



**Diogo Filipe de  
Almeida Nunes**

**Desenvolvimento de um sistema de  
monitorização e controlo para máquina de  
lançamento de bolas de futebol**







**Diogo Filipe de  
Almeida Nunes**

**Desenvolvimento de um sistema de  
monitorização e controlo para máquina de  
lançamento de bolas de futebol**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de Jorge Augusto Fernandes Ferreira, Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e de António Manuel de Amaral Monteiro Ramos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Este trabalho teve o apoio financeiro dos projetos

UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 -  
FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia;

CENTRO-01-0145-FEDER-022083-  
Programa Operacional Regional do Centro (centro2020),  
no âmbito do Acordo de Parceria Portugal 2020  
através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.



## **O júri / The jury**

Presidente / President

**Prof. Doutor Marco Paulo Soares dos Santos**

Professor Auxiliar em Regime Laboral da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Manuel José Cabral dos Santos Reis**

Professor Associado Com Agregação da Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro

**Prof. Doutor Jorge Augusto Fernandes Ferreira**

Professor Associado da Universidade de Aveiro (orientador)



## **Agradecimentos / Acknowledgements**

Deixo um agradecimento ao meu orientador Jorge Ferreira pela paciência, orientação e confiança depositadas em mim, e ao meu co-orientador António Ramos por toda a ajuda e ideias partilhadas durante a realização do projeto mecânico. Mesmo à distância, nunca deixaram de semanalmente, acompanhar o trabalho que ia sendo desenvolvido. A toda a minha família e aos meus pais pelo o apoio incondicional, confiança e esforço económico necessário para poder realizar todo o meu percurso académico. À minha namorada que esteve sempre lá para me apoiar, dar confiança e ouvir os meus problemas. Aos meus colegas de casa, Nuno, Heitor, Rui e os emprestados, Pedro, Guilherme, Bernardo e Teresa que me ajudaram a ser melhor cada dia e tornar este percurso tão espetacular. Por fim, um agradecimento à Inês Peres pela ajuda no desenvolvimento do software.



## Palavras-chave

Lançador de bolas; Projeto mecânico; Dimensionamento; Sistema de controlo; Motores passo-a-passo; Software; Equipamento desportivo

## Resumo

O projeto retratado neste documento é um equipamento tecnológico que procura melhorar as condições de treino e capacidades dos atletas de futebol. Recentemente, têm sido introduzidos no mercado alguns lançadores de bolas pelo que, o interesse gerado em volta destes equipamentos, nos últimos anos, deve-se à preocupação em desenvolver novas tecnologias no futebol. A correta utilização destes equipamentos pode levar a um aumento da eficiência do treino e redução do tempo não útil. Para o desenvolvimento do protótipo foi efetuado o respetivo projeto mecânico, de automação e desenvolvimento do software para o acionamento do sistema. Inicialmente é efetuada uma análise ao mercado e aos concorrentes já existentes de modo a serem definidos os requisitos do cliente e especificações técnicas que o protótipo deve possuir. Ao longo do projeto mecânico é desenvolvido, através do software *Solidworks*, o desenho tridimensional do protótipo assim como, o dimensionamento dos componentes mecânicos mais importantes ao funcionamento do lançador. De seguida, são calculados e seleccionados os componentes relativos ao projeto de automação e é demonstrado o acionamento dos motores responsáveis pelos graus de liberdade do lançador. Para o desenvolvimento do *software* é utilizada a linguagem de programação Python, o Django, HTML, CSS, Javascript e para o armazenamento de dados foi utilizado MySQL. Este *software* permite ao utilizador definir lances e programas de treino e, por sua vez, guardá-los na base dados. Além disso, pode ser efetuado o acionamento manual da máquina onde o utilizador pode controlar as variáveis através de um *smartphone*, *tablet*, computador, entre outros.





**Keywords**

Ball launcher; Mechanical project; Components sizing; Control System; Stepper motors; Software; Sport's equipment

**Abstract**

The project depicted in this document is a technological equipment which aims to better training conditions as well as football athletes' capabilities. Recently, a few ball launchers have been introduced in the market whereby the interest around these types of equipment, in the last few years, is due to the desire to develop new technologies in football. The correct use of these equipment may lead to a rise in practice efficiency as well as a reduction in unnecessarily wasted time. For the prototype development a mechanical project was made, as well as an automation one and software development to operate de system. Initially an analysis of the market and existing competitors is made so that the consumer's requisites and technical specifications the prototype must possess can be defined. Throughout the mechanical project the three-dimensional design was developed through the CAD software Solidworks as were the sizing of the most crucial mechanical components to the launcher functioning. Then, the components relating to the automation project are calculated and selected and the operation of the motors in charge of the launcher's degrees of freedom is demonstrated. For the software development the languages used are Python, Django, HTML, CSS, Javascript and the data management was performed using MySQL. This software allows the user to define launches and training programs and thus save them in the database. Furthermore, it is possible to remotely operate the machine and its' variables with a smartphone, tablet, computer, among others.



# Índice

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                                   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Enquadramento . . . . .                             | 1         |
| 1.2      | Motivação e Objetivos . . . . .                     | 2         |
| 1.3      | Organização . . . . .                               | 2         |
| <b>2</b> | <b>Revisão do estado da arte e da tecnologia</b>    | <b>3</b>  |
| 2.1      | Desporto e sociedade . . . . .                      | 3         |
| 2.2      | Futebol e a sua origem . . . . .                    | 3         |
| 2.3      | Tecnologia no futebol . . . . .                     | 4         |
| 2.4      | Sistemas de lançar bolas de futebol . . . . .       | 5         |
| 2.5      | Mercado Atual . . . . .                             | 7         |
| <b>3</b> | <b>Projeto mecânico</b>                             | <b>13</b> |
| 3.1      | Desenvolvimento do Conceito . . . . .               | 13        |
| 3.1.1    | Identificação dos requisitos dos clientes . . . . . | 13        |
| 3.1.2    | Especificações técnicas objetivo . . . . .          | 15        |
| 3.1.3    | Esboço do conceito . . . . .                        | 16        |
| 3.2      | Modelação 3D e simulação numérica . . . . .         | 17        |
| 3.2.1    | Propostas e Soluções de Conceito . . . . .          | 17        |
| 3.2.2    | Dimensões e Características Gerais . . . . .        | 25        |
| 3.2.3    | Análise Dinâmica das Forças exercidas . . . . .     | 28        |
| 3.2.4    | Análise Estática da Estrutura . . . . .             | 33        |
| 3.3      | Dimensionamento dos elementos mecânicos . . . . .   | 36        |
| 3.3.1    | Rodas . . . . .                                     | 36        |
| 3.3.2    | Casquilhos e acoplamentos . . . . .                 | 37        |
| 3.3.3    | Motores elétricos . . . . .                         | 39        |
| 3.3.4    | Rolamentos . . . . .                                | 45        |
| 3.3.5    | Veio dos rolos . . . . .                            | 46        |
| <b>4</b> | <b>Projeto de automação</b>                         | <b>49</b> |
| 4.1      | Arquitetura do projeto . . . . .                    | 49        |
| 4.2      | Diagramas de funcionamento . . . . .                | 50        |
| 4.3      | Seleção dos componentes elétricos . . . . .         | 51        |
| 4.3.1    | Single board computer (SBC) . . . . .               | 51        |
| 4.3.2    | Seleção dos motores e o seu funcionamento . . . . . | 52        |
| 4.3.3    | Bateria . . . . .                                   | 53        |
| 4.3.4    | Seleção dos restantes componentes . . . . .         | 57        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.4      | Controlo do hardware . . . . .                  | 57        |
| 4.4.1    | Acionamento dos motores passo-a-passo . . . . . | 57        |
| 4.4.2    | Acionamento dos motores DC . . . . .            | 60        |
| <b>5</b> | <b>Software de controlo e monitorização</b>     | <b>63</b> |
| 5.1      | Desenvolvimento do software . . . . .           | 63        |
| 5.1.1    | Django . . . . .                                | 63        |
| 5.1.2    | Página Inicial . . . . .                        | 64        |
| 5.1.3    | Páginas do modo manual . . . . .                | 65        |
| 5.1.4    | Páginas de Modo Automático . . . . .            | 69        |
| 5.2      | Bases de Dados . . . . .                        | 72        |
| <b>6</b> | <b>Fabrico e montagem</b>                       | <b>75</b> |
| 6.1      | Processos de fabrico . . . . .                  | 75        |
| 6.2      | Montagem . . . . .                              | 76        |
| <b>7</b> | <b>Conclusões e trabalhos futuros</b>           | <b>79</b> |
|          | <b>Bibliografia</b>                             | <b>81</b> |
|          | <b>Anexos</b>                                   | <b>83</b> |

# Lista de Tabelas

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Modalidades mais praticadas em Portugal e nº de praticantes [2]. . . . .                         | 4  |
| 2.2 | Comparação dos modelos de Lançadores existentes no mercado. . . . .                              | 8  |
| 3.1 | Tabela de Conversão para o Lançador de bolas. . . . .  | 16 |
| 3.2 | Propriedades mecânicas definidas para a bola no software <i>ANSYS</i> . . . . .                  | 29 |
| 3.3 | Tensões e deslocamentos na área de contacto da bola com o rolo ao longo da sua passagem. . . . . | 32 |
| 3.4 | Valores de pressão de contacto média calculada para cada casquilho deslizante. . . . .           | 38 |
| 3.5 | Casquilhos deslizantes selecionados. . . . .   | 39 |
| 3.6 | Valores utilizados para o cálculo dos rolamentos. . . . .  | 46 |
| 3.7 | Modelos e características dos rolamentos selecionados. . . . .                                   | 46 |
| 3.8 | Cálculo à fadiga para o veio de ligação dos rolos. . . . .                                       | 48 |
| 4.1 | Características principais do Raspberry Pi 3 model A+. . . . .                                   | 52 |
| 4.2 | Características dos motores CC utilizados no movimento dos rolos. . . . .                        | 53 |
| 4.3 | Características dos motores passo-a-passo selecionados para o lançador. . . . .                  | 53 |
| 4.4 | Valores de tensão (V) e corrente (I) requeridos por cada componente. . . . .                     | 54 |
| 4.5 | Potência (P) consumida por cada componente. . . . .  | 54 |
| 5.1 | Tabela lances da Base de Dados Lances_Manual. . . . .  | 72 |
| 5.2 | Tabela programas da Base de Dados Programas de Treino. . . . .                                   | 73 |



# Lista de Figuras

|      |  |    |
|------|--|----|
| 2.1  | Tecnologia da linha de golo. ( <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> )(modificado) . . . . .                        | 4  |
| 2.2  | René Lacoste com o seu lançador [3]. . . . .   | 5  |
| 2.3  | Lançador com propulsão através de mola. ( <a href="http://www.chegg.com">www.chegg.com</a> )(modificado) .                             | 6  |
| 2.4  | Lançador de ar comprimido. ( <a href="http://HOWSTUFFWORKS.COM">HOWSTUFFWORKS.COM</a> )(modificado) .                                  | 6  |
| 2.5  | Lançador de rolos. . . . .   | 7  |
| 2.6  | Lançador Pro Trainer First Touch. ( <a href="http://www.protrainersoccer.com">www.protrainersoccer.com</a> )(modificado) .             | 8  |
| 2.7  | Lançador Powapass Ball Launcher. ( <a href="http://www.great-save.com">www.great-save.com</a> )(modificado) . .                        | 9  |
| 2.8  | Lançador TOCA Machine. ( <a href="http://tocafootball.com">tocafootball.com</a> )(modificado) . . . . .                                | 9  |
| 2.9  | Lançador The Ball Launcher. ( <a href="http://www.ball-launcher.com">www.ball-launcher.com</a> )(modificado) . . . .                   | 10 |
| 2.10 | Lançador Strike Attack. ( <a href="http://sportsattack.com">sportsattack.com</a> )(modificado) . . . . .                               | 11 |
| 2.11 | Lançador Sidekick Pro. ( <a href="http://premiumballs.net">premiumballs.net</a> )(modificado) . . . . .                                | 11 |
| 2.12 | Lançador EuroGoal 1500. ( <a href="http://www.globuscorporation.com">www.globuscorporation.com</a> )(modificado) . . .                 | 12 |
|      |  |    |
| 3.1  | Diagrama de Kano. ( <a href="http://www.voitto.com.br">www.voitto.com.br</a> )(modificado) . . . . .                                   | 15 |
| 3.2  | Esboços efetuados na fase de desenvolvimento inicial. . . . .  | 17 |
| 3.3  | Primeira solução modelada em Solidworks. . . . .   | 18 |
| 3.4  | Mecanismos de acionamento. . . . .   | 18 |
| 3.5  | Alteração do posicionamento dos motores responsáveis pelos dois graus de liberdade. . . . .  | 19 |
| 3.6  | Apoio de um ponto com braço em L. . . . .  | 20 |
| 3.7  | Inclusão de novo grau de liberdade. . . . .  | 20 |
| 3.8  | Renderização da solução final. . . . .   | 21 |
| 3.9  | Renderização da ligação das rodas. . . . .   | 21 |
| 3.10 | Renderização do mecanismo responsável pela inclinação. . . . .   | 22 |
| 3.11 | Renderização do mecanismo responsável pela direção. . . . .  | 22 |
| 3.12 | Renderização do mecanismo responsável pelo efeito lateral. . . . .   | 23 |
| 3.13 | Renderização do mecanismo dos rolos. . . . .   | 23 |
| 3.14 | Renderização da ligação das placas laterais à base do lançador. . . . .  | 24 |
| 3.15 | Renderização do alimentador de bolas. . . . .  | 25 |
| 3.16 | Volume ocupado pelo Lançador. . . . .  | 25 |
| 3.17 | Amplitudes máximas e mínimas de cada grau de liberdade. Nota: CC - sentido horário CCW - sentido anti-horário . . . . .                | 26 |
| 3.18 | Alcance do lançador ao longo de um campo de futebol 120x66 m. ( <a href="http://rawpixel.com">rawpixel.com</a> )(modificado) . . . . . | 28 |
| 3.19 | Malha definida para cada um dos componentes (rolos + bola). . . . .  | 29 |
| 3.20 | Representação das forças que atuam sobre a bola [6]. . . . .   | 30 |
| 3.21 | Geometria do contacto da bola com os rolos no momento inicial. . . . .   | 31 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 3.22 | Distribuição de tensões ao longo da bola no ponto de maior compressão. . . . .                                  | 31 |
| 3.23 | Gráfico Força x Deslocamento obido por um ensaio de compressão.<br>(Zwick/Roell,2018)(modificado) . . . . .     | 33 |
| 3.24 | Condições de fronteira aplicadas à placa. . . . .   | 34 |
| 3.25 | Malha definida para a placa lateral. . . . .  | 34 |
| 3.26 | Distribuição das tensões ao longo da placa lateral - MPa. . . . .   | 35 |
| 3.27 | Distribuição das deformações máximas nas três direções principais ao<br>longo da chapa base. . . . .            | 35 |
| 3.28 | Distribuição das tensões máximas nas três direções principais ao longo da<br>chapa base. . . . .                | 36 |
| 3.29 | Roda do modelo V 205/20R da marca Blickle. (Blickle)(modificado) . . . . .                                      | 37 |
| 3.30 | Representação gráfica das características geométricas dos casquilhos.<br>(www.igus.pt) . . . . .                | 39 |
| 3.31 | Representação das forças e distâncias do movimento de inclinação. . . . .                                       | 40 |
| 3.32 | Representação da aproximação do conjunto a um cilindro. . . . .   | 41 |
| 3.33 | Perfis de posição, velocidade e aceleração do motor passo-a-passo. . . . .                                      | 41 |
| 3.34 | Perfil de velocidade com rampa de aceleração e desaceleração. . . . .   | 42 |
| 3.35 | Representação das forças e distâncias do movimento de rotação no plano<br>YZ. . . . .                           | 43 |
| 3.36 | Representação das forças e diagrama de momentos. . . . .  | 47 |
| 3.37 | Representação dos pontos críticos do veio. . . . .  | 47 |
|      |   |    |
| 4.1  | Arquitetura do projeto de automação do lançador. . . . .  | 49 |
| 4.2  | Diagrama com o hardware utilizado e as ligações. . . . .  | 50 |
| 4.3  | Raspberry Pi 3 A+ - <i>Single Board Computer</i> . . . . .  | 51 |
| 4.4  | Curva binário-velocidade característica dos motores DC. . . . .   | 55 |
| 4.5  | Bateria da marca Siemens selecionada para o lançador.<br>(SIEMENS)(modificado) . . . . .                        | 57 |
| 4.6  | Caixa de fusíveis que garante a segurança dos componentes elétricos.<br>(www.farnell.com) . . . . .             | 57 |
| 4.7  | Esquema das ligações elétricas necessárias entre o SBC, <i>driver</i> e motor.<br>(stepperonline.com) . . . . . | 58 |
| 4.8  | Sequência do envio de sinais para o driver. (stepperonline.com) . . . . .                                       | 58 |
| 4.9  | Perfil de velocidade e sequência de pulsos na zona de aceleração. . . . .                                       | 59 |
| 4.10 | Esquema das ligações necessárias entre o SBC, <i>driver</i> e motorDC.<br>(stepperonline.com) . . . . .         | 60 |
|      |   |    |
| 5.1  | Mapa do <i>website</i> . . . . .  | 64 |
| 5.2  | Página inicial do <i>website</i> criado. . . . .  | 65 |
| 5.3  | <i>Layout</i> da página de Modo Manual (criação dos lances). . . . .  | 66 |
| 5.4  | Formulário de preenchimento do nome e coordenadas do lance. . . . .   | 66 |
| 5.5  | UML de Sequência para a criação dos lances. . . . .   | 67 |
| 5.6  | Layout da página da lista de lances. . . . .  | 68 |
| 5.7  | UML de sequência da atualização de um lance. . . . .  | 68 |
| 5.8  | UML de sequência da remoção de um lance. . . . .  | 69 |
| 5.9  | Layout da página de criação dos programas de treino. . . . .  | 70 |
| 5.10 | <i>Layout</i> da página de definição da estrutura do programa. . . . .  | 70 |



|      |  |    |
|------|--|----|
| 5.11 | <i>Layout</i> da página da lista de programas de treino. . . . . | 71 |
| 5.12 | UML de Sequência da criação do programa de treino. . . . .       | 71 |
| 6.1  | Alguns dos principais componentes maquinados. . . . .            | 75 |
| 6.2  | Solução alternativa para os rolos rotativos. . . . .             | 76 |
| 6.3  | Montagem do chassis. . . . .                                     | 76 |
| 6.4  | Montagem do mecanismos de lançamento. . . . .                    | 77 |





# Capítulo 1

## Introdução

O trabalho presente neste documento foi desenvolvido no âmbito da Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Aveiro com o propósito para obtenção do grau de mestre. Ao longo do mesmo é apresentado o projeto de um lançador de bolas de futebol e todas as suas etapas inerentes. O projeto deste novo equipamento pretende-se que seja uma solução inovadora no mercado atual, com a capacidade de competir com as melhores máquinas existentes.

### 1.1 Enquadramento

O ser humano possui uma necessidade intrínseca de constante desenvolvimento e evolução. Uma das áreas onde é possível verificar esta necessidade é o desporto. Analisando especificamente o caso do futebol, este ao longo dos anos foi alvo de grandes desenvolvimentos ao nível, da tecnologia, infraestruturas, entre outros. Além disso, a abordagem ao jogo, os métodos de treino e o interesse pela modalidade evoluíram exponencialmente.

O projeto retratado neste documento é relativo a um equipamento tecnológico, com o objetivo de melhorar as condições de treino e capacidades dos atletas. Recentemente, têm sido introduzidos alguns lançadores de bolas no mercado pelo que, o interesse gerado em volta destes equipamentos, nos últimos anos, deve-se à preocupação em desenvolver novas tecnologias no futebol. A correta utilização destes equipamentos pode levar a um aumento da eficiência do treino e redução do tempo não útil. Devido à capacidade de produzir remates, lançamentos e passes com uma maior consistência e precisão, de forma contínua, os lançadores de bolas de futebol começam a ser uma solução atrativa para as grandes equipas de futebol em todo mundo. O seu elevado custo poderá limitar o uso generalizado, no entanto, é plausível acreditar na criação de novos modelos, no futuro, com melhores características e menor custo.

O lançador pode ser utilizado no treino coletivo ou num âmbito mais particular onde qualquer atleta poderá praticar determinados gestos técnicos ou movimentos de forma autónoma e consistente. Outra utilização para este tipo de equipamento poderá ser no treino de guarda-redes devido à sua capacidade para produzir lançamentos de forma constante e precisa.

## 1.2 Motivação e Objetivos

A ideia de desenvolver um novo produto com especificações e características diferentes das existentes no atual mercado não só constitui um enorme desafio, como gera uma motivação adicional. O trabalho a desenvolver nesta dissertação envolve conhecimentos de desenho tridimensional (software CAD), simulação numérica, dimensionamento de componentes mecânicos (projeto mecânico) e ainda programação. Isto significa que, para a sua realização não só é possível a consolidação de alguns conhecimentos já adquiridos no passado como, a necessidade de pesquisa e aprendizagem de novos conhecimentos e capacidades que não foram outrora tidas em consideração ou exploradas. Desse modo, a motivação para desenvolver este projeto inicia-se em uma enorme vontade de aprender mais e sair da zona de conforto e na possibilidade de desenvolver um produto inovador no mercado.

A generalidade das máquinas já desenvolvidas carecem na capacidade de operar sem ajuda direta de um utilizador, sendo que, muitas delas, não são possíveis de operar remotamente. Os objetivos traçados para este projeto residem em:

- Definição de estratégias de treino consubstanciadas no lançamento de um conjunto de bolas;
- Definição da velocidade, efeito e direção de cada uma das bolas a lançar para cada estratégia de treino;
- Comando remoto por dispositivo de comunicação sem fios (smartphone ou tablet).

## 1.3 Organização

Este documento encontra-se estruturado em 8 capítulos. No capítulo atual, pretende-se dar uma ideia generalizada do porquê da realização deste projeto e qual a sua relevância para o mercado e para as pessoas.

O segundo capítulo apresenta uma breve introdução à história do futebol e do desporto em geral, um levantamento da tecnologia implementada no futebol atual e ainda, uma explicação e apresentação dos diferentes dispositivos de lançar bolas. No fim, é efetuada uma análise ao mercado global deste produto e comparados os diferentes modelos e opções.

O terceiro capítulo descreve todos os passos tomados no desenvolvimento do projeto mecânico da máquina. São apresentados todos os cálculos e dimensionamentos efetuados, juntamente com as simulações numéricas realizadas de forma a validar o design do projeto e finalmente, o aspeto tridimensional do equipamento desenvolvido em software próprio.

