresenta o diâmetro das bolas usadas por cada modalidade esportiva.

Tabela 3: Esportes e suas respectivas bolas.

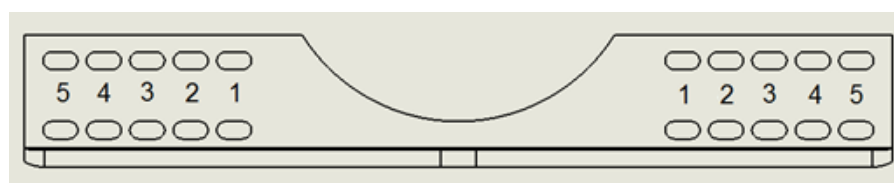
| Esporte | Diâmetro médio (cm) | Massa média (g) |
|-------------------------|----------------------------|------------------------|
| Lacrosse | 6,3 | 225 |
| Tênis | 6,5 | 57,6 |
| Criquete | 7 | 160 |
| Beisebol | 7,4 | 142 |
| Softbol | 9,7 | 186,4 |
| Handbol H3 | 18,8 | 450 |
| H2 | 17,5 | 350 |
| H1 | 16,2 | 310 |
| Futsal sub 16 | 20 | 420 |
| Sub 13 | 18,1 | 365 |
| Sub 11 e 9 | 16,8 | 315 |
| Inferior a sub 9 | 13,2 | 265 |
| Vôlei quadra | 21 | 270 |
| Vôlei areia | 21,3 | 270 |
| Futebol society | 21,5 | 435 |
| Futebol campo | 22 | 430 |
| Basquete masc. | 24,3 | 608,5 |
| feminino | 23,4 | 540 |

Fonte: Autor, 2019.

Não foi incluído na tabela acima esportes como futebol americano, rúgbi, devido a estrutura do lançador ser para bolas redondas.

O regulador do lançador, contém cortes oblongos os quais serão usados para regular a distância das rodas de borracha adaptando-se a bolas de diâmetros diferentes.

Figura 31: Posições do regulador do lançador.



Fonte: Autor, 2019.

A partir das posições enumeradas na Figura 31, pode-se utilizar bolas de diversos diâmetros, conforme a tabela 4 abaixo.

Tabela 4: Regulagem das posições e diâmetros aceitáveis.

| Posição | Diâmetro aceitáveis (cm) |
|----------------|---------------------------------|
| 5 e 4 | 22 - 25 |
| 4 e 3 | 17 - 20 |
| 3 e 2 | 12 - 15 |
| 2 e 1 | 6,3* - 9 |

Fonte: Autor, 2019.

Na tabela acima o (*) significa que a bola de lacrosse devido a sua estrutura rígida e revestimento de couro pode ser lançada sem precisar sofrer uma compressão de 10 mm.

Regulando os motores para o diâmetro da bola a ser lançada, deve-se alimentar os motores em uma fonte de energia, 127 V ou 220 V dependendo da tensão do motor, ajustando o dimmer de cada motor para que os mesmos tenham a rotação igual, rotações diferentes podem gerar o efeito Magnus.

Folgando o parafuso de 3/4" do regulador do lançador é possível alterar a inclinação, sendo possível inclinar 55° para frente ou para trás.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com base na fundamentação teórica sobre lançamentos oblíquos, e fazendo o uso de um software educativo disponível na plataforma PHET desenvolvida pela Universidade de Colorado Boulder, foi possível determinar a trajetória de diferentes bolas, considerando que as duas rodas de borracha são síncronas, não acontecendo o efeito Magnus, desprezando também a crise do arrasto, só levando em consideração a resistência do ar, com coeficiente de arrasto $C_A = 0,5$.

Para simulação foram adotadas 3 variações de rotação, 4300 rpm, 4000 rpm e 3500 rpm, tais rotações fornecem as respectivas velocidades 30 m/s, 28 m/s e 24,4 m/s, sendo alterado também a inclinação do lançador, sendo as inclinações de 0°, 15°, 30°, 45° e 55°. Sendo iniciado com a inclinação de 0°, os valores encontrados estão na tabela 5.