O projeto de automação é descrito no quarto capítulo. Neste capítulo pretende-se justificar as escolhas de hardware efetuadas e apresentar os esquemas elétricos correspondentes.

No quinto capítulo, é mostrado o processo adotado para o desenvolvimento do software de controlo e monitorização. Neste espaço, serão abordados assuntos como, as linguagens de programação utilizadas, protocolos de comunicação utilizados, os modos de controlo e funcionamento da máquina e ainda a apresentação da interface gráfica de controlo e monitorização do equipamento.

Os últimos capítulos mostram o processo de fabrico e montagem do lançador, assim como algumas conclusões obtidas.

## Capítulo 2

# Revisão do estado da arte e da tecnologia

### 2.1 Desporto e sociedade

O desporto é um instrumento de mudança social com capacidade de unir pessoas de todo mundo com os mais variados estilos culturais e sociais. A importância do desporto na vida das pessoas é inegável e tem sido tomada em consideração de forma crescente ao longo do tempo. Os benefícios provenientes da prática de uma atividade desportiva são comuns a todas as faixas etárias e desse modo é visível a elevada atenção prestada pela comunicação social.

A nível pessoal, o desporto permite que o indivíduo retire prazer através da sua prática e ainda a capacidade de abstrair-se de possíveis problemas que esteja a vivenciar na sua vida quotidiana. Além dos benefícios a nível pessoal, social e cultural o desporto tem um papel fundamental na formação e educação dos seus praticantes [1]. Quando inserido numa vertente mais competitiva revela-se também importante para o desenvolvimento de aptidões como a capacidade de trabalho, resposta em situações de maior pressão e reação perante a derrota. Uma célebre afirmação de Néelson Mandela resume aquilo que o desporto deve representar na sociedade:

*“O desporto consegue unir as pessoas como mais nenhuma atividade. O desporto pode fazer surgir esperança onde havia desespero. O desporto elimina os obstáculos raciais. O desporto ri da discriminação. O desporto fala às pessoas numa linguagem que todos podem compreender.”*

### 2.2 Futebol e a sua origem

Atualmente o futebol é o desporto com mais impacto, de uma forma geral, em todo o mundo. Em Portugal é muitas vezes cognominado de “desporto rei” e conta com uma supremacia do número de praticantes em comparação com os restantes desportos. Através de dados estatísticos disponibilizados pelo instituto português do desporto e juventude (IPDJ), relativos ao ano de 2017, foi possível efetuar o levantamento dos dez desportos com maior número de praticantes em Portugal, estes podem ser observados na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Modalidades mais praticadas em Portugal e nº de praticantes [2].

| Modalidades | Nº Praticantes |
|-------------|----------------|
| Futebol     | 176349         |
| Natação     | 65499          |
| Andebol     | 49812          |
| Voleibol    | 44208          |
| Basquetebol | 41807          |
| Ginástica   | 18312          |
| Ténis       | 16139          |
| Patinagem   | 15892          |
| Golfe       | 15847          |
| Ciclismo    | 15739          |

Segundo dados do portal PORDATA e do IPDJ, em 2017, o número total de praticantes fixou-se em cerca de 624001, isto significa que, cerca de 28% dos praticantes de desporto em Portugal escolheram o futebol com o seu desporto de eleição. O facto de o futebol representar quase um terço dos dados anteriores, implica que este desporto tenha uma responsabilidade acrescida na condução do desenvolvimento social. Segundo dados do portal PORDATA, no ano de 2017, existiam em Portugal cerca de 1931 clubes de futebol. É irrefutável a influência na sociedade e a capacidade de mover multidões que o futebol tem no mundo, no entanto, apesar do seu grande sucesso não existe consenso quanto à sua verdadeira origem. Segundo a *Fédération Internationale de Football Association* (FIFA), o futebol segundo é conhecido na atualidade surgiu oficialmente em Inglaterra em 1863. A partir desse momento, o futebol foi sendo disseminado tornado-se cada vez mais global. Em Portugal, o futebol começou a difundir-se nas décadas finais do século XIX.

### 2.3 Tecnologia no futebol

Tendo em conta a importância e influência do futebol na atualidade, diariamente, existe uma procura de tentar melhorar a eficiência do jogo, dos treinos e de muitos outros aspetos através da tecnologia. Com impacto direto no jogo e nas decisões tomadas durante o decorrer do mesmo, tem vindo a ser introduzidas tecnologias como, a tecnologia da linha de golo (GLT), linha digital de fora de jogo, vídeo-arbitro, entre outras.

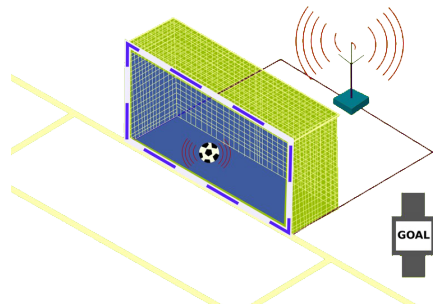


Figura 2.1: Tecnologia da linha de golo. (www.wikipedia.org)(modificado)

Por outro lado, com o objetivo de melhorar a qualidade dos treinos foram desenvolvidos vários ‘gadgets’ tecnológicos de onde se podem destacar os lançadores de bolas. Estes têm como principal objetivo maximizar o tempo de treino útil e de igual modo, aumentar a sua eficiência. Os lançadores podem ser utilizados para replicar várias situações de jogo e lances de bolas parada específicos. A sua capacidade para distribuir várias bolas de forma consistente e da forma desejada permite que o treinador redirecione o seu foco nos aspetos técnicos e posicionais do jogador alvo e, desse modo, consiga uma melhor correção dos erros e, por conseguinte, aperfeiçoar o desempenho dos seus atletas. A aplicação do lançador no treino pode ser efetuada de diversas formas e com focos diferentes. Isto significa que, este pode ser utilizado para treino especializado dos guarda-redes, treino coletivo ou ainda, treino individual. No treino dos guarda-redes, podem ser treinados aspetos como, os reflexos, a agilidade, o jogo de mãos onde, o treinador não necessita de estar preocupado em efetuar o remate da bola e pode encontrar-se mais próximo do atleta e focar a sua atenção no desempenho do mesmo. Por outro lado, se planeado corretamente, o lançador pode ser utilizado durante um treino coletivo em formato de circuito. Caso o treinador pretenda trabalhar um lance em específico (p. e. um livre indireto), possui a garantia de um lançamento da bola consistente e preciso pelo que, todos os jogadores apenas terão de estar preocupados com os aspetos táticos da jogada. Adicionalmente, cada jogador poderá ser instruído a conduzir e por fim, introduzir uma bola (no final do circuito) até ao lançador de modo a garantir o armazenamento constante de bolas. Por fim, cada jogador, de forma individual, pode treinar aspetos mais técnicos como, a receção de bola, remate em vôlei, entre outros, sem ser necessário a presença do treinador ou de algum colega de equipa.

## 2.4 Sistemas de lançar bolas de futebol

Apesar dos lançadores de bolas serem relativamente recentes, são utilizados nos mais variados desportos como, ténis, baseball, rãguebi, futebol, basquetebol, entre outros. Não é certo quando terá surgido o primeiro modelo de um lançador de bolas, no entanto, em 1920, o famoso René Lacoste inventou aquele que terá sido o primeiro modelo de um sistema de lançar bolas. Este sistema era totalmente mecânico onde, a energia de atuação era dada pelo utilizador através da rotação de uma manivela [3].



Figura 2.2: René Lacoste com o seu lançador [3].



Ao longo dos anos seguintes diferentes modelos de lançadores foram desenvolvidos em especial para desportos como o ténis e o basebol. Mecanismos com propulsão através de uma mola, de ar comprimido ou ainda, através de discos rotativos, são alguns dos mais utilizados para este tipo de equipamentos. Um mecanismo de compressão de mola utiliza a energia potencial armazenada numa mola quando a mesma é comprimida ao longo de uma dada distância. Uma vez libertada a mola, a energia de compressão é transformada em energia cinética e transfere-se para a bola enquanto a mola restaura a sua posição natural. Neste método de lançamento, a bola é colocada sobre a mola onde, a mesma será posteriormente comprimida dependendo da velocidade pretendida (maior velocidade implica maior compressão e vice-versa) de lançamento da bola. Fatores como o tempo de compressão da mola entre lançamentos, o fácil desgaste da mola e ainda, a incapacidade de impor efeitos mais complexos sobre a bola, limitam a escolha desta forma de lançamento para os modelos atuais de lançadores [4].

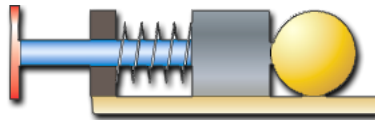


Figura 2.3: Lançador com propulsão através de mola. (www.chegg.com)(modificado)

O método de lançamento através de ar comprimido é utilizado aplicando uma compressão de uma porção de ar armazenada num depósito, através de um compressor. A variação do valor de pressão a que esta porção de ar se encontra sujeita, permite a variação da velocidade de lançamento da bola. Ao contrário do sistema com utilização de uma mola, ao ser instalado um pequeno adaptador na zona de saída é possível variar a pressão num dos lados da bola provocando uma rotação da mesma e por sua vez, a alteração da trajetória da bola. Este sistema possui uma grande durabilidade e resistência ao desgaste, no entanto, devido ao comportamento desconhecido da bola antes da zona de saída os lançamentos não possuem uma alta precisão [4]. Apesar de ser possível efetuar lançamentos de maior qualidade em comparação com o mecanismo com mola, não é possível replicar a grande maioria das trajetórias que uma bola pode sofrer em jogo. Os sistemas pneumáticos são usualmente utilizados em lançadores de bolas de ténis devido à reduzida massa das mesmas desse modo, a sua aplicação num lançador de bolas de futebol poderá ser mais difícil.



Figura 2.4: Lançador de ar comprimido. (HOWSTUFFWORKS.COM)(modificado)

Outro modo de efetuar a projeção de uma bola pode ser através de um mecanismo mecânico constituído por dois discos ou rolos rotativos. Como será possível constatar

mais à frente, os lançadores de bolas de futebol existentes no mercado atual, de uma forma geral, utilizam este mecanismo. Cada um dos discos ou rolos, encontra-se acoplado a um motor elétrico e a velocidade da bola irá depender da velocidade de rotação gerada nos motores e posteriormente, aplicada aos rolos. A transmissão de movimento é efetuada forçando a bola a passar por entre os rolos a uma distância previamente definida que poderá variar dependendo do tipo de bola utilizado (existem 5 tipos adequados aos diferentes escalões e níveis dos atletas). Uma vez em contacto com os rolos a bola sofre uma alta pressão, devido à elevada velocidade dos mesmos. A fricção entre a bola e os rolos garante a transmissão da aceleração dos mesmos para a bola e o lançamento da mesma com a desejada velocidade linear. Este modo de lançamento apresenta grandes vantagens em relação ao anteriores na capacidade de impor efeitos complexos à bola desse modo, a sua utilização abrange todo o espectro de atletas, desde atleta iniciantes e amadores até aos atletas profissionais de alta competição. A rotação da bola sobre o seu centro de massa pode ser obtida ao impor uma rotação diferente nos rolos e desse modo, obter diferentes pressões ao longo da superfície da mesma. Quando comparado com os métodos de lançamento anteriormente apresentados, este garante uma precisão de lançamentos e repetibilidade muito superior. A velocidade atingida pela bola através deste mecanismo pode ser superior aos restantes.

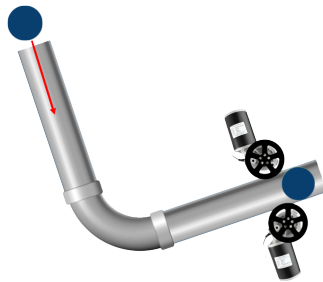








Figura 2.5: Lançador de rolos.

## 2.5 Mercado Atual

Os lançadores de bolas de futebol surgiram recentemente, no entanto, devido ao seu rápido desenvolvimento é possível encontrar vários tipos de lançadores no mercado atual. A gama de lançadores disponíveis abrange os vários níveis desde iniciado até ao profissional. As especificações técnicas de cada máquina determinam a sua capacidade em proporcionar um treino de maior qualidade e complexidade. Na tabela seguinte encontram-se ilustrados alguns dos principais modelos existentes no mercado e as suas especificações técnicas conhecidas.

Tabela 2.2: Comparação dos modelos de Lançadores existentes no mercado.

|                                 | Pro Trainer First Touch   | Powapass Ball Launcher  | TOCA Machine  | The Ball Launcher  | Strike Attack   | SideKick Pro  | EuroGoal 1500   |
|---------------------------------|---|---|---|--|---|---|---|
|                                 |  |  |  |  |  |  |  |
| Capacidade máx.                 | 5 + 5 bolas   | 3 + 2 bolas   | 15+ bolas   | Sem capacidade   | Sem capacidade  | Sem capacidade  | Sem capacidade  |
| Velocidade máx.                 | 100 km/h  | 70 km/h   | 80 km/h   | 130 km/h   | 120 km/h  | 110 km/h  | 140 km/h  |
| Alcance máx.                    | 38 m  | 45 m  | ?   | 50 m   | 64 m  | ?   | 100 m   |
| Altura de lançamento máx.       | ?   | ?   | ?   | ?  | ?   | ?   | 35 m  |
| Rotação dos rolos sobre a bola  | Não   | Não   | Não   | +90°/-90°  | +90°/-90°   | +90°/-90°   | +30°/-30°   |
| Inclinação vertical             | 0/90°   | Sim   | 0/45°   | -10°/+35°  | Sim   | Sim   | -5°/+40°  |
| Inclinação lateral              | Não   | Não   | Sim   | Sim  | Não   | Sim   | Sim   |
| Tempo mín. entre lançamentos    | 5 s   | ?   | 2 s   | ?  | ?   | ?   | 1 s   |
| Autonomia                       | 2-3 h   | 4 h   | 5 h   | 4 h  | 4 h   | ?   | 8 h   |
| Controlo de Velocidade          | Sim   | Sim (5 velocidades)   | Sim   | Sim  | Sim   | Sim   | Sim   |
| Ajuste automático da inclinação | Não   | Não   | Sim   | Não  | Não   | Não   | Não   |
| Modos automáticos               | Sim   | Sim   | Sim   | Não  | Não   | Não   | YES (5 modos)   |
| Controlo Remoto                 | Sim   | Sim   | Sim (Bluetooth)   | Não  | Não   | Não   | Não   |
| Peso                            | 31 kg   | 25 kg   | 30 kg   | 42 kg  | 70 kg   | ?   | 100 kg  |
| Efeitos produzidos na bola      | Simples   | Top spin & Back Spin  | Simples   | Todos  | Todos   | Todos   | Todos   |
| Preço                           | 1 600 €   | 1 700 €   | ?   | 3 260 €  | 3 690 €   | 5 310 €   | 6 000 €   |

A tabela anterior apresenta os principais modelos disponíveis ordenados relativamente ao seu valor de mercado. Para qualquer produto que se pretende comercializar, o custo é um fator muito importante e que não deve ser esquecido. Desse modo, será feita uma análise e comparação dos modelos, procurando perceber quais os aspetos mais e menos positivos de cada um.



Figura 2.6: Lançador Pro Trainer First Touch. (www.protrainersoccer.com)(modificado)

O Lançador ‘Pro Trainer First Touch’ é o primeiro modelo apresentado na tabela e por sua vez, também o de menor custo. Este lançador, ao contrário da maioria dos modelos aqui apresentados, tem como objetivo permitir que os atletas treinem e melhorem o seu primeiro toque. Isto significa, que este modelo não foi desenhado nem projetado para simular remates à baliza ou para p. e. melhorar o treino de reflexos dos guarda-redes, mas sim, através do lançamento de bolas mais altas, permitir que os atletas treinem repetidamente receções de bola. Atendendo à sua capacidade de armazenar até um máximo de 10 bolas e tempo mínimo entre lançamentos de 5s, um jogador poderá facilmente realizar 10 tentativas de receção no espaço de 1 min. Num treino tradicional de futebol, dificilmente um jogador terá oportunidade de treinar este número de receções num curto espaço de tempo e até, eventualmente, durante todo o treino. Apesar do baixo custo, esta máquina pode ser remotamente controlada até uma distância máxima de cerca de 38m. No entanto, esta funcionalidade é feita através de um fio que proporciona a ligação de um comando remoto à máquina pelo que a presença desta ligação física poderá ser considerada uma desvantagem na sua utilização. O

transporte do lançador pode ser facilmente feito por um individuo ainda que, as rodas utilizadas no modelo sejam de dimensões reduzidas. A estrutura que apoia e conduz as bolas possui um mecanismo que permite a sua rotação e por conseguinte, a utilização da mesma como uma pega para puxar toda a estrutura e facilitar o transporte.



Figura 2.7: Lançador Powapass Ball Launcher. ([www.great-save.com](http://www.great-save.com))(modificado)

O segundo modelo também disponível no mercado atual é o ‘Powapass Ball Launcher’. Este é o mais leve de todas opções apresentadas na tabela acima e similarmente ao modelo anterior possui capacidade para armazenar várias bolas. Originalmente o lançador apenas tem capacidade para segurar 3 bolas, no entanto, existe a possibilidade de inserir um extensor que possibilitará aumentar a sua capacidade. Contrariamente à máquina anterior, esta foi projetada para simular remates de longa ou curta distância, sendo também possível o treino de bolas paradas como cantos, livres, entre outros. Uma particularidade deste modelo reside no facto dos rolos giratórios que transmitem movimento à bola se encontrarem num alinhamento vertical. Este tipo de alinhamento é normalmente utilizado quando se pretende imprimir o efeito de *backspin* ou *top spin* na bola, no entanto, quase sempre como uma capacidade extra e não na posição natural da máquina. Este lançador permite ao utilizador definir uma cadência para o lançamento das bolas de forma remota, mas, contrariamente ao ‘Pro Trainer’, este comando pode ser efetuado sem a necessidade de quaisquer fios. Por fim, este modelo não inclui quaisquer rodas pelo que, o seu transporte necessita de pelo menos 2 pessoas.



Figura 2.8: Lançador TOCA Machine. ([tocafootball.com](http://tocafootball.com))(modificado)

A 'TOCA Machine' é o modelo mais tecnológico da tabela 2.2. Além do *hardware* foi também desenvolvido uma aplicação móvel na qual é possível fazer o controlo da máquina. Além disso, é possível definir programas de treino, criar outros novos e ainda partilhar com a comunidade na aplicação. Este equipamento tem como objetivo melhorar o desempenho ao nível da receção de passes curtos. Isto pode-se verificar pela estrutura do lançador, a capacidade de transporte de um elevado número de bolas e o ponto de saída da bola se encontrar o mais perto do chão possível permitem uma grande eficiência no treino desse aspeto. Novamente o controlo desta máquina também é efetuado remotamente e sem fios, desta vez, através de *bluetooth*. É expectável encontrar este lançador em espaços mais confinados, e campos mais pequenos, ou até mesmo, pavilhões sendo por isso, uma vantagem em relação aos outros. Este lançador é de dimensões reduzidas e aliando a sua capacidade de recolher as rodas, quando necessário, o seu transporte é facilmente efetuado por uma pessoa.



Figura 2.9: Lançador The Ball Launcher. ([www.ball-launcher.com](http://www.ball-launcher.com))(modificado)

Os próximos 4 modelos presentes na tabela, enquadram-se numa gama superior em relação aos anteriormente apresentados. A sua capacidade de produzirem lançamentos de maior complexidade e precisão ainda que, o *feed* da bola seja manual, torna-os mais próximos da solução que se pretende desenvolver nesta dissertação. O modelo 'The Football Launcher' é o equipamento mais compacto desta lista. Apesar das suas reduzidas dimensões este possui mecanismos que permitem alterar a orientação dos rolos e desse modo variar os lançamentos entre *knuckle balls*, *top spin*, *back spin*. Estes aspetos são comuns a este e aos próximos modelos. Além disso, a capacidade de controlar a velocidade de rotação de cada um dos motores independentemente, possibilita lançar bolas com efeito lateral. A duração da bateria é relativamente igual nestes modelos à exceção, do 'EuroGoal 1500' em que a autonomia pode ascender até a 8h de funcionamento.



Figura 2.10: Lançador Strike Attack. (sportsattack.com)(modificado)

O lançador ‘Strike Attack’ é o único onde o utilizador terá de manualmente posicionar a máquina para definir a direção do lançamento. Os outros modelos possuem mecanismos incorporados onde é possível através de encaixes ou manivelas fazer o ajuste deste aspeto. A máquina que oferece maior amplitude e diversidade nos remates é o ‘Sidekick Pro’ com rotação do alinhamento dos rolos a variar de  $-90^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  e ainda capacidade para rodar lateral e verticalmente. Por outro lado, o ‘Euro Goal’ apresenta-se como o equipamento com maior potência podendo realizar lançamentos que poderão atingir velocidades máxima até 140km/h, com alcance máximo de cerca de 100m. Tendo em conta que o comprimento oficial de um campo de futebol encontra-se entre 90 a 120 metros, este lançador poderá lançar uma bola de uma ponta do campo à outra. Apesar disto, este é também o equipamento que mais peso instalado.



Figura 2.11: Lançador Sidekick Pro. (premiumballs.net)(modificado)

Um fator comum aos últimos modelos é a incapacidade de armazenar bolas e, por conseguinte, produzir séries com uma cadência definida para o lançamento de várias bolas. Isto implica que seja necessário a presença de um utilizador a inserir as bolas e a controlar a máquina.



Figura 2.12: Lançador EuroGoal 1500. ([www.globuscorporation.com](http://www.globuscorporation.com))(modificado)

Assim, pretende-se que o lançador a ser desenvolvido nesta dissertação possua características como, capacidade de armazenagem de bolas, controlo remoto, possibilidade de efetuar todos os tipos de lançamentos, boa autonomia, entre outros aspetos que serão apresentados no capítulo seguinte.

## Capítulo 3

# Projeto mecânico

### 3.1 Desenvolvimento do Conceito

Tendo em conta o rápido avanço tecnológico e o constante surgimento de novos produtos e serviços, torna-se crucial a determinação das necessidades dos clientes e a avaliação dos produtos similares concorrentes. Uma vez efetuada a avaliação dos produtos concorrentes e das suas especificações técnicas segue-se a identificação dos requisitos que o cliente deseja ver no produto a ser desenvolvido e, ainda, as especificações técnicas necessárias para garantir que o produto cumpre com esses mesmos requisitos.

#### 3.1.1 Identificação dos requisitos dos clientes

O lançador a ser desenvolvido neste projeto tem como foco principal a comercialização para clubes e instituições desportivas. Apesar do mesmo ser uma excelente ferramenta para melhorar as capacidades técnicas individuais de qualquer um que deseje adquirir o equipamento, a análise e escolha dos requisitos será feita consoante as necessidades e expectativas de um clube. A máquina foi desenvolvida de modo a ser utilizada num contexto de treino coletivo e/ou individual. No entanto, é esperado que, os utilizadores principais do equipamento sejam os treinadores e equipa técnica do clube. Assim, os requisitos apresentados de seguida são consequência do estudo de mercado efetuado anteriormente e discussão entre o autor deste documento e os seus orientadores.

Considerando como cliente alvo, um treinador de um clube de futebol, foram definidos os seguintes requisitos necessários:

- Controlar remotamente: o sistema de lançamento e características do remate devem ser definidos e controlados remotamente.
- Montagem fácil e rápida: pretende-se que as fixações mecânicas sejam facilmente instaladas e removidas, além disso, o acesso aos mecanismos e componentes seja fácil e intuitivo.
- Reduzida vibração: de modo a garantir o menor ruído possível, durante o funcionamento da máquina, deve procurar-se reduzir a vibração proveniente da rotação dos discos.



- Estabilidade da Estrutura: espera-se estabilidade do sistema de sustentação de modo a evitar um possível desequilíbrio e posterior queda da máquina.
- Fácil transporte: deverá existir alguma atenção ao design da máquina de modo a garantir que o utilizador poderá facilmente transportá-la ao longo do terreno de jogo.
- Lançamentos Precisos: a máquina deverá garantir ao cliente, fiabilidade nos lançamentos, isto é, o desvio entre lançamentos com as mesmas características deverão ser reduzidos.
- Boa autonomia: a autonomia do lançador deve garantir o tempo de funcionamento suficiente para que possa ser utilizada ao longo da sessão de treino completa.
- Baixo peso: deve ser garantido um bom compromisso do peso para a manobra da máquina ser facilitada, no entanto, este desempenha também um papel importante na estabilidade da máquina.
- Baixo custo de manutenção: um elemento atrativo de qualquer equipamento mecânico pode ser a garantia de baixo custo aquando da manutenção do mesmo. Deste modo, a correta seleção dos componentes a utilizar e o devido dimensionamento destes, poderá aumentar significativamente o tempo médio de vida dos mesmos.
- Não avariar: garantia de boa capacidade dos componentes mecânicos, relativamente ao desgaste, por fadiga.
- Preço reduzido: este poderá ser um fator essencial na decisão de compra do consumidor. Um preço atrativo do produto pode levar o consumidor a optar por este modelo em detrimento de outro.

Uma vez definidos os requisitos do cliente deve ser efetuada uma hierarquização dos mesmos. A realização desta hierarquização foi possível através de uma análise de Kano (diagrama de Kano). O Modelo de Kano, permite que seja efetuada uma avaliação e priorização dos requisitos, discretizando-os em três categorias:

- Básicos/obrigatórios - representam todos os requisitos que são intrínsecos ao produto e a sua presença é expectável da parte do cliente. Por outro lado, a sua ausência pode causar um elevado descontentamento;
- Uni-dimensionais - representam o conjunto de requisitos que aumentam a satisfação do cliente de forma proporcional ao seu desempenho ou existência no produto;
- Atrativos - representam o conjunto de requisitos dos quais, o cliente não se aperceberia da sua existência, caso não existissem, no entanto, a sua presença pode elevar o contentamento do cliente e, ao mesmo tempo, entusiasmar e motivar a compra do produto em questão.

Deste modo, na figura seguinte, é apresentado o diagrama de Kano onde, os requisitos anteriormente apresentados se encontram priorizados segundo as três categorias anteriores [5].

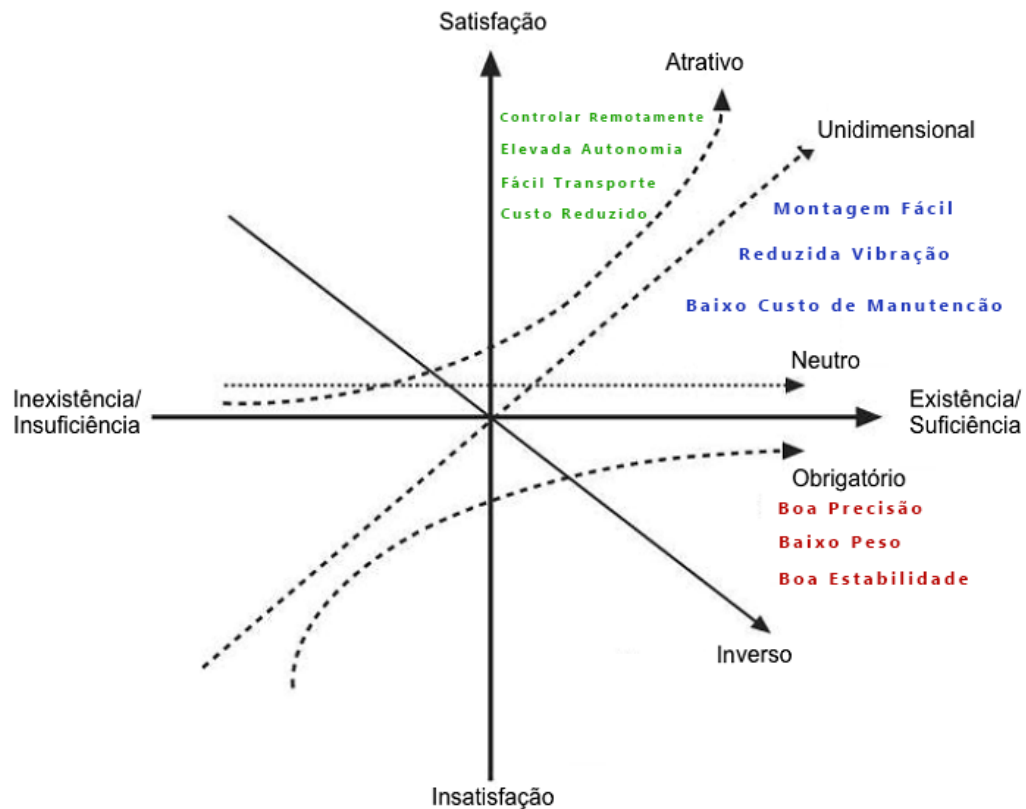


Figura 3.1: Diagrama de Kano. (www.voitto.com.br)(modificado)

A análise do diagrama anterior permite identificar quais os requisitos onde deve existir um maior investimento de modo a que a satisfação global do cliente aumente. Assim, os requisitos obrigatórios como, a estabilidade da estrutura e o baixo peso, não deverão ser alvo de um elevado investimento pois, o seu efeito não criará uma maior satisfação no cliente.

Por outro lado, requisitos atrativos como, elevado tempo de funcionamento e fácil transporte, devem ser alvo de um maior investimento devido à sua capacidade de possivelmente impressionar o cliente e criar uma sensação de entusiasmo no mesmo. Para o cliente, a melhoria e presença destes requisitos, traz ao produto um valor acrescentado.

### 3.1.2 Especificações técnicas objetivo

O próximo passo para a definição do conceito do produto trata-se, do estabelecimento das especificações técnicas do mesmo. Idealmente, um requisito do cliente deve corresponder a uma única especificação técnica, no entanto, poderão existir situações onde é necessário proceder a um desmembramento maior [6].

O processo de estabelecimento das especificações foi feito através de *brainstorming* e de uma análise das especificações técnicas existente em modelos de lançadores concorrentes, já presentes no mercado. Para a listagem das especificações técnicas foi

utilizada uma tabela de conversão que pode ser visualizada abaixo.

Tabela 3.1: Tabela de Conversão para o Lançador de bolas.

| <b>Requisito Cliente</b> | <b>Elementos</b> | <b>Especificação Técnica</b>    | <b>Unidades</b> |
|--------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------|
| Controlar remotamente    | Funcionalidade   | Controlo via Wi-fi              | -               |
| Montagem fácil           | Tamanho          | Tempo de montagem               | s               |
| Reduzida vibração        | Conforto         | Frequência de vibração          | Hz              |
| Estabilidade estrutura   | Segurança        | Deslocamento após lançamento    | cm              |
| Fácil transporte         | Conforto         | Massa do sistema                | kg              |
| Precisão lançamentos     | Funcionalidade   | Desvio do ponto alvo            | cm              |
| Elevada autonomia        | Eficiência       | Tempo de funcionamento          | h               |
| Baixo peso               | Peso             | Peso                            | N               |
| Baixo Custo manutenção   | Preço            | Tempo até substituição de peças | h               |
| Não avariar              | Vida em Serviço  | Desgaste após 300h de ensaio    | -               |

### 3.1.3 Esboço do conceito

Uma vez selecionadas as especificações técnicas que a máquina deve possuir, o processo de idealização e planeamento do projeto da mesma pode ser iniciado. Um dos primeiros passos implica, a realização de alguns esboços ou esboços do produto. Estes esboços são de extrema importância para a criação do desenho tridimensional e realização do projeto, apresentado mais à frente neste documento.

O lançador, como visto anteriormente, deve possuir uma base de sustentação estável, permitir lançamentos de bolas com vários efeitos, armazenar várias bolas, entre outros aspetos. O conhecimento destes aspetos permite que possa ser feita uma reflexão e avaliação das diferentes formas de implementar os mesmos no design e projeto da máquina. Ainda que um esboço possa ser um desenho muito simplificado, o cuidado das reflexões e avaliações anteriores já poderá ser visível, assim como uma abordagem inicial ao design e aspeto que o lançador poderá ter.

Na Fig. 3.2 são apresentados alguns dos esboços que foram realizados durante a fase inicial de conceção do produto.

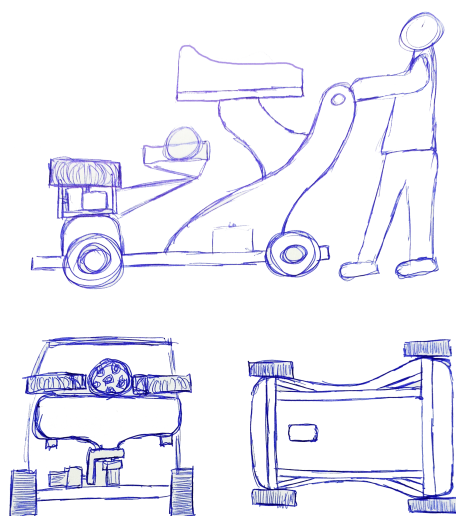


Figura 3.2: Esboços efetuados na fase de desenvolvimento inicial.

## 3.2 Modelação 3D e simulação numérica

Ao longo desta secção, serão apresentadas as soluções, relativamente ao aspeto e funcionalidades da máquina. Esta secção permitirá a compreensão de algumas das escolhas tomadas e como se desenrolou o processo de definição do produto. As transformações efetuadas ao longo do tempo no projeto, encontram-se também aqui relatadas devidamente.

No fim da secção, são apresentadas algumas simulações numéricas realizadas utilizando o software *ANSYS*. Estas permitiram validar geometrias de alguns componentes, o correto funcionamento do lançador e ainda, o comportamento dinâmico de alguns mecanismos cruciais.

### 3.2.1 Propostas e Soluções de Conceito

O desenvolvimento do lançador foi efetuado recorrendo ao *Solidworks*, um software especializado de desenho assistido por computador (CAD). O processo desenvolveu-se de uma forma iterativa. Partindo de um solução primária, inicialmente projetada, foram implementadas alterações e tentativas de otimização sobre a mesma, até ser atingida a proposta final desejada. Deste modo, na Fig. 3.3, pode visualizar-se o aspeto inicial da primeira solução gerada.

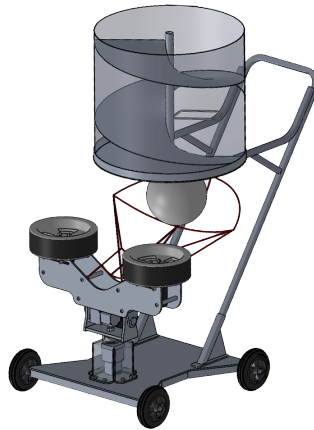


Figura 3.3: Primeira solução modelada em Solidworks.

O primeiro conceito da máquina, apresentado acima, apresenta uma base retangular apoiada sobre 4 rodas. Esta estrutura é constituída por tubos, de perfil quadrangular, soldados entre si e uma chapa fina de metal sobre os mesmos. O lançamento da bola é efetuado através de um mecanismo de dois rolos giratórios, acionados individualmente por motores de corrente contínua (motor DC). O acoplamento é feito diretamente entre o motor e os rolos, no entanto, foram colocados rolamentos de esferas de contacto angular, permitindo uma maior capacidade de aguentar cargas mais elevadas e o esforço contínuo devido ao lançamento das bolas.

Esta solução contempla a possibilidade de apenas 3 fatores poderem ser controlados. A inclinação do lançamento, através do motor passo a passo instalado na zona inferior do mecanismo (ver Fig. 3.4), a direção do lançamento através de outro motor passo a passo (ver Fig. 3.4) e ainda a rotação lateral que a bola pode sofrer através da variação da velocidade de rotação de um motor DC em relação ao outro (ver Fig. 3.4).

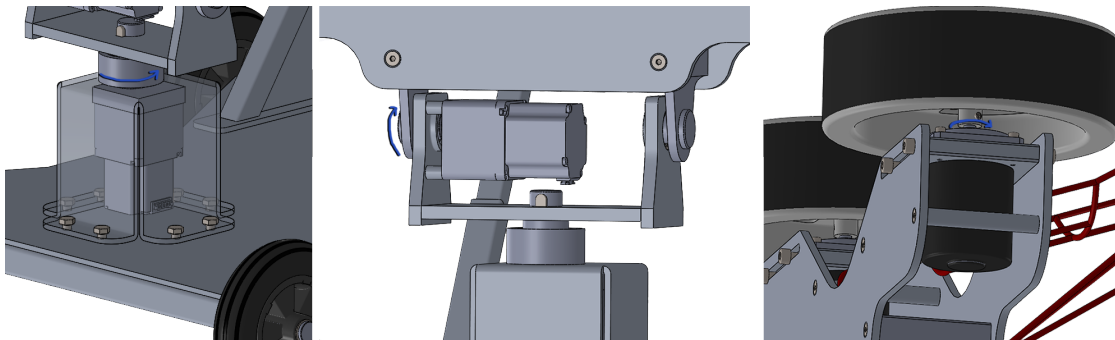


Figura 3.4: Mecanismos de acionamento.

A este efeito chamar-se-á a partir deste momento, efeito lateral. Relembrando a análise de mercado efetuada, a proposta enquadra-se nos modelos de lançadores mais simples, devido à incapacidade de produzir todos os tipos de lançamentos. Por outro lado, esta solução, apresenta a possibilidade de armazenar várias bolas em simultâneo e por conseguinte, a alimentação automática do mecanismo de lançamento. O alimentador encontra-se suportado por perfis quadrados de metal que, permitem simultaneamente a

manobra do lançador.

O remate de um jogador de futebol é feito a partir do solo, deste modo, para uma simulação fiável do remate através do lançamento da bola pela máquina, este deve ser efetuado à mínima altura possível. Uma forma de baixar o ponto de saída da bola, envolveu a troca dos mecanismos de inclinação e rotação lateral, onde a mesma foi substancialmente reduzida. Com esta alteração, foi reduzido 18,5% de altura, representando uma redução de 9,2 cm no total. O mesmo pode ser verificado na Fig. 3.5:

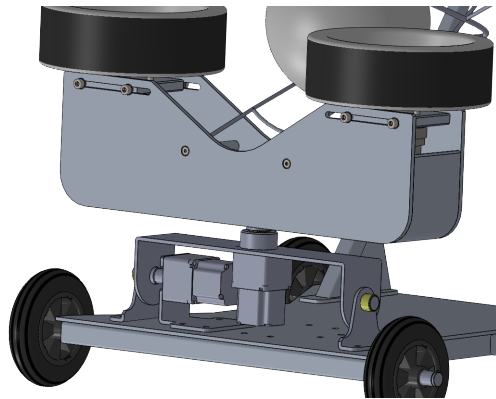


Figura 3.5: Alteração do posicionamento dos motores responsáveis pelos dos dois graus de liberdade.

De modo a melhorar a solução anterior, procedeu-se à otimização de alguns componentes chave e a algumas alterações relevantes no projeto. Estas alterações foram efetuadas utilizando as técnicas do DFA (*Design-for-Assembly*) e DFM (*Design-for-Manufacturing*). O DFA, implica o cuidado em projetar todos os componentes e todas as soluções construtivas de modo a que a montagem seja o mais fácil, rápida e simples possível. Isto é, que exista constantemente a preocupação em projetar mecanismos mais simples e com menor número de etapas de montagem possível. Por outro lado, o DFM, pretende que haja o cuidado em otimizar o processo de produção do produto. Ou seja, os materiais e métodos de fabrico devem ser cuidadosamente selecionados de modo a minimizar custos e facilitar o processo de conceção do produto. Para seguir esta filosofia é importante que os projetistas se encontram familiarizados com os diferentes tipos de materiais existentes e os diferentes processos de fabrico [6][7].

Consequentemente, a segunda solução apresenta-se com menos componentes relativamente à anterior. A estrutura de suporte (base), manteve-se relativamente igual, no entanto, o mecanismo de lançar as bolas sofreu alterações substanciais. Contrariamente à proposta anterior (Fig. 3.5), o mecanismo encontra-se agora assente apenas sobre um apoio, onde é assente uma peça maquinada em formato de 'L', de modo a substituir a anterior peça em forma de 'U' invertido, obtida através de um processo de quinagem e soldadura (Fig. 3.6). Devido às elevadas temperaturas que o processo de soldadura envolve, existe frequentemente, deformações, expansões e desalinhamentos das peças envolvidas. Deste modo, a alteração efetuada é importante devido, à facilidade da montagem e principalmente, à garantia da coaxialidade entre o eixo de rotação do motor e da peça em 'L'.

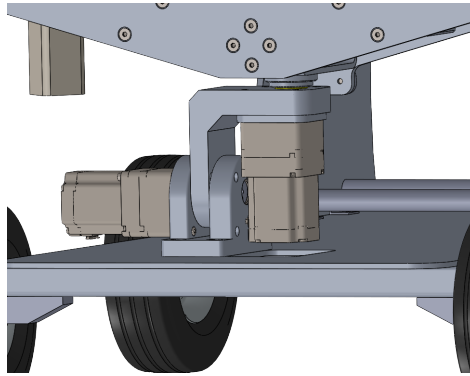


Figura 3.6: Apoio de um ponto com braço em L.

A importância de tornar este lançador mais competitivo relativamente ao mercado, levou a que fosse introduzido mais um grau de liberdade, permitindo assim a realização de todos os tipos de lançamentos. Através da introdução de mais um motor passo-a-passo, o mecanismo pode mudar a zona sobre a bola onde os rolos entraram em contacto. Isto é, ao contrário da condição anterior em que os mesmos atuavam horizontalmente sobre a bola, agora é possível a rotação ser aplicada sobre a bola segundo diferentes ângulos relativamente à horizontal (ver Fig. 3.7).

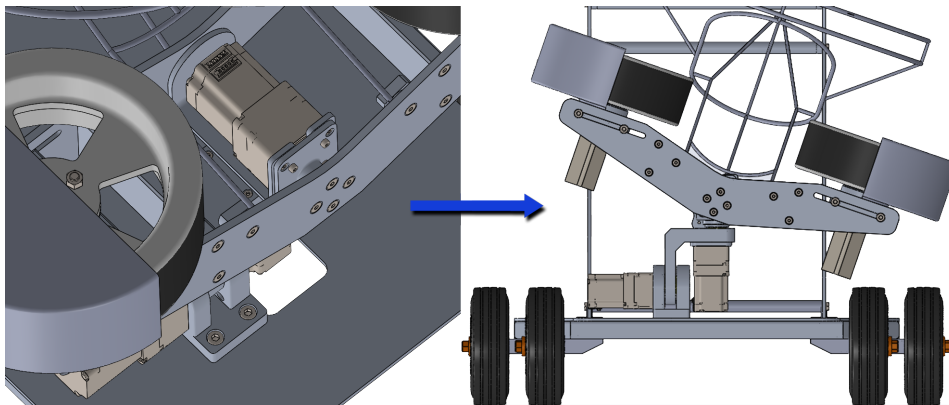


Figura 3.7: Inclusão de novo grau de liberdade.

Em desportos como ténis, este tipo de efeito provocado na bola, é chamado de *topspin* ou *backspin*. No caso específico do futebol, o lançador, consegue recriar passes longos em que a bola dá a sensação de planar no ar ao espectador (*backspin*) ou ainda, invertendo o sentido de rotação, provocar uma descida abrupta da bola (*topspin*).

Uma vez revista a solução anterior, foram identificados alguns possíveis problemas na montagem de alguns componentes. A imagem seguinte apresenta o aspeto da solução final proposta neste projeto.

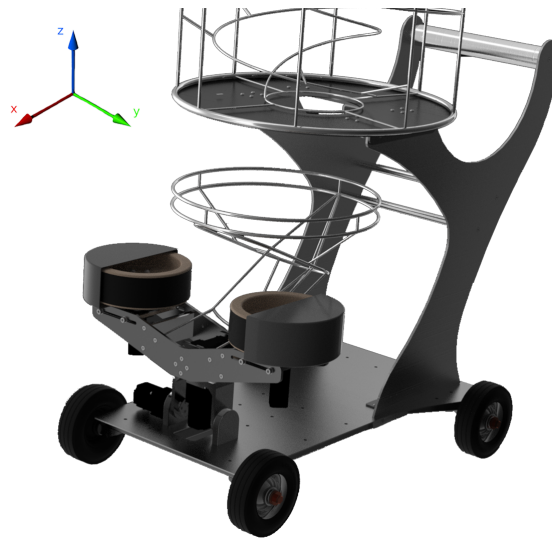


Figura 3.8: Renderização da solução final.

As alterações principais efetuadas relativamente à proposta anterior foram: mudança de base com apoio único para um duplo apoio, voltando novamente à forma de U invertido, a forma da base de sustentação foi alterada e a largura do eixo traseiro aumentada, também as placas laterais que sustentam o cesto de alimentação das bolas foram alteradas e por fim, as dimensões do cesto sofreram alterações. A fim de aumentar a estabilidade do lançador, a largura da parte traseira do quadro foi aumentada pelo que, a distância entre as rodas traseiras é maior que a distância entre as frontais. Além disso, o quadro, formado por vários perfis de aço soldados, foi devidamente furado de modo a permitir a ligação aparafusada da chapa fina da base ao mesmo. O lançador, como referido anteriormente, encontra-se assente sobre quatro rodas. A ligação das mesmas ao quadro é feita através de um pino com cabeça hexagonal padronizada e de ponta roscada (componente 2 da Fig. 3.9). A fabricação do pino é realizada por maquinação. O tamanho da rosca e a espessura da anilha, determinam a folga que a roda terá para rodar livremente sobre o eixo.