Tabela 5: Alcance, altura e tempo com inclinação do lançador de 0°.

| | | Bola | | | | | |
|-----------------|-------------|-------------|----------|--------|-------|---------|----------|
| Inclinação | | Beisebol | Handebol | Futsal | Vôlei | Futebol | Basquete |
| 0° | | Campo | | | | | |
| 30 m/s | Alcance (m) | 18,9 | 17,4 | 16,9 | 14,9 | 16,3 | 16,9 |
| | Altura (m) | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| | Tempo (s) | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,7 |
| 28 m/s | Alcance (m) | 17,8 | 16,4 | 15,9 | 14,2 | 15,4 | 16 |
| | Altura (m) | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| | Tempo (s) | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,7 |
| 24.4 m/s | Alcance (m) | 15,6 | 14,5 | 14,2 | 12,8 | 13,8 | 14,2 |
| | Altura (m) | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| | Tempo (s) | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,7 |

Fonte: Autor, 2019.

Alterando a inclinação do lançador para 15°, foram obtidos os valores exibidos na tabela 6.

Tabela 6: Alcance, altura e tempo com inclinação do lançador de 15°.

| | | Bola | | | | | |
|-----------------|-------------|-------------|----------|--------|-------|---------|----------|
| Inclinação | | Beisebol | Handebol | Futsal | Vôlei | Futebol | Basquete |
| 15° | | Campo | | | | | |
| 30 m/s | Alcance (m) | 39,3 | 31,1 | 29 | 22,6 | 27 | 29,1 |
| | Altura (m) | 5,2 | 4,7 | 4,6 | 4,2 | 4,5 | 4,6 |
| | Tempo (s) | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,6 | 1,6 |
| 28 m/s | Alcance (m) | 36 | 28,9 | 27,1 | 21,3 | 25,3 | 27,2 |
| | Altura (m) | 4,9 | 4,5 | 4,4 | 4,1 | 4,2 | 4,4 |
| | Tempo (s) | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,6 | 1,6 |
| 24.4 m/s | Alcance (m) | 30 | 24,9 | 23,6 | 19 | 22,2 | 23,6 |
| | Altura (m) | 4,4 | 3,9 | 3,8 | 3,7 | 3,8 | 3,8 |
| | Tempo (s) | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,5 | 1,5 |

Fonte: Autor, 2019.

Mudando a inclinação do lançador para 30°, foram obtidos os dados exibidos na tabela 7.

Tabela 7: Alcance, altura e tempo com inclinação do lançador de 30°.

| | | Bola | | | | | |
|-------------------|-------------|-------------|----------|--------|-------|------------------|----------|
| Inclinação 30° | | Beisebol | Handebol | Futsal | Vôlei | Futebol Campo | Basquete |
| 30 m/s | Alcance (m) | 51,8 | 37,8 | 34,6 | 25,5 | 31,7 | 34,8 |
| | Altura (m) | 11 | 9,7 | 9,2 | 7,7 | 8,7 | 9,2 |
| | Tempo (s) | 2,8 | 2,6 | 2,5 | 2,3 | 2,4 | 2,5 |
| 28 m/s | Alcance (m) | 47,6 | 35,3 | 32,5 | 24,3 | 29,9 | 32,7 |
| | Altura (m) | 10,3 | 9 | 8,6 | 7,2 | 8,2 | 8,6 |
| | Tempo (s) | 2,7 | 2,5 | 2,4 | 2,2 | 2,4 | 2,4 |
| 24.4 m/s | Alcance (m) | 39,8 | 30,7 | 28,5 | 21,8 | 26,4 | 28,6 |
| | Altura (m) | 8,5 | 7,9 | 7,6 | 6,2 | 7,3 | 7,6 |
| | Tempo (s) | 2,5 | 2,3 | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 2,2 |

Fonte: Autor, 2019.

Repetindo o passo anterior, com a inclinação de 45°, os dados estão presentes na tabela 8.

Tabela 8: Alcance, altura e tempo com inclinação do lançador de 45°.