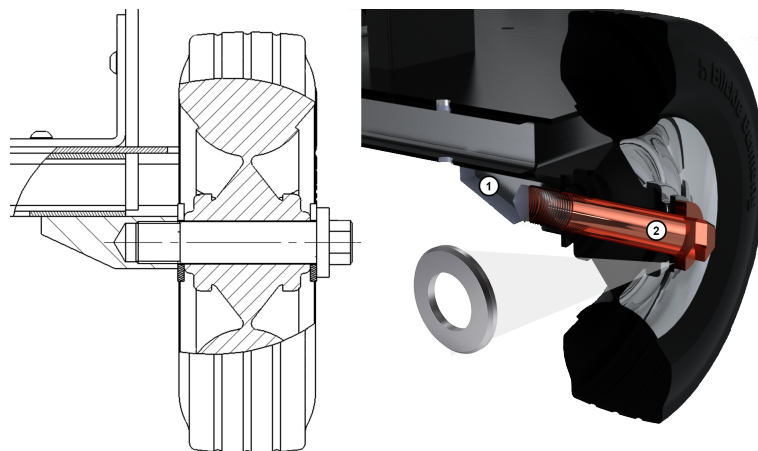


Figura 3.9: Renderização da ligação das rodas.



Na Fig. 3.9 apresenta-se o modo de ligação das rodas ao quadro onde, adicionalmente ao pino também é necessário uma anilha e um cubo para realizar a montagem completa. O cubo (componente 1 da Fig. 3.9) é soldado ao quadro mas, contrariamente às soluções anteriores, a ligação soldada é feita sobre a face inferior do perfil de aço de modo a aumentar a altura da base ao chão (relvado). Deste modo, independente do estado do relvado, a máquina deverá ser capaz de vencer o mesmo e permitir uma fácil manobra.

Com vista a realizar variações na inclinação do lançamento das bolas, projetou-se o seguinte mecanismo (ver Fig. 3.10).

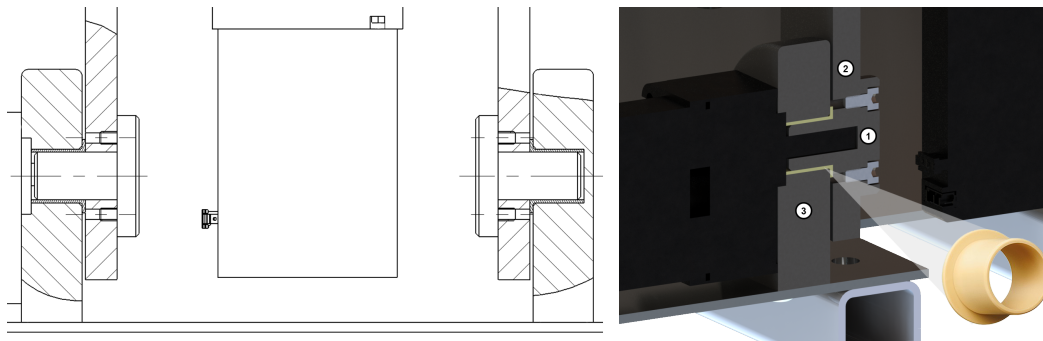


Figura 3.10: Renderização do mecanismo responsável pela inclinação.

O mecanismo de lançamento das bolas encontra-se assente sobre 2 apoios. O motor passo-a-passo encontra-se aparafusado a um destes apoios (componente 3 da Fig. 3.10) através de 4 parafusos M4. Num alojamento deste apoio é colocado à pressão, um casquilho deslizante que permite ao componente 1 da figura anterior deslizar sobre o mesmo. Como este componente se encontra aparafusado ao 'U' invertido (componente 2 da Fig. 3.10) e acoplado ao veio do motor, todo o conjunto adquire um movimento de rotação, originando uma alteração na inclinação. O apoio oposto encontra-se projetado de forma similar, de modo a permitir o guiamento do movimento de rotação e estabilidade do sistema.

O movimento de rotação lateral determina se a bola será lançada mais para a esquerda ou direita. A transmissão do movimento do motor é feita de forma muito parecida ao que anteriormente foi apresentado.

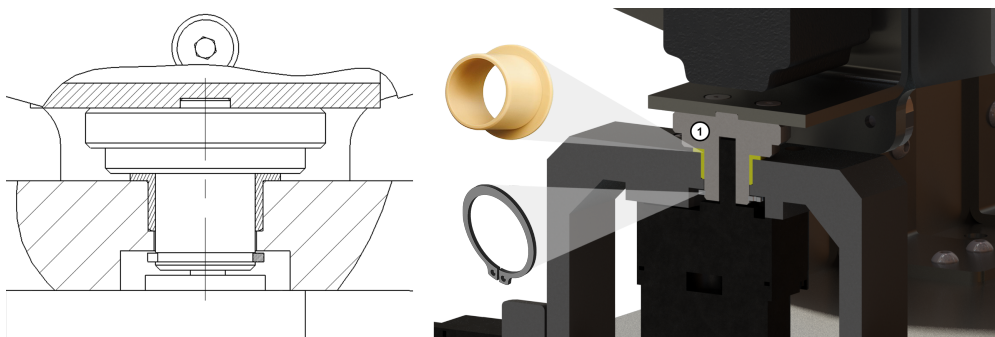


Figura 3.11: Renderização do mecanismo responsável pela direção.

O motor encontra-se novamente sustentado através de uma ligação aparafusada e a

transmissão da potência é feita através de um acoplamento com o componente 1 da Fig. 3.11. Este transmite o movimento de rotação para o restante conjunto através de mais uma ligação aparafusada. Foi criado propositadamente um pequeno pino na extremidade desta peça de modo a que as peças estejam centradas. Durante o funcionamento, a desmontagem é impossibilitada através da colocação de um anel elástico na extremidade do componente 1.

Como referido anteriormente, foi necessário proceder à inclusão de mais um grau de liberdade no sistema. Assim, foi adicionado ao conjunto um novo motor passo-a-passo, que deverá possibilitar a rotação dos rolos no plano ZY (ver eixo da Fig. 3.8).

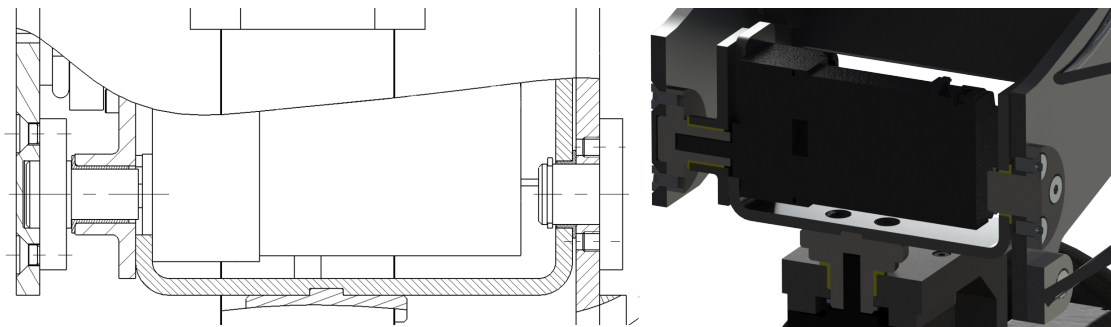


Figura 3.12: Renderização do mecanismo responsável pelo efeito lateral.

O novo motor encontra-se montado sobre uma peça em forma de 'U', que pode ser obtida através de um processo de quinagem e soldadura. Como se pode ver na figura anterior, o princípio da transmissão de potência do motor para o conjunto foi mantido em relação ao movimento de inclinação. As fixações são novamente feitas através de ligações aparafusadas e a retenção de movimento através de anel elástico. Relativamente ao mecanismo de lançamento, os rolos desempenham também um papel crucial e é necessário garantir a transmissão de potência dos motores de corrente contínua para os mesmos.

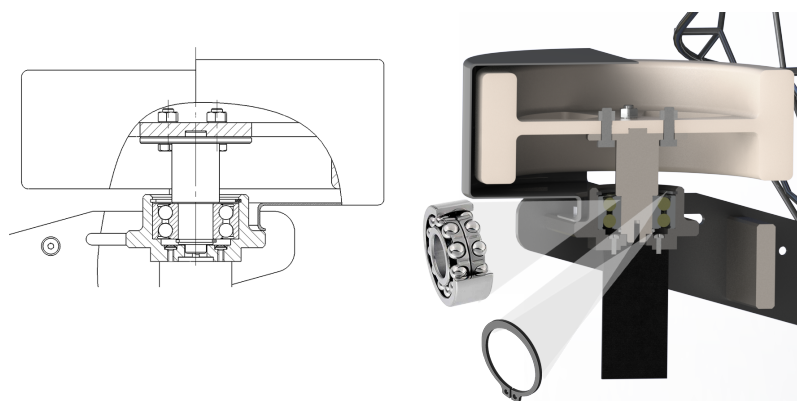


Figura 3.13: Renderização do mecanismo dos rolos.

Cada lançamento implica que uma bola passe entre os rolos rotativos e desse modo, seja comprimida entre os rolos durante um determinado intervalo de tempo. A compressão da bola implica uma reação sobre os rolos e por conseguinte, sobe os veios dos motores DC o que não é desejável. Desse modo, de forma a minimizar o impacto

causado sobre o veio dos motores e garantir a longevidade dos mesmos, são introduzidos rolamentos no sistema de modo a absorverem grande parte das forças de reação envolvidas. A Fig. 3.13, mostra que o motor encontra-se fixo através de ligações aparafusadas e os rolos encontram-se ligados a um acoplamento que faz a ligação com o veio do motor. Os rolamentos são montados à pressão no componente 1 e, como o acoplamento se encontra em contacto com o anel interior do rolamento, sempre que existe uma força de reação esta é transmitida para o rolamento. A desmontagem durante o funcionamento é novamente impedida através da colocação de um anel elástico.

Antes de qualquer lançamento, uma bola tem de passar pelo sistema de alimentação da máquina. Este é constituído por um cesto em espiral, no qual, é possível armazenar um número considerável de bolas e garantir o movimento descendente das mesmas através da energia potencial gravítica. Este conjunto é suportado por duas placas que se encontram aparafusadas ao quadro do lançador e à chapa da base. Deste modo, procura-se a redução das vibrações causadas pela entrada de novas bolas no cesto e ainda, uma maior estabilidade de todo o conjunto ao garantir a transmissão das vibrações para o quadro e por sua vez para as rodas e solo (ver Fig. 3.14).



Figura 3.14: Renderização da ligação das placas laterais à base do lançador.

A cadência de lançamento das bolas é limitada através da inclusão de um motor passo a passo à saída do cesto. O objetivo deste motor é que intercale o seu estado entre duas posições. A primeira de modo a que um ligeiro batente impeça a continuação da bola para o mecanismo de lançamento e a outra em que, através da rotação de um quarto de uma revolução a bola continue o seu movimento descendente. A figura 3.15 mostra os dois estados do motor e por conseguinte, a consequência direta no movimento da bola.



Figura 3.15: Renderização do alimentador de bolas.

### 3.2.2 Dimensões e Características Gerais

As dimensões do lançador são muito importantes para o projeto pois, estas podem influenciar o transporte e facilidade do manuseio do equipamento. Características como a altura, comprimento e largura devem ser alvo de uma cuidadosa avaliação e ponderação. Caso a altura da máquina seja demasiado elevada, quando utilizada num treino de escadões juvenil ou infantil por exemplo, os atletas poderão ter dificuldade em colocar as bolas no alimentador. Por outro lado, uma base muito estreita poderá comprometer a estabilidade durante o funcionamento. Sempre que é efetuado um lançamento, são aplicados esforços de reação sobre o conjunto, pelo que, uma boa razão entre largura e comprimento é vital para assegurar a boa estabilidade. Adicionalmente, também o centro de massa deve ser mantido o mais próximo do solo possível.

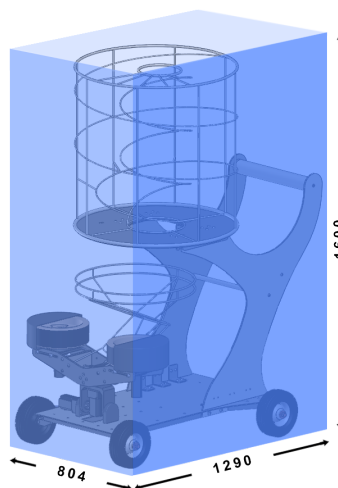


Figura 3.16: Volume ocupado pelo Lançador.

O conceito apresentado tem comprimento e largura máximos de 1290 mm e 804 mm, respetivamente. Ambas as medidas indicadas anteriormente têm em consideração as quatro rodas do sistema. A altura do solo até ao topo do alimentador é cerca de 1600 mm (ver Fig. 3.16). Um adulto consegue facilmente introduzir bolas no sistema, também

uma criança ou adolescente, dependendo da sua idade, deverá ainda assim ser capaz de introduzir as bolas no alimentador. Um aspeto ergonómico importante da máquina é a pega que o utilizador usa para empurrar o sistema. De acordo com o Centro Canadano de Saúde e Segurança no Trabalho, a altura desde o solo até às pegas de um carrinho de carga, deve variar entre 910 mm até 1112 mm. Utilizando esta informação e considerando que ergonomicamente o lançador se assemelha a um destes carrinhos, a altura utilizada para as pegas foi fixada em cerca de 1000 mm. A altura média da bacia de uma pessoa corresponde a cerca de 56% da altura [8][9]. Desse modo, considerando um adulto de estatura média, 1,75 m, a sua bacia encontra-se a 0,98 m do solo, garantindo que os braços no ato de empurrar estarão numa posição natural e confortável para o utilizador. Como referido em secções anteriores, de modo a recriar o remate de um jogador de futebol, idealmente, o ponto de lançamento deve ser efetuado o mais próximo do solo possível. Na solução projetada, a saída da bola é feita a uma altura de cerca 485 mm. Note-se que de modo a criar um lançamento rasteiro, a máquina deve garantir uma inclinação negativa onde, a bola sairá em direção ao solo. Uma característica importante a controlar na máquina deve ser a sua massa. Através do software CAD utilizado foi possível inferir o valor da massa total instalada. Sem componentes eletrónicos o conjunto total apresenta uma massa de 41,3 kg. Por outro lado, quando instalados componentes como a bateria, motores, entre outros, a massa final ronda os 58 kg. Estes valores representam uma estimativa do valor real, este será mais tarde confirmado através da pesagem do conjunto físico. Quando comparado com os modelos apresentados no capítulo do Estado da arte e da tecnologia, o lançador desenvolvido apresenta-se num patamar intermédio. A inclusão do sistema de alimentação de bolas automático limitou o sistema nos graus de liberdade para o lançamento das bolas. Isto acontece devido ao facto de, uma vez, fora do cesto de alimentação a bola necessita de ser conduzida até aos rolos rotativos. A partir de alguns valores de inclinação e rotação, a bola pode nem atingir o cesto ou a energia potencial e velocidade inerente à mesma não serem suficientes para a atingir o objetivo. Deste modo, os ângulos máximos dos três graus de liberdade do Lançador são apresentados na figura abaixo.

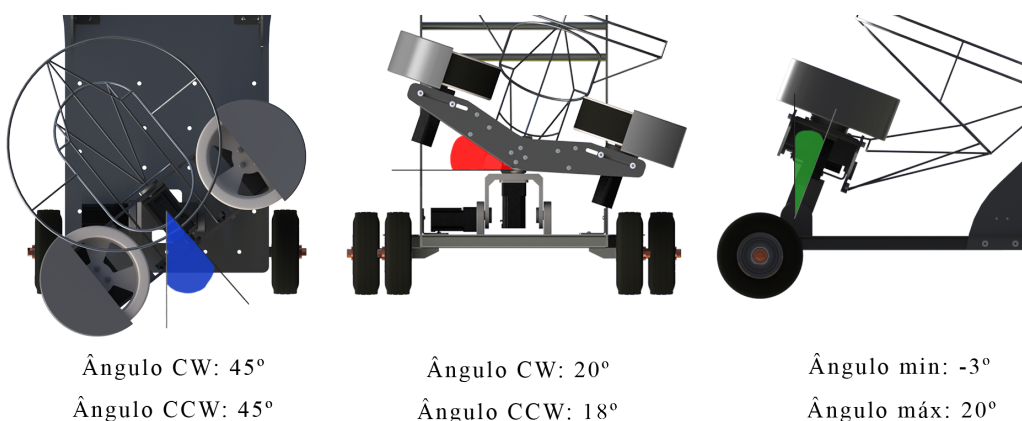


Figura 3.17: Amplitudes máximas e mínimas de cada grau de liberdade. Nota: CC - sentido horário CCW - sentido anti-horário

A inclinação máxima positiva é de 20°, em contraste, a máxima negativa fixa-se nos 3°. Para a definição do lado do lançamento, o lançador possui uma amplitude de pelo menos

$90^\circ$ , pelo que, pode lançar até  $45^\circ$  para a direita e  $45^\circ$  para a esquerda. Por fim, de modo a variar o efeito sobre a bola, é possível rodar os rolos em cerca de  $20^\circ$  em ambos os sentidos. Através dos valores apresentados, considerando que a velocidade máxima de lançamento, entre os 120 - 130 km/h, a situação ideal onde não atuam forças de atrito do ar em contacto com a bola e condições climáticas adversas, como o vento forte, utilizando as fórmulas de lançamento de um projétil pode determinar-se, aproximadamente, o alcance da máquina ao longo de um campo de futebol. Considerando um lançamento efetuado com o maior ângulo de inclinação da máquina ( $20^\circ$ ) e uma velocidade de saída da bola de 120 km/h, é necessário decompor o vetor velocidade em duas componentes, horizontal ( $V_{0x}$ ) e vertical ( $V_{0y}$ ).

$$v_{0y} = v \times \sin(\theta) \quad (3.1)$$

$$v_{0x} = v \times \cos(\theta) \quad (3.2)$$

Correspondendo,  $v$ , à velocidade de saída da bola e  $\theta$  o ângulo de inclinação, então,  $v_{0y} = 120 \times \sin(20) = 41$  km/h, ou seja, 11,4 m/s. Por outro lado, sabe-se também que a posição vertical pode ser dada pela seguinte expressão:

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (3.3)$$

Sabendo que a bola é projetada a partir de uma altura ( $y_0$ ) de 0,3 m, com uma velocidade inicial na vertical ( $v_{0y}$ ) de 11,4 m/s e a aceleração da gravidade ( $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>), pode-se através da expressão acima determinar o tempo ( $t$ ) que a bola demora a atingir o solo ( $y=0$ ). A resolução da equação quadrática devolve dois valores para  $t$ ,  $t = 0$  e  $t = 2,35$  s. O primeiro valor corresponde ao instante inicial em que é efetuado o lançamento da bola e o segundo valor ao instante final em que a bola atinge o solo, sendo este o valor pretendido para o cálculo do alcance máximo teórico. Para o cálculo do alcance máximo,  $x_{max}$ , pode utilizar-se a seguinte expressão:

$$x = x_0 + v_{0x}t \quad (3.4)$$

Assim, considerando a posição inicial nula ( $x_0 = 0$  m), a componente horizontal da velocidade de  $v_{0x} = v \times \cos(\theta) = 33,3 \times \cos(20) = 31,3$  m/s e o tempo  $t = 2,35$  s, obtém-se um alcance máximo de:

$$x_{max} = 0 + 31,3 \times 2,35 = 73,6m$$

De acordo com a Federação Internacional de Futebol e Associações (FIFA), o comprimento do campo de futebol pode ter no mínimo 90 m até a um máximo de 120 m. Considerando o comprimento máximo e as restantes medidas regulamentadas para a definição da grande área, área de penalti, meio campo e os valores da Fig. 3.18, foi traçado um esboço do alcance máximo que pode ser produzido pelo lançador.

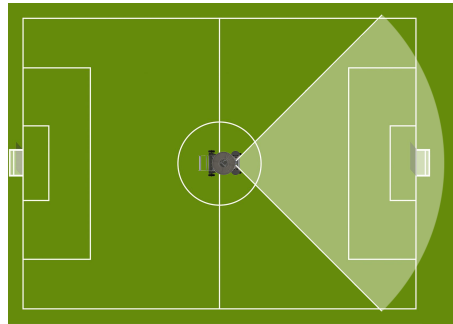


Figura 3.18: Alcance do lançador ao longo de um campo de futebol 120x66 m. (rawpixel.com)(modificado)

Nos cálculos acima não é considerada a força de arrasto que atua sobre a bola. Assim, utilizando dados de um estudo realizado pela NASA, o número de Reynold da bola,  $Re$ , é de  $3 \times 10^5$  pelo que, o coeficiente de arrasto,  $c_d$ , para um objeto esférico, é cerca de 0,25. Uma vez conhecido o coeficiente de arrasto é possível determinar a força de arrasto,  $F_d$ , através da seguinte expressão:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 c_d A \quad (3.5)$$

onde  $\rho$  representa a densidade do fluido onde a bola se encontra imersa,  $v$ , a velocidade linear da bola e  $A$  a área da secção da mesma. Considerando o valor  $1,225 \text{ kg/m}^3$  para a densidade do ar e uma velocidade linear de 120 km/h.

$$F_d = \frac{1}{2} \times 1,225 \times 31,3^2 \times 0,25 \times \pi \times 0,11^2 = 5,70N$$

Deste modo, a componente horizontal da desaceleração sofrida pela bola é de  $a = 5,70/0,43 = 13,26\text{m/s}^2$ . Adicionando a componente de aceleração na expressão 3.4, o novo valor de alcance da máquina pode ser determinado.

$$x_{max} = 0 + 31,3 \times 2,35 - \frac{1}{2} \times 13,26 \times 2,35^2 = 37m$$

Verifica-se uma redução substancial do alcance da máquina quando tido em consideração o efeito do ar. Este valor poderá ser maior ou menor dependendo da velocidade e direção do vento que fizer sentir durante o lançamento.

Por fim, a distância entre os rolos rotativos pode ser ajustada entre um valor máximo de 208 mm até um valor mínimo de 140 mm, que correspondem a uma menor e maior compressão da bola, respetivamente.

### 3.2.3 Análise Dinâmica das Forças exercidas

Em qualquer projeto mecânico é frequente a utilização de *software* de simulação numérica de modo a validar o design efetuado e simular o produto em funcionamento para minimizar a probabilidade de falhas ou imprevistos nas etapas seguintes. Nesta secção, apresenta-se a simulação dinâmica efetuada, de modo a avaliar o esforço sofrido pelos rolos ao longo da passagem de uma bola entre os mesmos. Pretende avaliar-se a evolução das forças de reação envolvidas, para os diferentes valores de compressão

sofridos pela bola. Adicionalmente, os resultados obtidos serão posteriormente comparados com valores obtidos através de um ensaio de compressão efetuado numa bola genérica. Segundo um estudo, conduzido em 2015, foram aplicados testes em 38 bolas diferentes (certificadas pela FIFA) de modo a determinar as propriedades mecânicas das bolas de futebol e futsal. Através deste estudo foi concluído que as bola de futebol e futsal apresentam um módulo de young de 66 e 67 kPa, respetivamente [10]. As propriedades mecânicas da bola são determinantes para efetuar a simulação numérica pois apenas desse modo é possível simular o comportamento da mesma. Sabe-se que após a passagem pelos rolos, apesar da compressão sofrida, a bola retoma à sua forma original pelo que, o comportamento que se pretende analisar apenas representa as deformações lineares sofridas pela bola. Assim, na definição das propriedades da bola, apenas foram incluídas as características relativas ao seu comportamento linear.

Tabela 3.2: Propriedades mecânicas definidas para a bola no software *ANSYS*.

| Propriedade             | Valor | Unidades           |
|-------------------------|-------|--------------------|
| Densidade               | 77,13 | kg m <sup>-3</sup> |
| Módulo de Young         | 60000 | Pa                 |
| Coefficiente de poisson | 0,45  | -                  |
| Módulo volumétrico      | 2e+05 | Pa                 |
| Módulo de cisalhamento  | 20690 | Pa                 |

A bola oficial de futebol apresenta uma massa de 0,45 kg e um diâmetro de 0,22 m. Através do conhecimento do seu diâmetro é possível aferir o seu volume ( $V$ ),  $V = \frac{4}{3} \times \pi \times 0,11^3 = 0,00558 \text{ m}^3$  e posteriormente, a sua densidade,  $77,13 \text{ kg/m}^3$ . Considerou-se um coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) de 0,45 e como referido anteriormente, 66 kPa como valor para o módulo de Young ( $E$ ). De modo a simplificar a análise, os rolos foram considerados corpos rígidos pois o foco centra-se na análise das deformações sofridas na bola e não nos rolos. Como condições iniciais, foi definida uma velocidade constante inicial na bola de forma a esta entrar em contacto com os rolos e uma velocidade de rotação a cada um dos rolos ( $\omega = 311 \text{ rad/s}$ ). No instante inicial não existe contacto entre a bola e os rolos adicionalmente, para a realização da simulação foram eliminadas as ligações aparafusadas dos rolos e simplificada a sua forma de modo a facilitar a criação da malha.

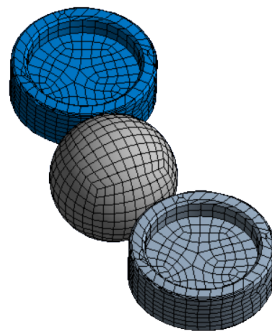


Figura 3.19: Malha definida para cada um dos componentes (rolos + bola).



Adicionalmente, foram ainda definidos os contactos de fricção entre a bola e os rolos, de forma a garantir que esta adquira o movimento de rotação dos rolos. De modo a avaliar a força máxima que atuará sobre a bola foi considerada a menor distância admissível entre os rolos. Isto é, segundo um artigo publicado em 2010, que retrata uma análise matemática a um lançador de bolas a bola quando entra em contacto com os dois rolos apenas avança caso a força aplicada sobre a mesma vença a força de atrito do contacto da mesma com os rolos. Quanto menor a distância entre os rolos, maior será a compressão exercida sobre a bola e mais difícil a sua passagem pelo que de seguida irá ser calculada a distância mínima a que os rolos devem encontrar-se um do outro para garantir a passagem da bola e por conseguinte, a sua projeção.

Quando em contacto com os rolos, uma força normal à superfície da bola,  $N$ , atuará sobre a mesma, simultaneamente, também a força tangencial de fricção,  $T$ . De modo a que a bola seja conduzida pelo dois rolos é necessário que a componente horizontal  $T_h$ , da força  $T$  seja igual ou superior à componente horizontal  $N_h$  da força  $N$ [11].

$$T \cos \lambda \geq N \sin \lambda \quad (3.6)$$

Onde  $\lambda$  corresponde ao ângulo entre o plano que contém os eixos de rotação dos dois rolos e o plano que contém o eixo de rotação de um dos rolos e o ponto de contacto entre a bola e o rolo. [11] Sabe-se que  $T = \mu N$  e, uma vez conhecido o valor do módulo de Young da bola ( $E$ ), pode calcular-se  $N$  através da seguinte expressão:

$$N = \frac{Es\Delta l}{2r} \quad (3.7)$$

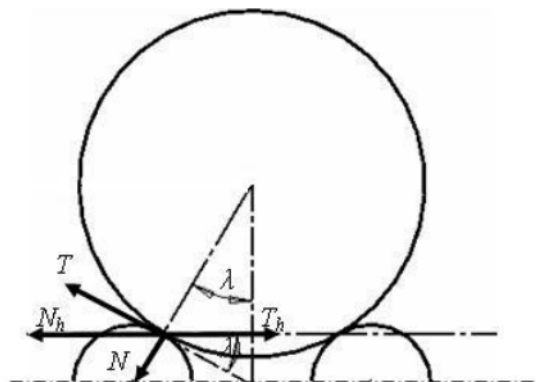


Figura 3.20: Representação das forças que atuam sobre a bola [6].

O coeficiente  $s$  representa a área da superfície de deformação da bola,  $\Delta l$  o deslocamento provocado na superfície da bola e  $r$  o raio da bola. O deslocamento,  $\Delta l$ , vai influenciar diretamente a distância entre os rolos pelo que, foi determinado o valor máximo de  $\Delta l$  de modo a conhecer a distância entre os rolos mínima. Este foi um processo iterativo onde a distância mínima determinada foi de 186 mm (considerando diâmetro da bola de 222 mm).

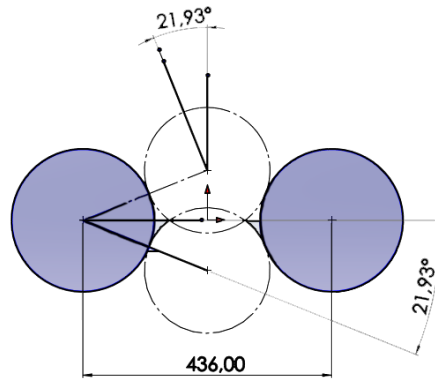


Figura 3.21: Geometria do contacto da bola com os rolos no momento inicial.

Neste cálculo foi considerado para o ângulo,  $\lambda$ , o valor  $22^\circ$  e para o coeficiente de atrito entre a bola e os rolos,  $\mu$ , o valor 0.4. Devido à ausência de informação sobre possíveis valores de coeficiente de atrito, este foi arbitrado tendo em conta estudos realizados recentemente que mostraram valores de atrito entre as chuteiras e a bola de futebol de 0.38 [12].

Utilizando a geometria determinada acima e os valores referidos é apresentado na Fig.3.22 a distribuição de tensões ao longo da bola no momento de maior compressão (meio da passagem entre os rolos), onde existe uma clara concentração de tensão no ponto de contacto entre a bola e um dos rolos (zona a vermelho).

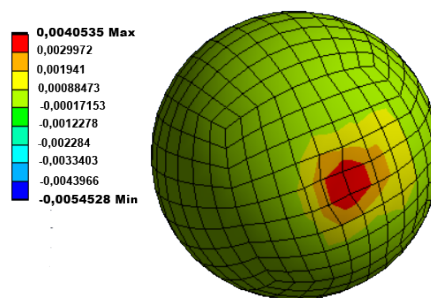


Figura 3.22: Distribuição de tensões ao longo da bola no ponto de maior compressão.

Na tabela seguinte, são apresentados os valores de deslocamento e de tensão que surgem na área da bola que sofre o contacto durante a compressão.

Tabela 3.3: Tensões e deslocamentos na área de contacto da bola com o rolo ao longo da sua passagem.

| Tempo (s) | Deslocamento (mm) | Tensão (Mpa) |
|-----------|-------------------|--------------|
| 0,000     | 0                 | 0            |
| 0,015     | 1,621             | 3,81E-04     |
| 0,020     | 3,321             | 1,49E-03     |
| 0,025     | 4,079             | 2,73E-03     |
| 0,030     | 4,686             | 1,54E-03     |
| 0,035     | 4,694             | 2,94E-03     |
| 0,040     | 5,278             | 4,05E-03     |
| 0,045     | 4,730             | 2,59E-03     |
| 0,050     | 4,511             | 1,86E-03     |
| 0,055     | 3,780             | 1,43E-03     |
| 0,060     | 1,995             | 8,41E-04     |
| 0,065     | 0                 | 0            |

Esta área, corresponderá a uma porção da face da bola que, momentaneamente se encontrará aproximadamente plana. Como é conhecido o diâmetro da bola ( $\phi$ ), a distância entre os rolos e o deslocamento sofrido nas extremidades ( $d$ ), pode estimar-se a área de contacto entre os rolos e a bola ( $A$ ). Através dos valores de deslocamento da tabela 3.2, e uma vez conhecida a área de contacto, pode determinar-se as forças de reação que atuam sobre a bola ( $F = \sigma \times A$ ) e, por sua vez, utilizando a segunda Lei de Newton (par ação-reação), a forças que atuam sobre os rolos.

O maior valor de tensão (0,00405 MPa) e maior deslocamento (5,278 mm) sofrido pela bola, correspondem ao momento em que a bola se encontra no meio dos rolos (maior compressão) pelo que a força máxima que atuará durante um lançamento, sobre os rolos, acontece neste instante. A área de contacto foi estimada utilizando o software *Solidworks*. Sabendo que a área de contacto é aproximadamente,  $3708 \text{ mm}^2$ , a tensão no instante,  $t=0,040$ , é  $\sigma = 0,00405 \text{ MPa}$ , então, a força máxima que atua neste instante pode calcular-se do seguinte modo:

$$F_{max} = \sigma \times A = 0.00405 \times 3708 = 15.02N$$

De notar que, com a diminuição da distância entre os rolos, este valor pode aumentar significativamente pelo que, a colocação de rolamentos de esferas na ligação dos motores com os rolos é de extrema importância para garantir o bom funcionamento em situações de maior esforço mecânico da estrutura.

De forma a validar os valores de força máxima obtida acima analisou-se um teste de compressão, utilizando uma prensa hidráulica, sobre uma bola de futebol efetuado pela empresa Zwick/Roell. Assim, através do gráfico Força×Deslocamento (ver Fig. 3.23), é possível verificar que o valor de força que é necessário imprimir de modo a existir um deslocamento de 5,278 mm.

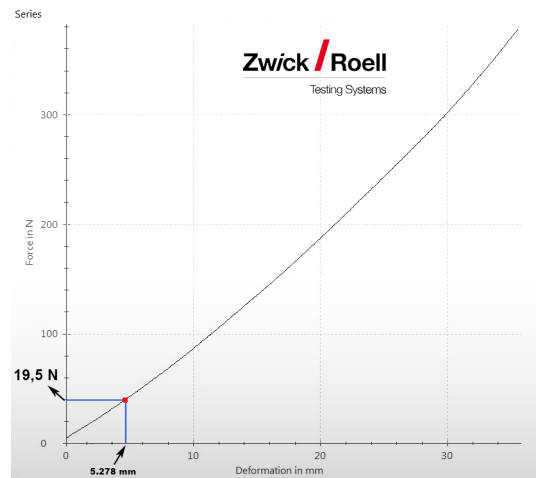


Figura 3.23: Gráfico Força x Deslocamento obido por um ensaio de compressão. (Zwick/Roell,2018)(modificado)

No gráfico anterior pode verificar-se que o valor obtido foi de 19,5 N pelo que, é semelhante ao valor estimado através do software *ANSYS* de 15,02 N.

### 3.2.4 Análise Estática da Estrutura

A secção presente tem como objetivo a validação da robustez da estrutura projetada. Através de simulações estáticas, pretende-se determinar se, quando cheio o alimentador, a deflexão da estrutura e a deflexão do quadro e chapa de suporte não apresentam valores demasiado elevados. Deste modo, foram realizadas duas simulações numéricas distintas. Na primeira simulação, pretende-se avaliar o efeito do alimentador cheio de bolas sobre as placas laterais que o suportam. Para esta análise apenas foram consideradas as placas laterais. Como condição de fronteira, a base das placas, na zona das ligações aparafusadas foi fixada. Além disso, de modo a simular a interação do cesto de alimentação com as placas, a soma da sua massa com as bolas foi dividida em dois e o peso correspondente aplicado sobre cada um dos topos das placas. Isto apenas é possível pois, considera-se que a distribuição do peso é efetuada de igual forma para ambas as placas. A massa total do cesto de alimentação, bolas (considera-se que o cesto está cheio) e placas superiores foi determinada da seguinte forma:

$$m_{total} = m_{cesto} + m_{PlacaSuperior} + m_{PlacaApoio} + N \times m_{bolas}$$

Sendo,  $N$ , o número de bolas no cesto e considerando que este se encontra cheio (aproximadamente 12 bolas), então,  $m_{total} = 2,8 + 2,6 + 0,6 + 12 \times 0,43 = 11,16$  kg. Como é esperado que a massa se distribua de igual modo pelas duas placas, este valor pode ser dividido por 2 e, assim, considerando,  $g = 9,81m/s^2$ , o valor para a aceleração da gravidade, a força vertical ( $F$ ) que atua sobre a placa lateral é de:

$$F = m \times g = \frac{11.16}{2} \times 9.81 = 54.7N$$

Na Fig. 3.24, pode visualizar-se a aplicação das condições de fronteira na estrutura. A carga calculada anteriormente é aplicada sobre a área de contacto com a placa lateral.

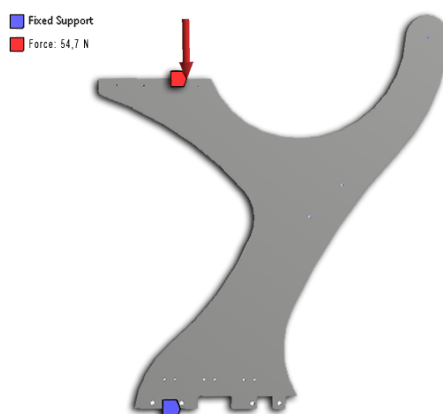


Figura 3.24: Condições de fronteira aplicadas à placa.

Em cada placa foi aplicada a força calculada anteriormente e de seguida, analisadas as deformações e deslocamentos ao longo da estrutura. Com esta análise pretende-se identificar os possíveis pontos críticos, onde as deformações são mais elevadas e, ainda, avaliar o design das placas. Na figura seguinte é apresentada uma vista aproximada da malha definida.

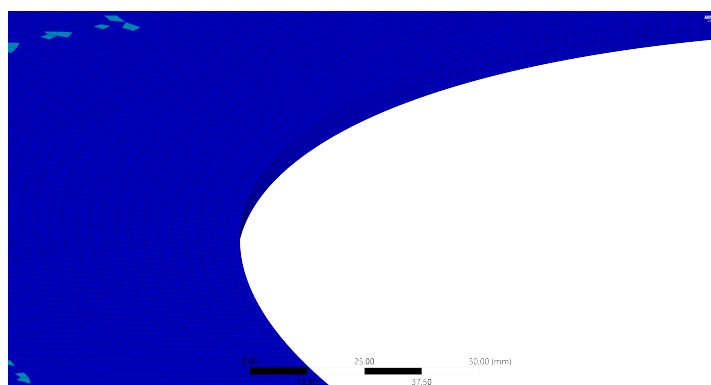


Figura 3.25: Malha definida para a placa lateral.

Na eventualidade de existirem pontos de elevada concentração de tensões e por conseguinte elevadas deformações, a alteração do design pode ser suficiente para resolver o problema. A substituição de esquinas vivas por cantos arredondados é um exemplo desta prática. Através da Fig.3.26, verifica-se que os valores máximos de tensão sofridos pela estrutura são muito baixos. A tensão máxima é de 0,82131 MPa, na zona a vermelho da Fig. 3.26, o que corresponde a um deslocamento local de 0,0017783 mm.

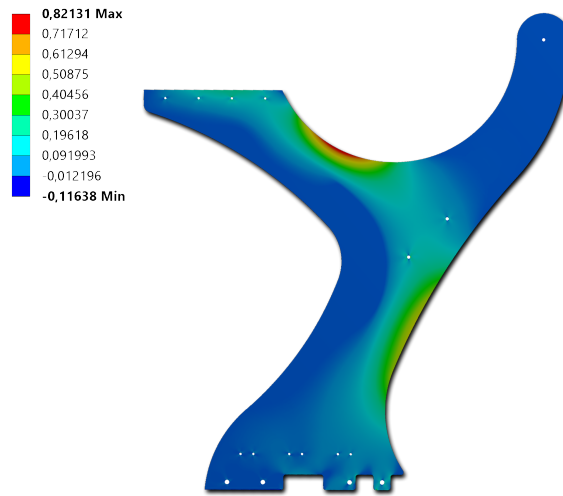


Figura 3.26: Distribuição das tensões ao longo da placa lateral - MPa.

Assim, pode concluir-se que o material selecionado, Alumínio 6061, com uma tensão de cedência de cerca de 110 Mpa (informação técnica proveniente da AlumiCopper) é suficiente para suportar a carga máxima do alimentador e das bolas. Os resultados obtidos mostram que a espessura definida para as placas poderia ser reduzida de modo a reduzir o custo e massa das mesmas. No entanto, esta foi mantida devido ao receio do aumento de vibrações para valores de espessura menores.

Por outro lado, procurou-se avaliar também a influência do peso do mecanismo de lançamento sobre a chapa da base que se encontra ligada ao quadro. Como condição de fronteira, foram fixados o quadro e ambos os apoios do mecanismos de lançamento. Através do software CAD determinou-se a massa dos sistema ( $m_{sistema} = 18,5$  kg) e metade do seu valor ( $18,5/2 = 9,25$  kg) foi aplicado sobre cada um dos apoios. Assim, em cada um dos apoios definiu-se uma força vertical (F) com magnitude de  $F = 9,25 \times 9,81 = 90,75$  N.

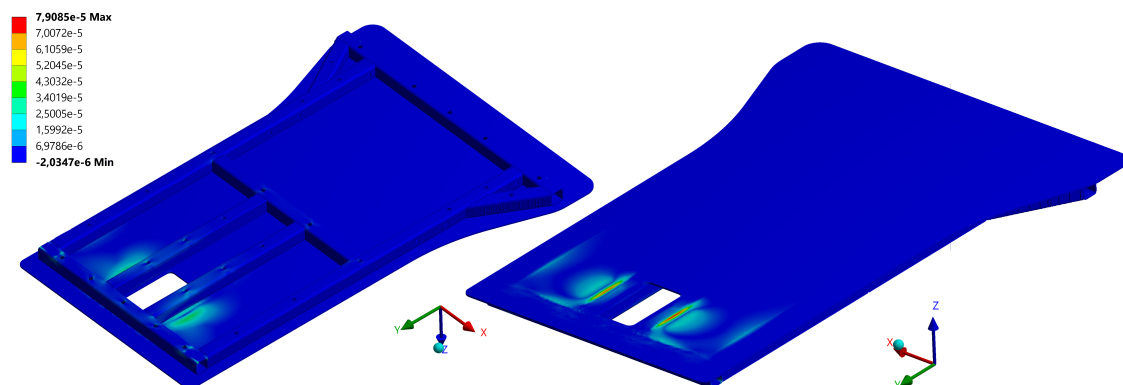


Figura 3.27: Distribuição das deformações máximas nas três direções principais ao longo da chapa base.

De acordo com o que seria de esperar, as zonas de maior deformação encontram-se

próximas dos pontos de aplicação da carga, no entanto, os valores máximos são relativamente baixos. Através da Fig. 3.28, verifica-se que a tensão máxima sofrida foi de cerca de 5,6 MPa. Este valor encontra-se longe da tensão de cedência do material da chapa e do chassis, pelo que os mesmos não terão qualquer problema em sustentar a estrutura do mecanismo. Similarmente ao que foi referido acima na análise das placas laterais, também foi mantida a espessura da chapa da base e dos perfis do chassis.

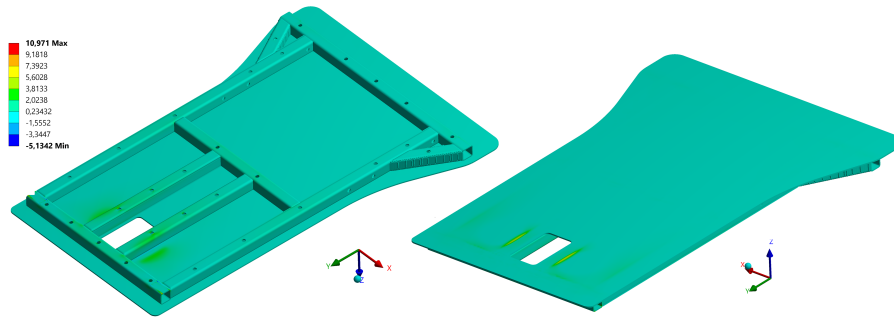


Figura 3.28: Distribuição das tensões máximas nas três direções principais ao longo da chapa base.

### 3.3 Dimensionamento dos elementos mecânicos

O correto dimensionamento dos componentes de um projeto mecânico é vital de modo a garantir o bom funcionamento e durabilidade do sistema. Além disso, pode também ser evitada a ocorrência de falhas durante o funcionamento e gastos associados ao sobredimensionamento dos componentes [13]. Na secção seguinte serão apresentados os cálculos e métodos utilizados para o dimensionamento dos componentes considerados como críticos ao bom funcionamento do lançador. Estes componentes foram selecionados devido à elevada solicitação mecânica que sofrem e importância para o equipamento no geral.

Idealmente todos os componentes deveriam ser dimensionados de modo a garantir que o equipamento funcionaria com a máxima eficiência, no entanto, este poderia tornar-se um processo longo e moroso para uma melhoria relativamente pequena no rendimento.

#### 3.3.1 Rodas

Para o dimensionamento e seleção das rodas é necessário ter em consideração três aspetos principais:

- Tamanho
- Largura
- Carga Suportada

De acordo com especificações do regulamento da UEFA, a altura máxima da relva não deve exceder os 30 mm. Assim, o tamanho das rodas é importante de modo a evitar contacto adicional entre a estrutura do quadro e a relva que pode levar ao aumento

do atrito. O terreno de jogo é relativamente 'mole' pelo que, existirá um abaixamento natural do lançador. O peso do equipamento é distribuído pelas quatro rodas onde, por sua vez, será exercida pressão sobre o solo nos quatro apoios e provocará o abaixamento do relvado e terra nessas zonas. Uma forma de minimizar este efeito implica a utilização de rodas mais largas. Deste modo, a distância da base do lançador até ao solo será tanto maior quando maior a largura das rodas. Por fim, deve ainda ser tido em conta a carga máxima que cada roda é capaz de suportar de modo a assegurar que as quatro rodas são suficientes para todo o conjunto.