| | | Bola | | | | | |
|-------------------|-------------|-------------|----------|--------|-------|------------------|----------|
| Inclinação 45° | | Beisebol | Handebol | Futsal | Vôlei | Futebol Campo | Basquete |
| 30 m/s | Alcance (m) | 53,5 | 37,4 | 34 | 24,4 | 30,8 | 34,1 |
| | Altura (m) | 19 | 15,3 | 14,5 | 11,6 | 13,6 | 14,5 |
| | Tempo (s) | 3,8 | 3,4 | 3,2 | 2,9 | 3,1 | 3,3 |
| 28 m/s | Alcance (m) | 49,1 | 35,1 | 32,1 | 23,3 | 29,2 | 32,2 |
| | Altura (m) | 17,2 | 14,2 | 13,4 | 11 | 12,7 | 13,5 |
| | Tempo (s) | 3,6 | 3,2 | 3,1 | 2,8 | 3 | 3,1 |
| 24.4 m/s | Alcance (m) | 41,3 | 30,7 | 28,3 | 21,1 | 26 | 28,4 |
| | Altura (m) | 14,2 | 12,2 | 11,7 | 9,9 | 11 | 11,7 |
| | Tempo (s) | 3,3 | 3 | 2,9 | 2,6 | 2,8 | 2,9 |

Fonte: Autor, 2019.

E por último foram feitas as simulações com o lançador na sua inclinação máxima 55°, os dados estão presentes na tabela 9.

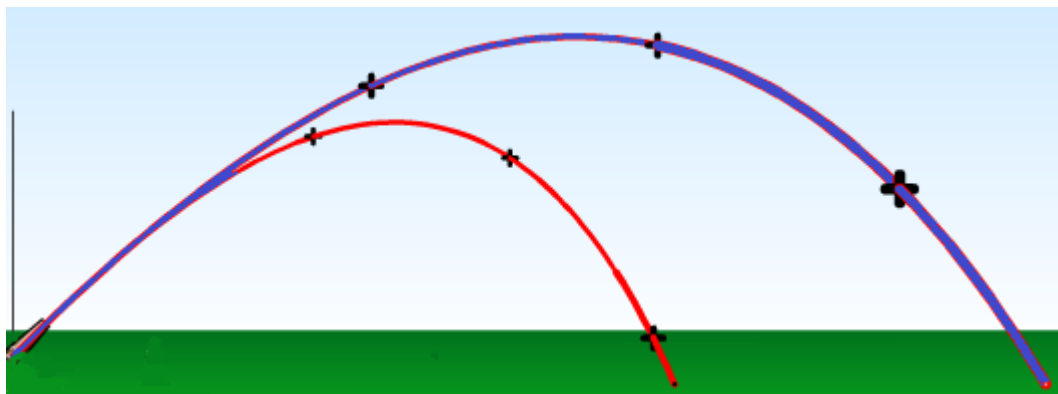
Tabela 9: Alcance, altura e tempo com inclinação do lançador de 55°.

| | | Bola | | | | | |
|-------------------|-------------|----------|----------|--------|-------|------------------|----------|
| Inclinação 55° | | Beisebol | Handebol | Futsal | Vôlei | Futebol Campo | Basquete |
| 30 m/s | Alcance (m) | 48,4 | 33,5 | 30,4 | 21,6 | 27,4 | 30,5 |
| | Altura (m) | 23,8 | 19 | 17,7 | 14 | 16,6 | 17,7 |
| | Tempo (s) | 4,3 | 3,8 | 3,7 | 3,2 | 3,6 | 3,7 |
| 28 m/s | Alcance (m) | 44,6 | 31,5 | 28,7 | 20,7 | 26,1 | 28,8 |
| | Altura (m) | 21,7 | 17,5 | 16,5 | 13,1 | 15,4 | 16,5 |
| | Tempo (s) | 4,1 | 3,6 | 3,5 | 3,1 | 3,4 | 3,5 |
| 24.4 m/s | Alcance (m) | 37,7 | 27,7 | 25,4 | 18,7 | 23,3 | 25,5 |
| | Altura (m) | 17,8 | 15 | 14,3 | 11,5 | 13,4 | 14,3 |
| | Tempo (s) | 3,7 | 3,4 | 3,3 | 3 | 3,2 | 3,3 |

Fonte: Autor, 2019.

A Figura 32 apresenta a trajetória de uma bola de beisebol, em azul, e uma bola de basquete, em vermelho, as duas foram lançadas a 30 m/s com um ângulo de 45°.

Figura 32: Trajetória bola de beisebol x basquete.