Como visto anteriormente, o equipamento tem uma massa estimada de 58 kg pelo que, cada roda deverá suportar no mínimo um quarto desta massa, que corresponde a 14,5 kg. Atendendo à especificações necessárias enumeradas anteriormente foi selecionado o modelo presente na Fig. 3.29, da marca Blicke, para as 4 rodas:

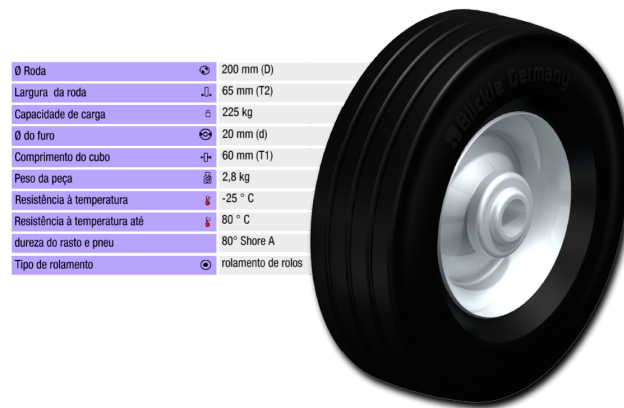


Figura 3.29: Roda do modelo V 205/20R da marca Blicke. (Blicke)(modificado)

As rodas selecionadas possuem um diâmetro de 200mm, o que significa que a distância da base ao solo será cerca de 130 mm (30 mm correspondem ao cubo onde as rodas se encontram fixadas). Por outro lado estas apresentam uma largura de 60 mm e aguentam cada uma, uma carga máxima de 220 kg. Este valor é 15 vezes superior ao valor mínimo necessário.

### 3.3.2 Casquilhos e acoplamentos

Existem variadas formas de transmitir a potência mecânica proveniente dos motores elétricos. Destacam-se as ligações mecânicas através de polias, correntes e engrenagens. A transmissão do movimento dos motores passo-a-passo é feita através de uma ligação direta do veio do motor a uma flange não padronizada. Os modelos selecionados para os motores, apresentam um perfil do veio em forma de 'D'. Isto permite que a ligação veio-cubo não necessite de ser feita por interferência e, desse modo, facilitar a montagem e desmontagem do sistema. A flange de ligação foi projetada com um furo, também de perfil em forma de 'D', de modo a garantir a rotação do veio dentro da mesma e o batente para transmitir movimento. Para a definição do ajustamento dos dois componentes foi definida, para o furo, uma tolerância H7 (classe deslizante justo), permitindo a fácil montagem e desmontagem à mão [14]. De modo a salvaguardar variações dimensionais



sofridas pelas partes devido à temperatura, o comprimento do furo onde se encontra alojado o veio do motor é superior ao comprimento do mesmo.

Para garantir um baixo atrito no movimento de rotação das partes e diminuir o esforço que o motor necessita de aplicar foram utilizados casquilhos deslizantes de baixo atrito, da iglidur (ver Fig. 3.28). Os modelos selecionados, pertencentes à gama W300, caracterizam-se por:

- Elevada vida útil;
- Baixo coeficiente de fricção;
- Boa resistência a poeiras e sujidades;
- Elevada resistência à humidade e infiltrações.

De acordo com o manual do fabricante, definiu-se as tolerâncias H7 e h9 para o furo de alojamento do casquilho e para o veio, respetivamente. Na seleção de um casquilho as características que podem ser tidas em consideração são: o seu diâmetro, o comprimento e a espessura. Adicionalmente, poderão também ser selecionados casquilhos com ou sem flange, dependendo do objetivo da sua aplicação, como se verá mais à frente. Através das especificações mecânicas destes componentes sabe-se que, a pressão média de contacto que podem sofrer é de 60 MPa. A pressão média de contacto ( $P_c$ ) pode ser determinada pela seguinte expressão [6]:

$$P_c = \frac{2KM_t}{\pi d^2 L \mu} \quad (3.8)$$

Para a sua determinação é necessário conhecer o momento transmitido ( $M_t$ ), o diâmetro do veio (d), o diâmetro do alojamento ou cubo (D), o comprimento da ligação (L), os materiais do veio e do cubo, o coeficiente de atrito ( $\mu$ ) e ainda, o fator de segurança (K). Definiu-se o valor 3 para o fator de segurança e o valor coeficiente de atrito como 0.09, segundo dados fornecidos pelo fabricante. No total são utilizados 5 casquilhos deslizantes no equipamento (assinalados da Fig. 3.10 à 3.13). Este foi um processo iterativo onde foram sendo ajustados os valores de comprimento e diâmetro do veio, até os valores obtidos serem válidos. Na tabela seguinte são apresentados os valores de  $P_c$  calculados para cada um dos casquilhos.

Tabela 3.4: Valores de pressão de contacto média calculada para cada casquilho deslizante.

|                                     | <b>K</b> | <b>Mt (N mm)</b> | <b>d (mm)</b> | <b>L (mm)</b> | <b><math>\mu</math></b> | <b>Pc (Mpa)</b> |
|-------------------------------------|----------|------------------|---------------|---------------|-------------------------|-----------------|
| Casquilhos rotação frontal (spin)   | 3        | 6281,85          | 17            | 15            | 0,09                    | 28,83           |
|                                     | 3        | 6281,85          | 20            | 6             | 0,09                    | 55,54           |
| Casquilho rotação lateral (direção) | 3        | 558,37           | 23            | 10            | 0,09                    | 2,24            |
| Casquilhos inclinação               | 3        | 8580,60          | 17            | 15            | 0,09                    | 42              |
|                                     | 3        | 8580,60          | 17            | 15            | 0,09                    | 42              |

Tendo em conta os valores de  $P_c$  calculados acima foram selecionados os 5 casquilhos. Na tabela 3.5 é apresentado o modelo de cada casquilho assim como as suas características geométricas.

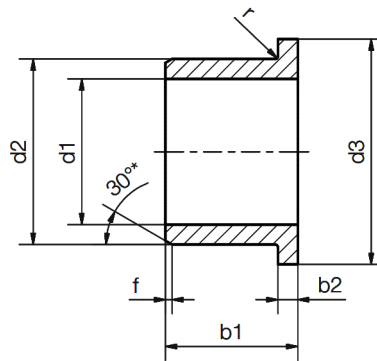


Figura 3.30: Representação gráfica das características geométricas dos casquilhos. (www.igus.pt)

Tabela 3.5: Casquilhos deslizantes selecionados.

|             | Calculado | Casquilhos Selecionados |              |    |    |    |      |     |
|-------------|-----------|-------------------------|--------------|----|----|----|------|-----|
|             | Pc (MPa)  | Pc (MPa)                | iglidur W300 | d1 | d2 | d3 | b1   | b2  |
| Casquilho 1 | 28,83     | 60                      | WFM-1517-17  | 15 | 17 | 23 | 17   | 1   |
| Casquilho 2 | 55,54     | 60                      | WFM-1820-06  | 18 | 20 | 26 | 6    | 1   |
| Casquilho 3 | 2,24      | 60                      | WFM-2023-11  | 20 | 23 | 30 | 11,5 | 1,5 |
| Casquilho 4 | 42        | 60                      | WFM-1517-17  | 15 | 17 | 23 | 17   | 1   |
| Casquilho 5 | 42        | 60                      | WFM-1517-17  | 15 | 17 | 23 | 17   | 1   |

### 3.3.3 Motores elétricos

A seleção dos motores pode ser feita tendo em conta variados fatores. Nesta secção será calculado, para cada motor, o binário necessário para o correto desempenho do sistema. Como já referido anteriormente, o lançador possui 6 motores: 4 motores passo-a-passo e 2 motores DC. O dimensionamento dos motores será efetuado de baixo para cima, ou seja, o primeiro motor a ser dimensionado é responsável pelo movimento de inclinação (motor passo-a-passo). A função deste motor é rodar até uma posição desejada pelo utilizador e alterar o ângulo de saída da bola. Isto implica que, uma vez atingida essa posição, seja necessário o mesmo manter as suas bobines energizadas de modo a aguentar a posição. Desse modo, o cálculo do binário necessário é feito considerando o ângulo máximo, ou seja, a situação mais desfavorável (maior necessidade de binário).

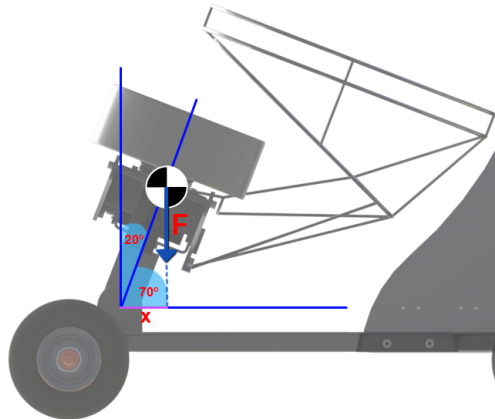


Figura 3.31: Representação das forças e distâncias do movimento de inclinação.

Inicialmente, através do recurso ao software *Solidworks*, determinou-se a posição do centro de massa do conjunto. Como ilustrado na Fig. 3.31, o centro de massa encontra-se representado pelo símbolo a preto e branco e o ângulo máximo ( $\theta$ ) utilizado foi de  $20^\circ$ . A massa total ( $m_{total}$ ) do sistema movido tem o valor estimado de  $m_{total} = 16$  kg. Através da expressão do momento:

$$M = F \times d \quad (3.9)$$

Onde  $M$ , é o momento,  $F$ , a força aplicada, neste caso o peso da estrutura e,  $d$ , o braço (distância perpendicular à força do ponto de aplicação da mesma até ao ponto de rotação) que corresponde na figura anterior a  $x$ . Considerando  $d_{CM}$  a distância do centro de rotação até ao centro de massa do sistema, então,  $x = \cos(90 - \theta) \times d_{CM}$ . Assim, sabendo que  $F = 16 \times 9.81 = 156.96$  N o momento a suportar pelo motor corresponde a:

$$M = F \times \cos(90 - \theta) \times d_{CM} = 156,96 \times \cos 70 \times 0,16 = 8,59 Nm$$

O valor acima corresponde ao momento estático que o motor necessita de vencer, no entanto, o binário total que o motor deverá produzir pode ser dado pela seguinte expressão:

$$T_{motor} = c \times (T_{estatico} + T_{atrito}) \quad (3.10)$$

Considerando um coeficiente de segurança ( $c$ ) de 1.5 e um valor arbitrário para  $T_{atrito}$  de 0,2 Nm,  $T_{motor} = 1,5 \times (8,59 + 0,2) = 13,185$  Nm.

O momento necessário para o motor responsável pela variação da direção lateral do lançamento movimentar o sistema foi calculado através da seguinte expressão:

$$M = I \times \alpha \quad (3.11)$$

Onde,  $I$ , representa o momento de inércia do conjunto a ser movido e  $\alpha$  a aceleração angular. De modo a facilitar o cálculo, considerou-se a simplificação de que todo o conjunto é aproximado a um cilindro sólido (ver Fig. 3.32). O momento de inércia ( $I$ ), para um cilindro sólido onde o eixo de rotação atravessa o mesmo no seu diâmetro central calcula-se da seguinte forma:

$$I = \frac{1}{4}MR^2 + \frac{1}{12}ML^2 \quad (3.12)$$

Em que  $M$ , representa a massa do conjunto movido,  $R$ , o raio do cilindro e  $L$ , o comprimento do mesmo.

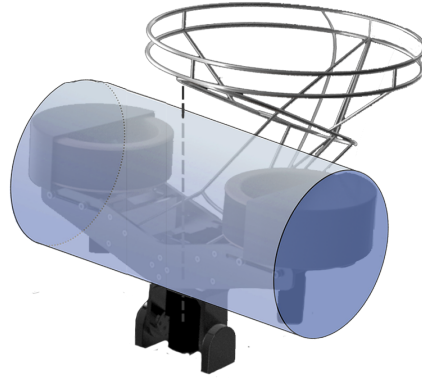


Figura 3.32: Representação da aproximação do conjunto a um cilindro.

Através do software *Solidworks*, foram obtidos os valores das variáveis anteriores chegando a um valor de  $I = \frac{1}{4} \times 13 \times 0,2^2 + \frac{1}{12} \times 13 \times 0,71^2 = 0,6761 \text{ kgm}^3$ . Para o cálculo da aceleração é necessário definir o tempo que o motor demora a deslocar-se desde a posição de partida até à posição de chegada. Sabendo que o ângulo máximo do movimento de rotação lateral é de  $45^\circ$ , definiu-se que o motor deveria deslocar o conjunto desde a posição  $0^\circ$  (A) até  $45^\circ$  (B) no máximo em 4 s. Como o motor inicia o seu movimento a partir do repouso, este não pode efetuar todo o percurso a velocidade constante, logo, existe um momento de aceleração e desaceleração durante o movimento. Na Fig. 3.33 são apresentados os perfis de posição (azul), velocidade (vermelho) e aceleração (verde) que caracterizam o movimento do motor passo-a-passo. O perfil de velocidade, pode ser definido de várias formas, neste caso, optou-se por definir um período de aceleração até atingir um valor de velocidade que se manterá constante até ao momento de desaceleração. O valor da aceleração e desaceleração são considerados simétricos.

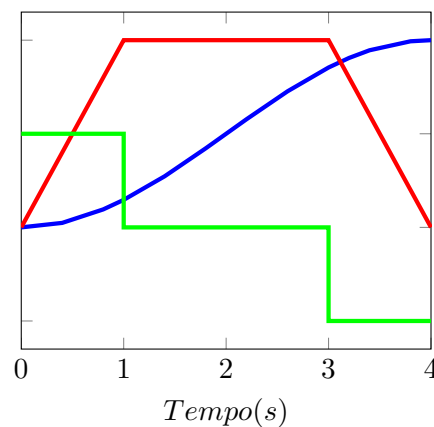


Figura 3.33: Perfis de posição, velocidade e aceleração do motor passo-a-passo.

Considerando a rotação de  $45^\circ$  ao longo de 4 s ( $\frac{\pi}{16} \text{ rad/s} = 1.875 \text{ rpm}$ ), caso o motor fizesse o movimento com um único valor de velocidade (constante), este seria  $w = 1.875 \text{ rpm}$ . Sabe-se que através do integral da velocidade é obtida a posição logo, a área correspondente ao gráfico de movimento a velocidade constante tem de ser igual à área do gráfico de velocidade apresentado na Fig. 3.33 (vermelho). Assim, na Fig. 3.34 é possível visualizar o novo perfil de velocidade obtido e com o qual, será possível calcular o valor da aceleração do motor.

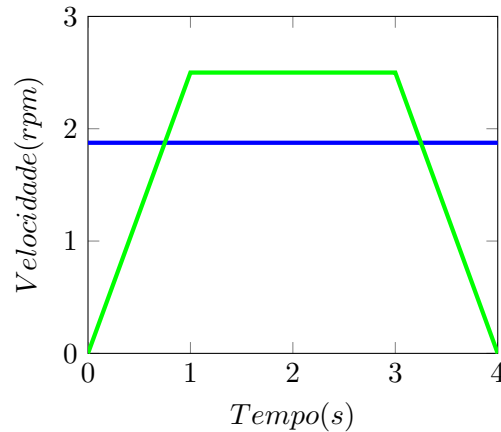


Figura 3.34: Perfil de velocidade com rampa de aceleração e desaceleração.

A aceleração pode agora ser calculada através da expressão:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (3.13)$$

O valor de aceleração calculado para o motor passo-a-passo é de  $\alpha = \frac{(2,5-0)}{1} \times \frac{2\pi}{60} = 0,2618 \text{ rad/s}^2$ . Uma vez determinada a aceleração angular ( $\omega$ ) e o momento de inércia ( $I$ ) pode ser calculado o binário total ( $T_{motor}$ ) necessário para o motor mover o conjunto.

$$T_{motor} = c \times (M + T_{atritoestatico} + T_{atritodinamico}) \quad (3.14)$$

Considerando novamente o  $c$  com o valor de 1,5, o momento  $M$  é dado por,  $M = 0,6761 \times 0,2618 = 0,354 \text{ Nm}$  e os valores de  $T_{atritoestatico}$  e  $T_{atritodinamico}$  são arbitrados com 0,2 e 0,1  $\text{Nm}$ , respetivamente.

$$T_{motor} = 1,5 \times (0,354 + 0,2 + 0,1) = 0,981 \text{ Nm}$$

O motor responsável por permitir o lançamento de bolas em *topspin* e/ou *backspin* foi dimensionado de forma similar ao primeiro desta secção. O conjunto a mover por este motor possui grande parte da sua massa localizada nas duas extremidades. Isto acontece porque os componente com maior massa como, os rolos, rolamentos, motores DC, entre outros, encontram-se todos alinhados na vertical e sobre a extremidade. Assim na Fig. 3.35 é possível visualizar a análise efetuada de modo a determinar o binário que o motor necessita de aplicar de modo a aguentar o desequilíbrio de massa que existirá quando for efetuada a rotação do conjunto.

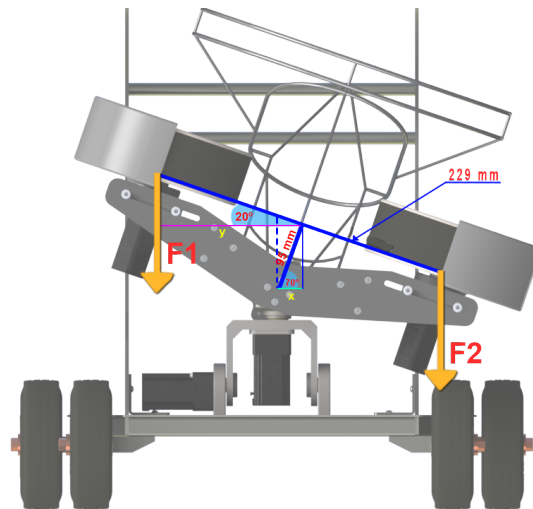


Figura 3.35: Representação das forças e distâncias do movimento de rotação no plano YZ.

Utilizando como valores para a massa do conjunto ( $M = 9,6 \text{ kg}$ ) e por sua vez, as forças  $F1$  e  $F2$  ( $F1 = F2 = 4,8 \times 9,81 = 47,1 \text{ N}$ ) e as distâncias assinaladas a vermelho na figura anterior também foram obtidas a partir do software e permitem a obtenção dos valores de  $x$  e  $y$ .

$$x = \cos(70) \times 0,1 = 0,0342m$$

$$y = \cos(20) \times 0,229 = 0,215m$$

De modo a utilizar a equação 3.8 é necessário calcular os valores de  $d$  (braço) para cada uma das forças.

$$d_{F1} = y - x = 0,215 - 0,0342 = 0,1808m$$

$$d_{F2} = x + y = 0,215 + 0,0342 = 0,2492m$$

Quando é criado o desequilíbrio da estrutura, uma das forças provocará um momento no sentido de rotação do motor e a outra no sentido inverso. Isto significa que o motor necessitará de um menor binário para aguentar o conjunto na posição desejada. O binário do motor pode ser dado pela seguinte expressão:

$$T_{motor} + T_{F1} = T_{F2} \quad (3.15)$$

Considerando o momento provocado pela força  $F1$ ,  $T_{F1} = 47,1 \times 0,1808 = 8.516 \text{ Nm}$  e  $F2$ ,  $T_{F2} = 47,1 \times 0,2492 = 11,737 \text{ Nm}$ , então, o binário final do motor é de:

$$T_{motor} = 11.737 - 8.516 = 3.22 \text{ Nm}$$

Por fim, atendendo a um coeficiente de segurança de 1.5 e ao binário para vencer o atrito estático:

$$T_{motor} = 1.5 \times (3.22 + 0.2) = 5.13 \text{ Nm}$$

Contrariamente aos motores passo-a-passo, os motores DC são responsáveis por dar movimento de rotação aos rolos. De modo a selecionar o motor certo é necessário garantir que este possui potência (P) suficiente para efetuar o lançamento assim como, o binário (T) para iniciar o movimento dos rolos no arranque (quando o lançador é ligado). A energia envolvida no lançamento pode ser calculada através da equação da energia cinética ( $E_c$ ). Considerando a velocidade máxima a que pode ser lançada uma bola, ou seja,  $v = 120 \text{ km/h} = 33,3(3) \text{ m/s}$  tem-se que:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.16)$$

$$E_c = \frac{1}{2} \times 0,43 \times 33,3^2 = 238,89J$$

Sabendo que a potência (P) é dada em J/s, ou seja, Watt, esta pode ser determinada estimando o tempo mínimo necessário entre lançamentos. Sempre que é efetuado um lançamento existe uma perda de energia do sistema, a qual, afeta diretamente a velocidade de rotação dos rolos. Assim, considerando que entre cada lançamento deve existir um intervalo de tempo de pelo menos 4s, de modo a que os rolos retomem o valor de velocidade angular que tinham anteriormente ao lançamento, pode determinar-se a potência da seguinte forma:

$$P = \frac{E_c}{t_{\text{lançamento}}} = \frac{238,89}{4} = 59,72W \quad (3.17)$$

Como a potência corresponde aos dois motores em simultâneo, cada um deverá possuir no mínimo uma potência de cerca de 30 W. O binário necessário para o arranque do movimento dos discos pode ser determinado através da equação 3.10 vista anteriormente. O momento de inércia de um cilindro que gira em torno do seu eixo de simetria é dado por:

$$I_{\text{rolo}} = \frac{1}{2}MR^2 \quad (3.18)$$

Onde  $M$  representa a massa do cilindro (rolo) e  $R$ , o raio do mesmo. Admitindo que cada rolo possui uma massa entre 1 a 1,5 kg e um raio de 125 mm o seu momento de inércia máximo é de:

$$I_{\text{rolo}} = \frac{1}{2} \times 1,5 \times 0,125^2 = 0,01172kgm^2$$

Como se pretende dimensionar o motor para a situação mais desfavorável de modo a garantir o seu bom funcionamento e longevidade, considera-se a situação onde, se pretende iniciar o movimento dos rolos ( $\omega = 0 \text{ rad/s}$ ) até à velocidade angular que permite lançar a bola a 120 km/h ( $\omega = 267 \text{ rad/s}$ ) com um tempo mínimo de 10 s. Assim, utilizando a equação 3.12, pode determinar-se o valor da aceleração angular necessária.

$$\alpha = \frac{(267 - 0)}{10} = 26,7rad/s^2$$

Assim, considerando o atrito dinâmico desprezável, o binário que cada um dos motores DC necessita de produzir, segundo a equação 3.10 é de:

$$T_{\text{motorDC}} = 26,7 \times 0,01172 = 0,313Nm$$

### 3.3.4 Rolamentos

Para o projeto do Lançador optou-se pela utilização de dois rolamentos no ponto de ligação entre os motores CC e os rolos, devido à sua capacidade de suportar forças. As forças suportadas pelos rolamentos podem ser de três tipos:

- Forças radiais ( $F_r$ ), que atuam perpendicularmente ao eixo do rolamento.
- Forças axiais ( $F_a$ ), que atuam na direção paralela ao eixo do rolamento.
- Forças combinadas isto é, a atuação simultânea da força radial e axial.

Quando um lançamento é efetuado, durante a compressão da bola, os rolos sofrem forças de reação que se propagam até aos rolamentos e são suportadas pelos mesmos. Estas forças são aplicadas, maioritariamente, na direção perpendicular ao eixo do rolamento, no entanto, de modo a salvaguardar possíveis esforços axiais também sofridos pelos rolamentos, decidiu-se selecionar rolamentos capazes de aguentar tanto forças axiais, como radiais e combinadas. Desse modo, selecionaram-se dois rolamentos de esferas de contacto angular, com duas carreiras, pois são indicados para os tipos de forças anteriormente enumeradas.

Para o dimensionamento dos rolamentos é necessário determinar a capacidade de carga estática e dinâmica que estes necessitam de suportar. "A capacidade de carga estática ( $C_0$ ), trata-se da carga que provoca, na pista e elemento rolante, uma deformação plástica de 0,001% do diâmetro do elemento rolante, correspondendo a 4GPa de pressão de Hertz"(ISO 76) (Completo & Melo, 2017, p.128). A carga estática determina-se através das expressões seguintes:

$$C_0 = f_s \times P_0 \quad (3.19)$$

Onde  $f_s$ , representa o coeficiente de segurança e  $P_0$  a carga estática equivalente. Esta pode ser determinada através da expressão:

$$P_0 = X_0 \times F_r + Y_0 \times F_a \quad (3.20)$$

O coeficiente  $X_0$  representa o fator radial,  $Y_0$  o fator axial e  $F_r$  e  $F_a$  as cargas radial e axial, respetivamente.

Por outro lado, "a capacidade de carga dinâmica ( $C$ ) representa a carga onde, pelo menos 90% de uma amostra de rolamentos, quando submetidos a um teste de fadiga, alcançam um milhão de rotações sem apresentar sinais de fadiga"(ISO 281) (Completo & Melo, 2017, p.129). Assim, a carga dinâmica que o rolamento deve suportar pode ser calculada através das seguintes expressões:

$$C = \frac{f_l}{f_n f_t} \times P \quad (3.21)$$

Onde  $f_l$ , representa o fator de esforços dinâmicos,  $f_n$  o fator de rotação,  $f_t$  o fator de temperatura e  $P_0$  a carga dinâmica equivalente. Esta pode ser determinada através da expressão:

$$P = X \times F_r + Y \times F_a \quad (3.22)$$



Mais uma vez, o coeficiente  $X$  representa o fator radial,  $Y$  o fator axial e  $F_r$  e  $F_a$  as cargas radial e axial, respetivamente.

Considerando o tipo de equipamento e as condições de funcionamento são definidos os valores dos fatores acima expostos. Como a temperatura máxima de serviço do equipamento não ultrapassa os  $120^\circ$ , o fator de temperatura ( $f_t$ ) toma o valor 1. Atendendo que os rolamentos serão utilizados no acionamento de motores, o valor para o fator de esforço ( $f_l$ ) selecionado foi de 3. Por fim, a velocidade de rotação máxima dos rolos não ultrapassa as 3500 rpm pelo que, selecionou-se um fator de rotação ( $f_n$ ) de 0,22.

Através dos valores das forças de reação sofridas pelos rolos, obtidas através das simulações numéricas realizadas, foi possível estimar o valor das forças radiais que atuam sobre os rolamentos. Por outro lado, os rolamentos apenas sofrem a força axial do peso de cada um dos rolos. Na tabela 3.6 pode ver-se o resumo dos valores utilizados para o cálculo dos valores de  $C_0$  e  $C$ .

Tabela 3.6: Valores utilizados para o cálculo dos rolamentos.

|                             | Fa (kN) | Fr (kN) | fs  | X0  | Y0   | P0     | C0 (kN) | X | Y | P   | fl | fn   | ft | C (kN) |
|-----------------------------|---------|---------|-----|-----|------|--------|---------|---|---|-----|----|------|----|--------|
| <b>Rolamentos dos rolos</b> | 0,0147  | 0,2     | 1,2 | 0,5 | 0,46 | 0,1068 | 0,128   | 1 | 0 | 0,2 | 3  | 0,22 | 1  | 2,727  |

Na tabela 3.6, apresentou-se os valores de  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $X$  e  $Y$ . Estes fatores dependem de cada fabricante, tipo de rolamento, dimensão do mesmo e ainda, do rácio entre a carga axial e radial. Inicialmente estes valores foram estimados, no entanto, uma vez selecionado o rolamento estes foram substituídos pelos valores apresentados no catálogo do fabricante. Este é um processo iterativo onde, o rolamento final deve apresentar um valor de  $C_0$  e  $C$  superior aos valores mínimos necessários.

Na tabela 3.7, apresenta-se as características e denominação dos rolamentos finais selecionados.

Tabela 3.7: Modelos e características dos rolamentos selecionados.

| ROLAMENTOS           |           |        |                         |         |        |        |        |        |        |
|----------------------|-----------|--------|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                      | Calculado |        | Rolamentos Selecionados |         |        |        |        |        |        |
|                      | C0 (kN)   | C (kN) | SKF                     | C0 (kN) | C (kN) | d (mm) | D (mm) | b (mm) | r (mm) |
| <b>Rolo Esquerdo</b> | 0,128     | 2,73   | 3305 A-2RS1TN9/MT33     | 22      | 32,5   | 25     | 62     | 25,4   | 1,1    |
| <b>Rolo Direito</b>  | 0,128     | 2,73   | 3305 A-2RS1TN9/MT33     | 22      | 32,5   | 25     | 62     | 25,4   | 1,1    |

Uma vez efetuado o dimensionamento dos mais variados componentes da máquina será apresentado no capítulo do Projeto de automação a seleção dos mesmos tendo em conta os cálculos anteriores.

### 3.3.5 Veio dos rolos

A transmissão de movimento dos motores DC para os rolos é efetuada através de um veio que é acoplado ao motor e fixado ao rolo. Durante o funcionamento do lançador estes veios são constantemente sujeitos a cargas pelo que é necessário realizar o seu dimensionamento à fadiga. Utilizando o *software* MDSolids, foi terminado o momento máximo aplicado nos diferentes pontos críticos do veio (ver Fig. 3.36).

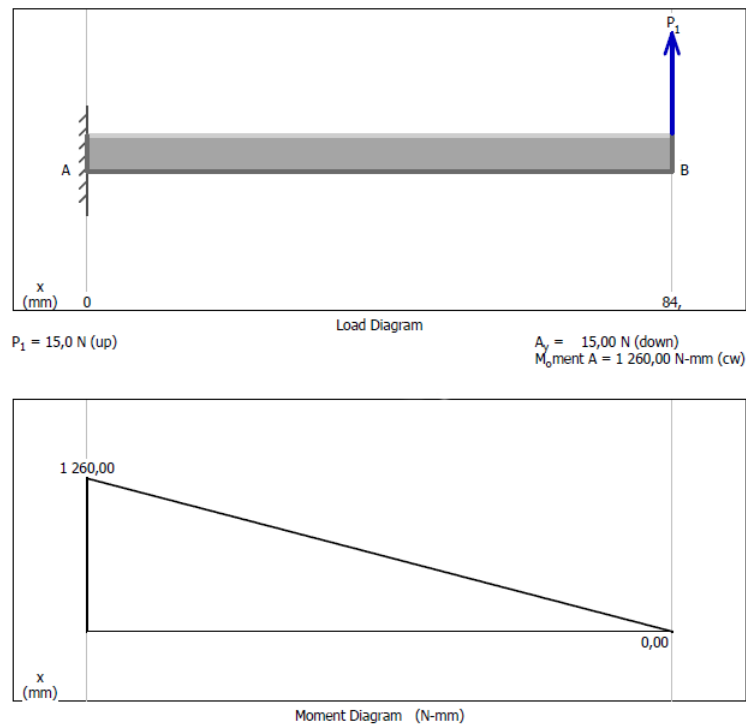


Figura 3.36: Representação das forças e diagrama de momentos.

A força  $P_1$  representa a reação sofrida devido à passagem de uma bola pelos rolos. O peso dos rolos não foi tido em consideração pois a sua aplicação é feita segundo o eixo de rotação.

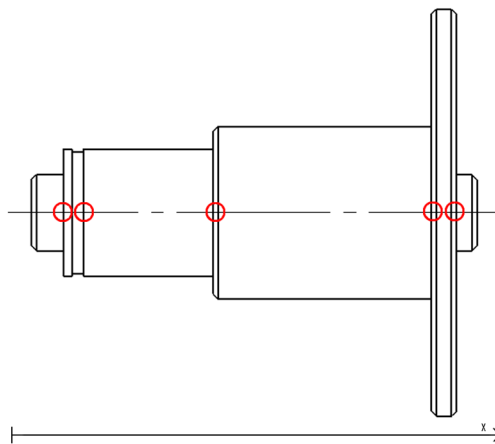


Figura 3.37: Representação dos pontos críticos do veio.

Uma vez determinados os pontos críticos do veio, foi efetuado o cálculo à fadiga para o veio que se encontra resumido na tabela 3.8 [6].

Tabela 3.8: Cálculo à fadiga para o veio de ligação dos rolos.

| Parâmetros                        | x (mm)      |             |             |              |              |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
|                                   | 6,4         | 10,2        | 35,7        | 78,7         | 83,701       |
| $M_b$ (N.mm)                      | 1164        | 1107        | 724,5       | 79,5         | 0            |
| $M_t$ (N.mm)                      | 313         | 313         | 313         | 313          | 313          |
| d secção min (mm)                 | 15          | 25          | 25          | 34           | 80           |
| $\sigma_b$ (MPa)                  | 3,513       | 0,722       | 0,472       | 0,021        | 0            |
| r (mm)                            | 0,2         | 0,2         | 0,2         | 0,2          | 0,2          |
| r/d                               | 0,0133      | 0,008       | 0,008       | 0,0059       | 0,003        |
| D secção max (mm)                 | 25          | 25          | 34          | 80           | 80           |
| D/d                               | 1,67        | 1           | 1,36        | 2,35         | 1            |
| $K_t$ (flexão)                    | 3           | 3           | 3,5         | 3,5          | 4            |
| q                                 | 0,2         | 0,2         | 0,2         | 0,2          | 0,2          |
| $K_f$                             | 1,4         | 1,4         | 1,5         | 1,5          | 1,6          |
| $\sigma_{f,max} = \sigma_a$ (MPa) | 4,92        | 1,01        | 0,71        | 0,03         | 0            |
| $\sigma_m$ (MPa)                  | 35,72       | 12,86       | 12,86       | 6,95         | 1,26         |
| $K_s$                             | 0,91        | 0,87        | 0,87        | 0,84         | 0,78         |
| $K_{AS}$                          | 0,9         | 0,9         | 0,9         | 0,9          | 0,9          |
| $\sigma_e$                        | 140         | 140         | 140         | 140          | 140          |
| $\sigma_{e,c}$ (corrigida)        | 115,21      | 109,64      | 109,64      | 106,41       | 97,94        |
| $\sigma_y$ (MPa)                  | 110         | 110         | 110         | 110          | 110          |
| $\sigma_{est,equiv}$ (MPa)        | 40,42       | 13,87       | 13,57       | 6,98         | 1,26         |
| $\sigma_m$ (MPa)                  | 0,47        | 0,10        | 0,10        | 0,04         | 0,00         |
| Kt (torção) estática              | 3           | 3           | 3,5         | 3,5          | 4            |
| $\tau_{est}$ (MPa)                | 1,42        | 0,31        | 0,36        | 0,14         | 0,01         |
| $\sigma_{VM}$ (MPa)               | 40,49       | 13,88       | 13,58       | 6,99         | 1,26         |
| Fator de segurança                | <b>2,72</b> | <b>7,92</b> | <b>8,10</b> | <b>15,74</b> | <b>87,58</b> |

Os valores do fator de segurança são superiores a 2 pelo que o veio pode ter a geometria projetada inicialmente.

## Capítulo 4

# Projeto de automação

Neste capítulo serão abordados os passos seguidos para a definição dos componentes de automação necessários ao funcionamento do lançador. Serão apresentados os diagramas elétricos utilizados, assim como a justificação para a seleção de alguns componentes como a bateria, o microcontrolador utilizado e os motores elétricos. Adicionalmente será apresentada uma explicação de como foi efetuado o controlo dos mesmos.

### 4.1 Arquitetura do projeto

O projeto aqui apresentado tem como objetivo a monitorização e controlo do lançador de bolas de futebol. Assim, de uma forma remota, pretende-se fazer o lançamento de uma ou mais bolas, de forma individual ou numa cadência pretendida, podendo ser variados fatores como a velocidade, inclinação, direção e efeito. Isto implica a monitorização e controlo do estado de variáveis como velocidade e posição dos motores, sensores e outros dispositivos. Na Fig. 4.1 encontra-se representada a arquitetura do projeto de automação do lançador.

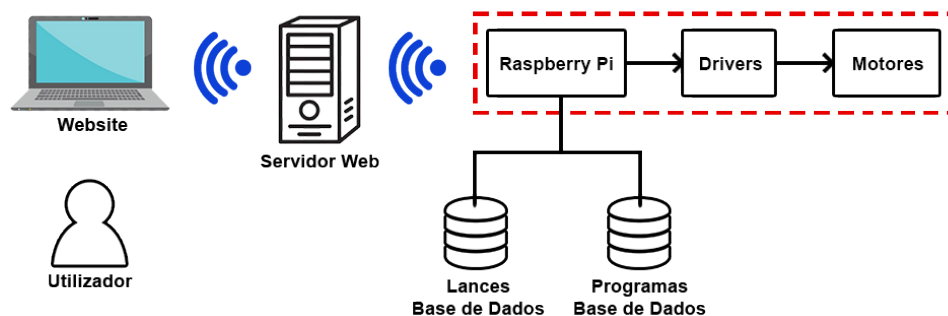


Figura 4.1: Arquitetura do projeto de automação do lançador.

O controlo e monitorização será efetuado através de um servidor web que, terá a sua interface gráfica apresentada num navegador web. Ao fazer o controlo desta forma, garante-se a possibilidade de comandar a máquina através de qualquer dispositivo com capacidade de se conectar à Internet, sendo assim, independente do sistema operativo e navegador web. A criação da interface gráfica, do servidor web e base de dados será

explicada no capítulo do Software de controlo e monitorização. Neste capítulo, explicar-se-á a secção a tracejado vermelho representada na Fig 4.1. O servidor será criado num *single board computer* (SBC) o qual, através dos *inputs* dados pelo utilizador enviará sinais para os restantes componentes elétricos de modo a acionar o hardware. Na secção seguinte são apresentados os diagramas do *hardware* utilizado, com as respetivas ligações elétricas.

## 4.2 Diagramas de funcionamento

A secção presente serve para apresentar quais os componentes eletrónicos que fazem parte da área a tracejado vermelho, da Fig. 4.1, e também como se ligam entre si mesmos. Na Fig. 4.2 é apresentado o diagrama de funcionamento do hardware do lançador.

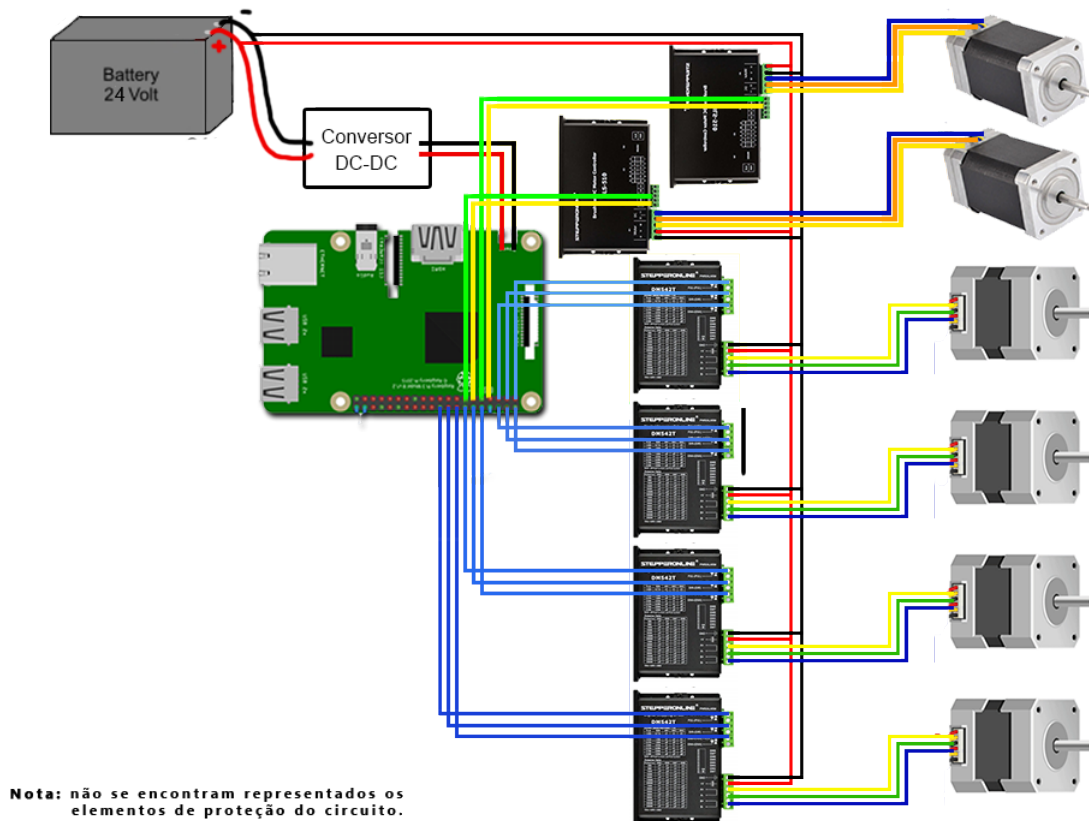


Figura 4.2: Diagrama com o hardware utilizado e as ligações.

Como fonte de alimentação de todo o circuito é utilizada uma bateria de 24V, no entanto, uma solução alternativa poderia passar pela utilização de duas baterias de 12V ligadas em série. A capacidade da bateria irá determinar a autonomia do sistema, isto é, o tempo máximo contínuo que o lançador poderá ser utilizado em treino antes da próxima carga. A bateria é responsável pela alimentação do SBC e dos respetivos *drivers* de cada motor. Ao contrário dos *drivers*, que são alimentados a 24V, o SBC apenas é alimentado a 5V. Isto significa que é necessário a utilização de um conversor DC-DC de

modo a, proceder à correta conversão da tensão. O conversor DC-DC deve ser colocado entre a bateria e o SBC por outro lado, a ligação da bateria aos *drivers* pode ser efetuada diretamente. Além da ligação com a bateria, os drivers também são ligados ao SBC de modo a receber sinais provenientes do mesmo. Finalmente, os motores são ligados aos *drivers*, que serão responsáveis pela sua alimentação e controlo.

Um fator de grande importância no desenvolvimento de um produto é a sua segurança. Deste modo existe um interruptor normalmente fechado que serve como paragem de emergência. Adicionalmente, de modo a evitar sobrecargas no circuito, são inseridos fusíveis na ligação dos drivers aos motores.

### 4.3 Seleção dos componentes elétricos

Atendendo às especificações do projeto, devem ser selecionados os componentes que melhor cumprem com os requisitos do projeto. Desta forma, nas secções seguintes, apresenta-se o tipo de motores, *drivers*, sistema computacional, bateria, entre outros componentes e o porquê da sua escolha em detrimento de outros.

#### 4.3.1 Single board computer (SBC)

Uma vez que é necessário efetuar processamento de alto nível, através da criação de um servidor e a respetiva comunicação do mesmo com bases de dados e o SBC e também o processamento de baixo nível, através do controlo de *hardware*, foi escolhido um SBC como solução para responder às necessidades anteriores. O computador de placa única, também conhecido como SBC do inglês *single board computer*, trata-se de um computador onde todos os componentes necessários ao seu funcionamento se encontram numa placa única. O seu tamanho reduzido leva a que, este seja uma solução compacta e cada vez mais apetecível de ser utilizado em sistemas de medidas e controlo [11]. Os SBCs possuem um microcontrolador ou um microprocessador, memória RAM e ROM, assim como capacidade IO, entre outros aspetos. Atualmente existem diversos modelos disponíveis no mercado, com especificações e arquiteturas diferentes. Atendendo às necessidades do projeto, escolheu-se um Raspberry Pi 3 model A+ como SBC. O seu custo mais reduzido comparativamente a modelos como LattePanda e à capacidade de cumprir com os requisitos do projeto pretendido foram algumas das principais razões para a sua escolha.

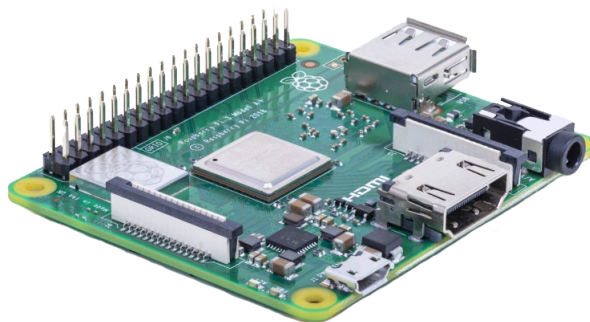


Figura 4.3: Raspberry Pi 3 A+ - *Single Board Computer*.

Na tabela seguinte são apresentadas as principais características do modelo selecionado (Raspberry Pi 3 model A+).

Tabela 4.1: Características principais do Raspberry Pi 3 model A+.

| <i>Raspberry Pi 3 model A+</i> |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|
| <b>Processador</b>             | Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53   |
|                                | 64-bit SoC @ 1.4 GHz             |
| <b>Memória</b>                 | 512MB LPDDR2 SDRAM               |
| <b>Conexão</b>                 | Wireless e Bluetooth             |
| <b>Acesso</b>                  | Extended 40-pin GPIO header      |
| <b>Alimentação</b>             | 5 V/2.5 A DC micro USB connector |
|                                | 5 V DC via GPIO header           |
| <b>Ambiente</b>                | Temperatura de operação, 0-50°C  |

### 4.3.2 Seleção dos motores e o seu funcionamento

No capítulo do projeto mecânico foi feito o dimensionamento dos motores elétricos (cálculo do binário necessário). Na presente secção atendendo ao dimensionamento efetuado, selecionou-se dois motores DC, responsáveis pelo movimento de rotação dos rolos, três motores passo-a-passo, responsáveis pela definição dos graus de liberdade do lançamento da bola e outro motor passo-a-passo responsável por determinar a cadência das bolas à saída do alimentador.