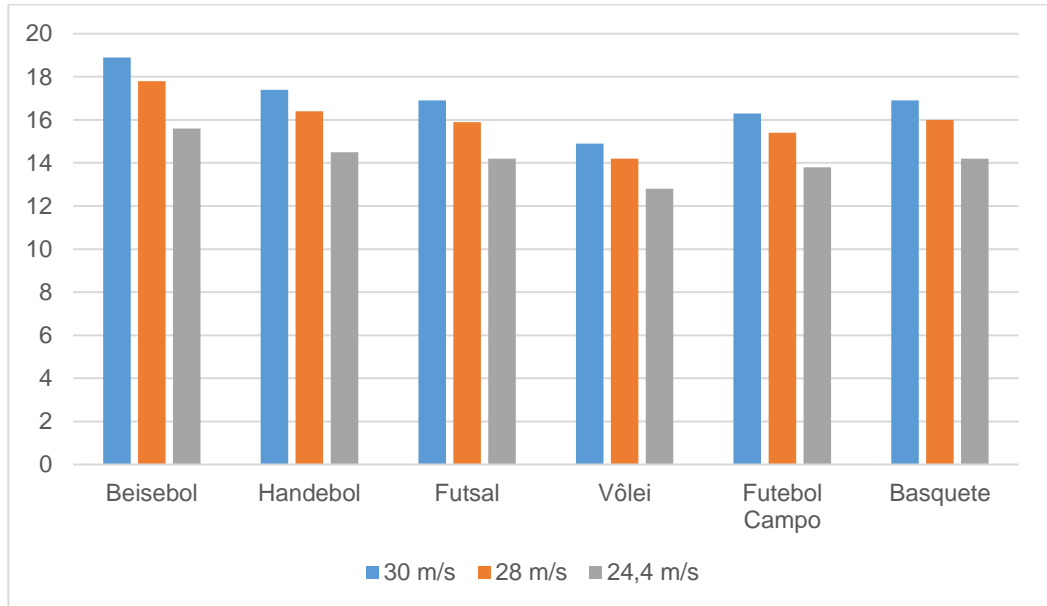


Fonte: Autor, 2019.

O desvio na trajetória da linha vermelha evidencia o efeito da força de arrasto na trajetória das bolas.

O Gráficos 1, apresenta um comparativo entre os valores de alcance (em metros) de diferentes bolas esportivas, estando o lançador inclinado em 0°, com as respectivas velocidades 30 m/s, 28 m/s e 24,4 m/s.

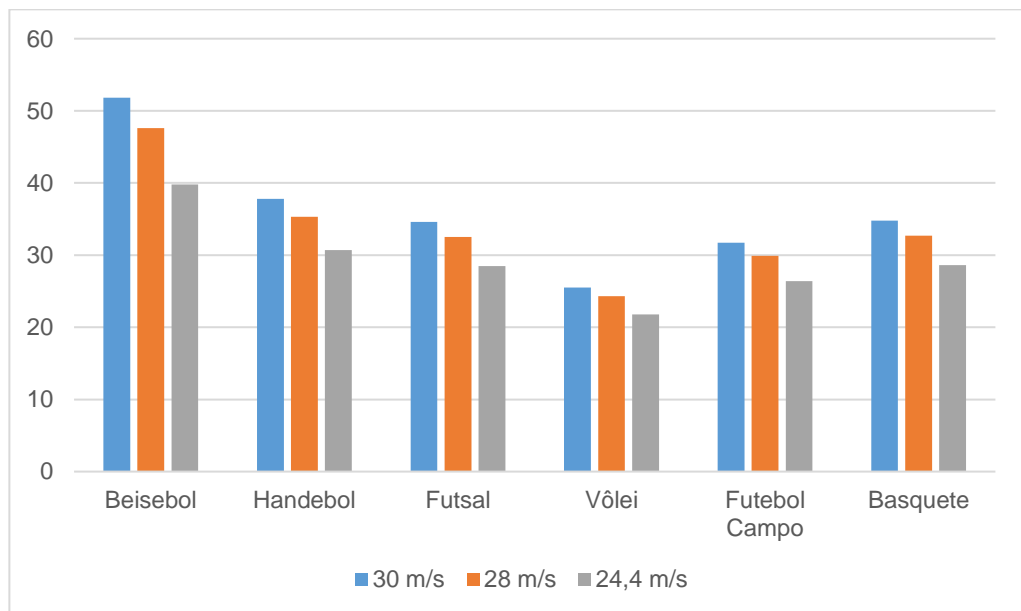
Gráfico 1: Comparativo entre o alcance das bolas, inclinação 0°.



Fonte: Autor, 2019.

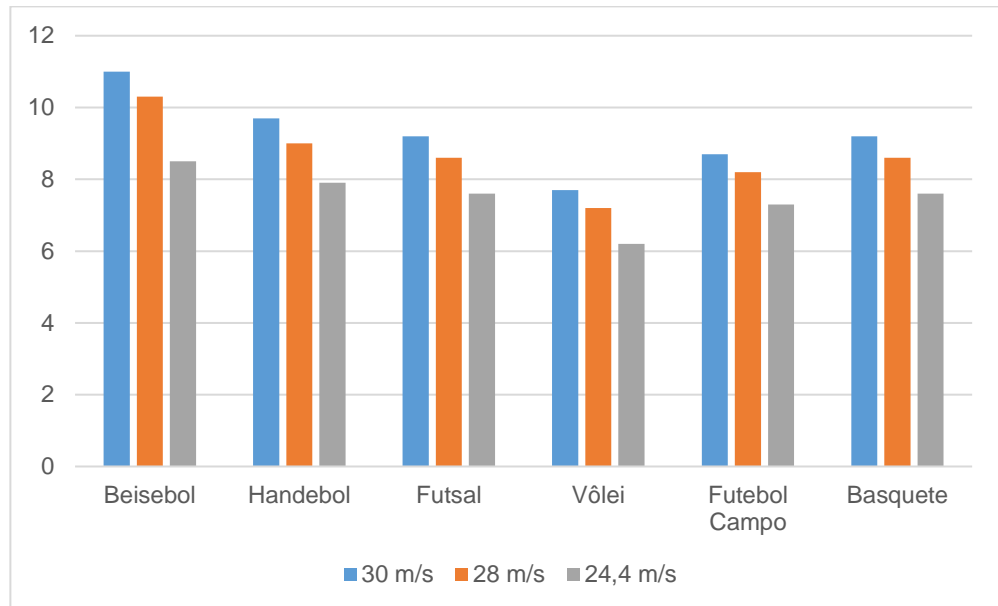
O Gráficos 2, apresenta um comparativo entre os valores de alcance (em metros) de diferentes bolas esportivas, o Gráfico 3 compara a altura (em metros) das bolas, estando o lançador inclinado em 30°, com as respectivas velocidades 30 m/s, 28 m/s e 24,4 m/s.

Gráfico 2: Comparativo entre o alcance das bolas, inclinação 30°.



Fonte: Autor, 2019.

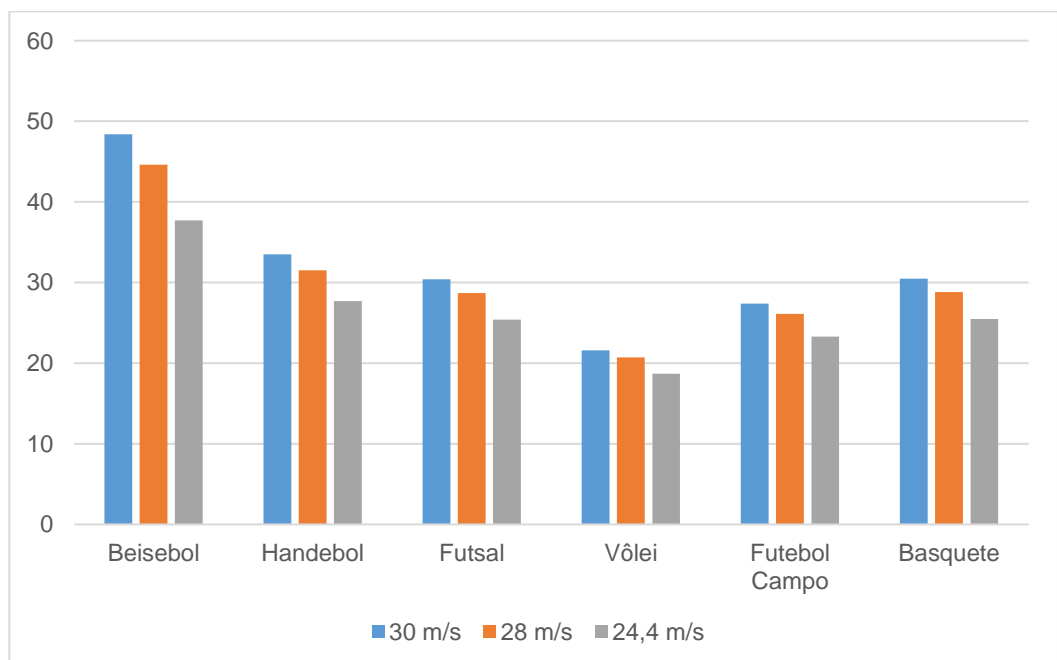
Gráfico 3: Comparativo entre a altura das bolas, inclinação 30°.



Fonte: Autor, 2019.

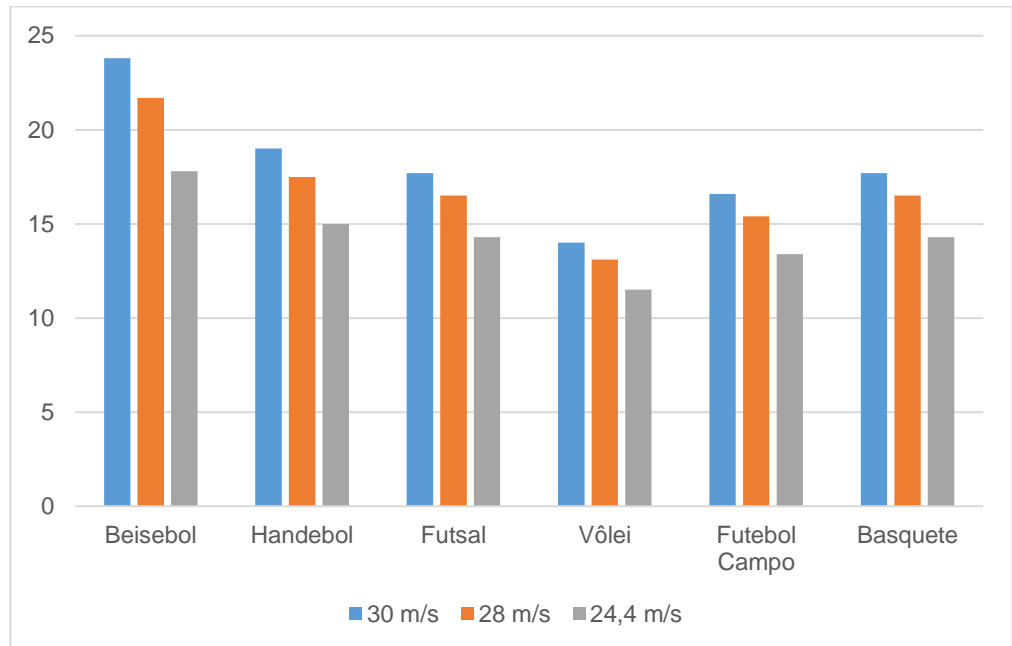
O Gráficos 4, apresenta um comparativo entre os valores de alcance (em metros) de diferentes bolas esportivas, o Gráfico 5 compara a altura (em metros) das bolas, estando o lançador inclinado em 55°, com as respectivas velocidades 30 m/s, 28 m/s e 24,4 m/s.

Gráfico 4: Comparativo entre o alcance das bolas, inclinação 55°.



Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 5: Comparativo entre a altura das bolas, inclinação 55°.



Fonte: Autor, 2019.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho foi importante para desenvolver o modelo BTLC – 01, mostrando-se viável para auxílio do treino à atletas, podendo lançar diferentes bolas com alta velocidade e alcance, fácil operação e manutenção, requerendo um baixo custo para sua construção.

As equações utilizadas na fundamentação teórica foram importantes para simular a trajetória da bola e os efeitos físicos envolvidos durante os lançamentos, as simulações para ângulos e velocidades diferentes proporcionaram um vasto número de opções para o operador.

A utilização do software SolidWorks possibilitou a modelagem 3D de cada peça e suas dimensões, facilitando a visualização do passo a passo de montagem do modelo BTLC – 01. O software fornecido pela plataforma PHET auxiliou na aplicação de conceitos físicos à geometria do lançador, para obter os valores de distância e altura das bolas.

Uma proposta para trabalhos futuros é a montagem do BTLC – 01 para análise de possíveis melhorias estruturais. Trocar os dimmers dos motores por controladores eletrônicos, podendo diferenciar a rotação de cada roda e então estudar o efeito Magnus, aplicado a diferentes modelos de bola.

7. REFERÊNCIAS

AGUIAR, Carlos Eduardo; RUBINI, Rodrigo. **A aerodinâmica da bola de futebol**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.26, p 297, 2004.

ALWAYS, Leroy Ward. **Aerodynamics of the Curve-Ball: An Investigation of the Effects of Angular Velocity on Baseball Trajectories**. University of California, 1998.

ALMEIDA, Bruno Seixas Gomes de; SILVA, Robson Coutinho. **Aerodinâmica de bolas**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.37, 2015.

ALVES, José Antônio Barros, PIERANTI, Octavio Penna. **O estado e a formulação de uma política nacional de esporte no Brasil**. RAE-eletrônica [en linea] 2007, 6 (Enero-Junio) [Fecha de consulta: 5 de junho de 2019] Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=205114655002>> ISSN 1676-5648

ARMENTI, Angelo Jr. **The physics of sports**. Springer-Verlag, 1992.

BETTI, Mauro. **Violência em campo: dinheiro, mídia e transgressão às regras no futebol espetáculo**. Ijuí, Editora INUJUÍ, 1997.

BOURDIEU, Pierre. **Como é possível ser esportivo?** In: BOURDIEU, Pierre. Questões de sociologia. Rio de Janeiro: Marco Zero, 1983. p.136-163.

CASTELLANI, Lino Filho. **Educação física no Brasil: a história que não se conta**. Papirus Editora, 18ª ed. 2010.

CURTO E CURIOSO. **Bola com efeito - incrível truque revela o segredo do 'Efeito Magnus'**. 2016. Disponível em: <https://www.curtoecurioso.com/2016/01/bola-com-efeito-truque-revela-efeito-magnus.html>. Acesso em: 12 jun. 2019.

DUARTE, Orlando. **História dos Esportes**. 6ª edição. São Paulo. Editora Senac, 2019.

GODOY, Lauret. **Os Jogos Olímpicos na Grécia Antiga**. São Paulo, Editora Nova Alexandria, 1996.

MARQUES, Renato Francisco Rodrigues; GUTIERREZ, Gustavo Luis; ALMEIDA, Marco Antônio Bettine de. **A transição do esporte moderno para o esporte contemporâneo: tendência de mercantilização a partir do final da guerra fria**. Curitiba, 2008.

¹MERCADO LIVRE. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1214522071-motor-liquidificador-mondial-power-black-l-28-500w-_JM?quantity=1. Acesso em: 17 jun. 2019.

²MERCADO LIVRE. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-794101495-par-2pcs-roda-8-polegadas-pneu-macico-nucleo-em-pp-_JM?matt_tool=60151816&matt_word&gclid=CjwKCAjw3azoBRAXEiwA-_64Oj26ivrwk3xud6coiNmaso1o4aZ_RQForuR9zLVCC63kQ7molSr5xoCiPAQAvD_BwE&quantity=1. Acesso em: 18 jun. 2019.

PACHECO, Eduardo. **Crônicas do turfe fluminense**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1893.

PONNUSAMY, Ragupathi; et al. **Design and Development of Volley Ball Practice Machine**, 2018.

SEARS, Francis Weston; ZEMANSKY, Mark Waldo; YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física 1 Mecânica**. 12. ed. São Paulo, SP: Pearson Addison Wesley, 2008 vol 1.

SHAPIRO, Ascher Herman. **Shape and Flow: The Fluid Dynamics of Drag**. Doubleday, 1961.

SPORTSTUTOR. Disponível em: <https://sportstutorinc.com/soccer/>. Acesso em: 26 jun. 2019.

TENNISCLASSIC. Disponível em: <https://www.tennisclassic.com.br/maquina-de-volley-tutor-gold/p>. Acesso em: 26 jun. 2019.

WADDINGTON, Ivan. **A história recente do uso de drogas nos esportes: a caminho de uma compreensão sociológica**. In: GEBARA, Ademir; PILATTI, Luiz Alberto (orgs). **Ensaio sobre história e sociologia nos esportes**. Jundiaí: Fontoura, 2006. p. 13-43.

WISEBALL. Disponível em: https://www.wiseball.com.br/canhao-lancadora-bolas-de-tenis-wiseball-tennis-pro-9ah?gclid=Cj0KCQjwj_XpBRCCARIsAltJiuQFtozVcXzd86jWV5MxlrotavTIX6ds7_goUX7ZGn8wU6eZ2oLLcJkaAsrVEALw_wcB. Acesso em: 26 jun. 2019.