Uma vez analisados os tipos de motores existentes no mercado foram selecionados dois motores DC sem escovas para a ligação aos rolos rotativos do lançador. A escolha deveu-se aos seguintes fatores:

- Menor desgaste - devido à ausência de escovas estes motores não necessitam de manutenção ao longo do tempo e dão uma maior garantia de longevidade;
- Menor ruído - novamente, devido à ausência de escovas, o ruído proveniente do seu funcionamento é relativamente inferior ao dos outros modelos apresentados anteriormente;
- Mais compactos - os motores sem escovas apresentam um menor volume relativamente aos motores convencionais;
- Menor peso - menor volume é causado por uma redução do peso pelo que garantem um menor peso instalado de todo o conjunto da máquina;
- Maior eficiência - este tipo de motores possui uma eficiência superior logo, reduz-se também o consumo energético.

Abaixo é apresentada uma tabela com as características principais do modelo selecionado para os motores em análise.

Tabela 4.2: Características dos motores CC utilizados no movimento dos rolos.

| <i>Motor Brushless para os Rolos</i> |             |
|--------------------------------------|-------------|
| <b>Nº Fases</b>                      | 3           |
| <b>Nº Polos</b>                      | 4           |
| <b>Corrente Nominal (A)</b>          | 6,4         |
| <b>Potência Nominal (W)</b>          | 105         |
| <b>Velocidade Nominal (RPM)</b>      | 4000 ± 10%  |
| <b>Torque Nominal (Nm)</b>           | 0,25        |
| <b>Voltagem Nominal (V)</b>          | 24          |
| <b>Tipo de Sensor</b>                | Hall Sensor |
| <b>Diâmetro do veio (mm)</b>         | 5           |
| <b>Comprimento do Veio (mm)</b>      | 20          |
| <b>Comprimento (mm)</b>              | 99,2        |
| <b>Perfil (mm)</b>                   | 42x42       |
| <b>Peso (kg)</b>                     | 0,85        |

Relativamente aos motores passo-a-passo existem dois tipos principais, motores de íman permanente e de relutância variável. Adicionalmente, existem também motores híbridos, que conjugam características de ambos os anteriores, no entanto, são indistinguíveis dos motores de íman permanente do ponto de vista do controlador. Os motores passo-a-passo apresentam uma vasta resolução angular. Tipicamente, os motores mais simples apresentam uma rotação de cerca de 90º por cada step/passo (pequenos incrementos angulares). Por outro lado, existem motores de maior resolução que permitem efetuar passos de 1.8º e até mesmo 0.72º. A utilização de controladores (*drivers*) mais sofisticados permite ainda, controlar motores híbridos e de íman permanente em *half-steps* ou numa gama mais reduzida em *microsteps* [15][16].

Na secção seguinte é abordado o controlo deste tipo de motores pelo que será apresentado o seu modo de funcionamento em maior detalhe. Para os 4 motores passo-a-passo necessários ao projeto foram escolhidos 4 motores híbridos e respetivos *drivers* aconselhados pelo fabricante os quais, podem ser visualizados na tabela 4.3 .

Tabela 4.3: Características dos motores passo-a-passo selecionados para o lançador.

| <i>Motores Passo-a-Passo</i>                   |                     |                                  |                               |                                |
|--|---------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
|  | <b>Inclinação</b>   | <b>Rotação Lateral (Direção)</b> | <b>Rotação Frontal (Spin)</b> | <b>Cadência do Alimentador</b> |
| <b>Eficiência</b>                              | 70%                 | 70%                              | 80%                           | -                              |
| <b>Razão de Redução</b>                        | 20:01               | 20:01                            | 10:01                         | -                              |
| <b>Torque Máx. Permissível (Nm)</b>            | 5                   | 5                                | 5                             | -                              |
| <b>Tamanho Nema</b>                            | Nema 23             | Nema 23                          | Nema 23                       | Nema 23                        |
| <b>Corrente Nominal (A)</b>                    | 2,8                 | 2,8                              | 2,8                           | 2,8                            |
| <b>Diâmetro do Veio (mm)</b>                   | 8                   | 8                                | 8                             | 6,35                           |
| <b>Comprimento do Veio (mm)</b>                | 28                  | 28                               | 28                            | 21                             |
| <b>Bipolar/Unipolar</b>                        | Bipolar             | Bipolar                          | Bipolar                       | -                              |
| <b>Torque estático sem Caixa Redutora (Nm)</b> | 1,89                | 1,89                             | 1,89                          | 1,26                           |
| <b>Comprimento do motor (mm)</b>               | 78                  | 78                               | 78                            | 56                             |
| <b>Single Shaft/Dual Shaft</b>                 | Single Shaft        | Single Shaft                     | Single Shaft                  | Single Shaft                   |
| <b>Tipo de Veio</b>                            | Corte em Forma de D | Corte em Forma de D              | Corte em Forma de D           | Chaveta                        |
| <b>Peso (kg)</b>                               | 1,5                 | 1,5                              | 1,5                           | 0,7                            |

### 4.3.3 Bateria

Usualmente uma sessão de treino possui uma duração entre 1 h a 2 h, dependendo do escalão e nível competitivo da equipa e dos jogadores. Deste modo, pretende-se selecionar uma bateria com uma autonomia próxima destes valores. De modo a determinar o tempo



de funcionamento que uma certa bateria proporcionará é necessário determinar qual a energia consumida pela máquina. Os cálculos de energia apresentados ao longo da secção serão convertidos para kWh de modo a tornar a sua percepção mais intuitiva. Sabendo que a unidade S.I. (Sistema Internacional de Unidades) de potência é o Watt (W) assim,

$$E(kWh) = \frac{P \times t}{1000} \quad (4.1)$$

Onde  $P$  encontra-se em unidade Watt e  $t$  em horas (h). Sabe-se que a potência elétrica, ( $P$ ), pode ser dada pela seguinte expressão,

$$P = V \times I \quad (4.2)$$

Assim, conhecendo a tensão,  $V$ , necessária para alimentar um equipamento e a corrente,  $I$ , que este consome é possível determinar a potência do mesmo. Na tabela 4.4 são mostrados os valores de corrente e voltagem de todos os componentes elétricos constituintes do lançador.

Tabela 4.4: Valores de tensão (V) e corrente (I) requeridos por cada componente.

|                                    | Tensão (V) | Corrente (A)   |
|------------------------------------|------------|----------------|
| <b>Motores Stepper (Mecanismo)</b> | 24         | 2,8            |
| <b>Drivers</b>                     | 24         | 1,96           |
| <b>Motor Stepper (Alimentdor)</b>  | 2,5        | 2,8            |
| <b>Driver</b>                      | 24         | 1,96           |
| <b>Motores DC</b>                  | 24         | 0,8 (s/ carga) |
| <b>Drivers</b>                     | 24         | <10            |
| <b>Raspberry Pi 3 A+</b>           | 5          | 2,5            |

A potência dos componentes como o raspberry pi, os motores DC, motores passo-a-passo e os controladores dos motores (*drivers*) foi assim calculada através da equação 4.2 e os valores podem ser visualizados na tabela seguinte.

Tabela 4.5: Potência (P) consumida por cada componente.

|                                    | Potência (W) |
|------------------------------------|--------------|
| <b>Motores Stepper (Mecanismo)</b> | 67,2         |
| <b>Drivers</b>                     | 47,04        |
| <b>Motor Stepper (Alimentdor)</b>  | 7            |
| <b>Driver</b>                      | 47,04        |
| <b>Motores CC</b>                  | 19,2         |
| <b>Drivers</b>                     | 24           |
| <b>Raspberry Pi 3 A+</b>           | 12,5         |

Durante o funcionamento do lançador, considera-se que os rolos se mantêm constantemente a rodar isto significa que, os mesmos possuem energia armazenada. De acordo com a Lei da Conservação de Energia, quando uma bola passa entre os rolos e é lançada deve-se a uma transferência de energia que ocorreu dos rolos para a bola. Deste modo, sempre que uma bola é lançada, haverá uma redução da energia dos rolos e por

consequente, da sua velocidade de rotação. A cada lançamento dá-se uma transferência de energia para a bola, em forma de energia cinética.

Os motores DC consomem mais corrente durante o seu arranque, no entanto, como este é relativamente rápido e os motores funcionam grande parte do tempo a um ponto a velocidade constante o seu consumo de energia pode ser considerado aproximadamente constante.

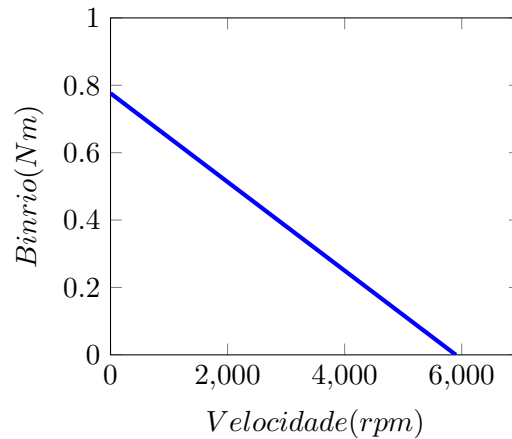


Figura 4.4: Curva binário-velocidade característica dos motores DC.

Considerando que o lançador envia bolas a uma velocidade média de, 80 km/h, os rolos possuem uma velocidade angular de 1700 rpm. Através do gráfico acima, o valor de binário ( $T$ ) correspondente a esta velocidade fixa-se nos 0,553 Nm. Sabendo que a corrente sem carga do motor é cerca de 0,8 A e, uma vez, conhecidos os valores de corrente e binário nominais é possível determinar a corrente correspondente ao valor de binário calculado acima. Assim, utilizando um valor de corrente,  $I = 13,2$  A, através da equação 4.2 a potência necessária para acionar cada um dos motores que acionam os rolos é dada por:

$$P = 13,2 \times 24 = 316,8W$$

Como referido anteriormente após cada lançamento existe uma redução substancial na velocidade de rotação dos rolos. Esta redução implica um gasto adicional de energia por parte dos motores e por sua vez, uma diminuição da autonomia da bateria. Como calculado anteriormente neste documento, a energia necessária para projetar uma bola a cerca de 120 km/h é de 238,89 J.

Sabe-se que a energia cinética de rotação de um disco pode ser calculada através da expressão,

$$E_{c_{disco}} = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (4.3)$$

onde,  $I$  representa o momento de inércia do disco e  $\omega$  a velocidade angular. O valor de  $w$  utilizado corresponde à velocidade angular necessária para lançar uma bola a cerca de 120 km/h. Por outro lado, o momento de inércia pode ser determinado pela equação

3.17. Uma vez conhecidos os valores de  $\omega$ ,  $I$ ,  $m_{rolo}$  e  $r_{rolo}$ , pode ser calculada a energia cinética de rotação de cada rolo,  $E_{C_{disco}}$ .

$$E_{C_{disco}} = \frac{1}{2} \times \left( \frac{1}{2} \times 1,5 \times 0,125^2 \right) \times 266,67^2 = 416,68J$$

Considerando um lançamento onde ambos os rolos giram com a mesma velocidade angular, a bola é projetada sem rotação em torno de si mesma pelo que a energia transferida dos rolos para a bola é apenas a energia cinética correspondente à velocidade linear (120 km/h). Por outro lado, quando é aplicado efeito sobre a bola isto é, além da velocidade linear que esta adquire também, possui uma velocidade de rotação pelo que, a energia transferida dos rolos para a bola será a soma das duas energias. Para o primeiro caso apresentado, a energia final presente nos rolos após o lançamento de uma bola pode agora ser calculada.

$$E_{AfterShoot} = 2 \times E_{C_{disco}} - E_{loss} = 2 \times 416,68 - 238,89 = 594,5J \quad (4.4)$$

A perda de energia por parte dos rolos representa cerca de 28,67%, ou seja, quase um terço da energia inicial. Este facto implica que exista um intervalo de tempo mínimo entre cada lançamento de modo a que o motor seja capaz de restituir de novo o valor da velocidade pretendida. O valor de energia dissipado para a bola pode ser apresentado em kWh, considerando um funcionamento da máquina contínuo onde em média é lançada uma bola a cada 20 s.

$$E_{loss} = 238,89 \times \frac{1}{3600 \times 1000} = 0,00006636kWh$$

Uma vez conhecidas os valores anteriores, pode ser estimado o consumo do lançador ( $E_{total}$ ) em cerca de 0,472 kWh. De modo a garantir uma autonomia de pelo menos 1 h, a carga mínima (A/h) da bateria selecionada deve ser:

$$Capacidade_{bateria} = Autonomia \times P_{total} \quad (4.5)$$

$$Capacidade_{bateria} = 1 \times 0,472 = 0,472kWh = 19,67Ah$$

De acordo com os valores obtidos foi selecionada uma bateria da marca Siemens. Como o projeto ainda se encontra em fase de protótipo, não se justifica a utilização de uma bateria com a autonomia esperada no produto final. Assim, de modo a permitir testes e ensaios do protótipo foi selecionada uma bateria com uma tensão de 24 V, e uma carga de 12 Ah. Na Fig. 4.8 pode ver-se o modelo da bateria escolhido.



Figura 4.5: Bateria da marca Siemens selecionada para o lançador. (SIEMENS)(modificado)

#### 4.3.4 Seleção dos restantes componentes

Para os restantes componentes, foram ainda selecionados um botão ON/OFF, um botão de paragem de emergência, uma caixa de fusíveis e fusíveis de lâmina. A utilização da caixa de fusíveis permite, de uma forma compacta, inserir os fusíveis no circuito de forma fácil e individual para cada ligação dos motores. Além disto, permite ainda a possibilidade de reunir vários fusíveis com limites de corrente diferentes. Sabendo que a corrente de funcionamento dos diferentes componentes varia entre valores como 2-3 A, foram selecionados fusíveis com um limite de corrente de 4 A.



Figura 4.6: Caixa de fusíveis que garante a segurança dos componentes elétricos. (www.farnell.com)

## 4.4 Controlo do hardware

### 4.4.1 Acionamento dos motores passo-a-passo

O acionamento dos motores passo-a-passo é feito utilizando o Raspberry Pi e os drivers recomendados pelo fabricante. O envio de sinais para o driver, através das saídas digitais do Raspberry Pi, permite que aspetos como, o sentido e velocidade de rotação

possam variar de acordo com o pretendido. Os motores passo-a-passo utilizados possuem 4 fios que são conectados aos contactos A+, A-, B+ e B- dos drivers (ver Fig. 4.7).

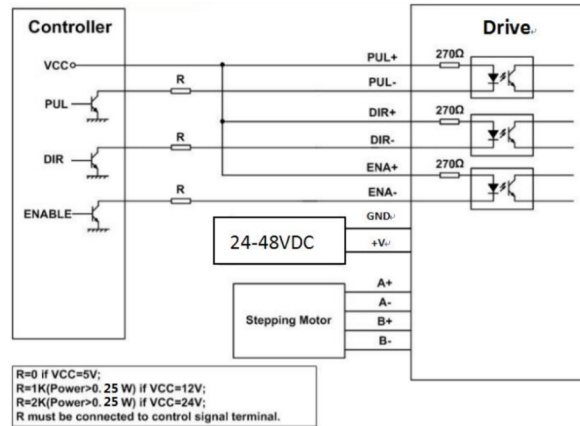


Figura 4.7: Esquema das ligações elétricas necessárias entre o SBC, *driver* e motor. (stepperonline.com)

Estes contactos são responsáveis pela ativação das bobinas presentes nos motores através do envio de vários pulsos de tensão. A frequência dos pulsos enviados determina a velocidade de rotação do motor sendo que, para uma frequência maior o motor rodará mais rapidamente e mais lentamente para valores de frequência menores. Este controlo é efetuado através de programação de baixo nível do Raspberry Pi onde o tempo de envio de cada pulso é variado e assim, também a frequência. Por outro lado, a variação do sentido de rotação deve-se ao estado das entradas DIR+ e DIR- do driver. Quando dada uma tensão de 3.3V ou superior, o motor roda nos sentido positivo (CW - *clockwise*) pelo contrário, quando é recebido 0V o sentido de rotação altera-se e este roda no sentido negativo (CCW - *counter clockwise*). Segundo o manual do fabricante, o envio dos pulsos deve obedecer a algumas regras relativamente, a tempos mínimos de espera e ordem dos mesmos. Na Fig. 4.8 pode observar-se estes aspetos.

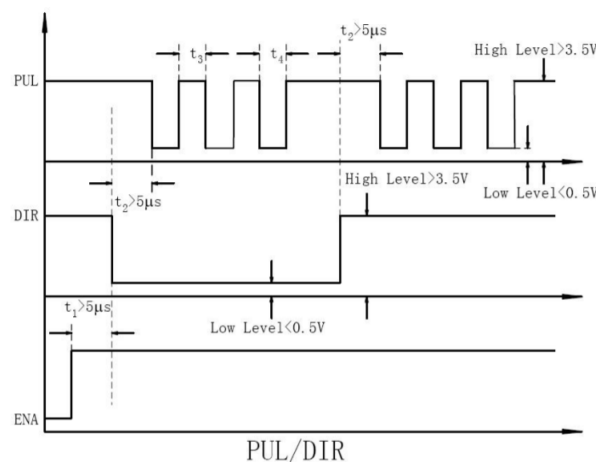


Figura 4.8: Sequência do envio de sinais para o driver. (stepperonline.com)

Sendo os motores passo-a-passo responsáveis por definir os graus de liberdade dos lançamentos, é necessário conhecer-se a variação do ângulo do rotor do motor por cada pulso dado ao mesmo. Esta variação depende diretamente do valor de pulsos/revolução selecionado para cada um dos motores e a razão da sua caixa redutora. Assim, sabendo que os motores responsáveis pela inclinação e direção lateral do lançamento possuem uma razão de 20:1 e que foi definido 800 pulsos/revolução a variação de ângulo por pulso é de:

$$\Delta_{angulo} = \frac{360}{1rev} \times \frac{1rev}{800} = 0,0225/pulse$$

Deste modo, para efetuar uma rotação completa devem ser enviados para o motor 16000 pulsos. O terceiro motor, responsável pela rotação dos rolos no plano YZ (ver Fig. 3.8), possui uma razão de redução de 10:1 pelo que, para o mesmo valor de pulsos/rev a variação de ângulo é de 0,045°. Uma revolução completa para este motor é efetuada quando enviados 8000 pulsos. De notar que, como consequência de um aumento do valor de pulsos/revolução também a precisão de movimento do motor aumenta.

Uma vez conhecido o ângulo que cada motor irá rodar por pulso recebido, pode ser controlada a sua posição dependendo do valor pretendido pelo utilizador. O raspberry pi recebe informação do valor colocado no *frontend* e de seguida, processa este valor de modo a determinar o número de pulsos necessário a enviar para o driver. De modo a garantir que o movimento da estrutura movida pelo motor é feito de uma forma suave e precisa deve existir o cuidado para não utilizar uma velocidade demasiado elevada. Adicionalmente, o movimento deve ser efetuado com uma aceleração no início do movimento e de igual modo, uma desaceleração no fim. Isto permite garantir precisão na posição final e ainda reduzir a instabilidade. Assim, o perfil de velocidade e a variação do tempo entre pulsos nas zonas de aceleração podem ser visualizados na Fig. 4.9 .

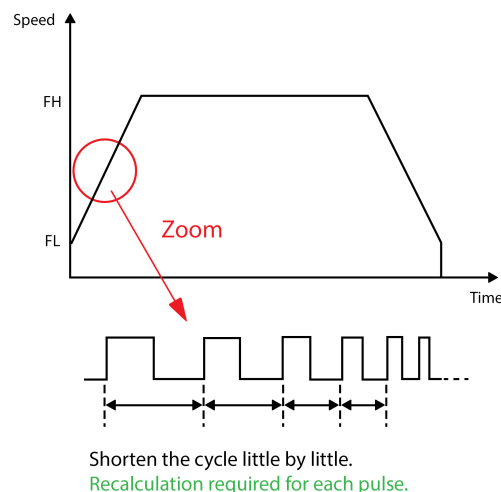


Figura 4.9: Perfil de velocidade e sequência de pulsos na zona de aceleração.

Uma vez que os movimentos a realizar na operação da máquina não necessitam de ser feitos a grande velocidade e são maioritariamente curtos, o controlo dos motores foi feito utilizando baixa velocidade e valor constante desde o início do movimento até ao final.

#### 4.4.2 Acionamento dos motores DC

De forma semelhante aos motores passo-a-passo também os motores DC são acionados utilizando o raspberry pi e os *drivers* aconselhados pelo fabricante. Os drivers utilizados permitem a variação do valor da velocidade e de rotação dos motores e do seu sentido de rotação. Na Fig. 4.10 pode ver-se o esquema das ligações necessárias ao acionamento dos motores.

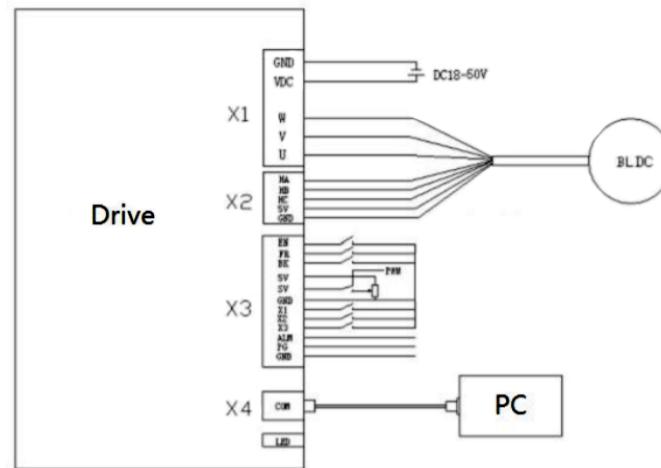


Figura 4.10: Esquema das ligações necessárias entre o SBC, *driver* e motorDC. (stepperonline.com)

Os motores DC utilizados possuem 8 fios que são ligados aos contactos W, V, U, HA, HB, HC, 5V e GND. Os primeiros 3 contactos são responsáveis por enviar as ondas de tensão para o motor que provocarão a sua rotação, os 3 seguintes, correspondem aos 3 sensores de Hall que o motor possui e permitem conhecer a posição do rotor por fim, os últimos dois servem para alimentar os sensores. De acordo com o fabricante e como é mostrado na Fig. 4.10, algumas ligações devem ser efetuadas de modo a preparar o motor para o seu funcionamento (secção X3 da Fig. 4.10).

O motor DC roda no sentido horário ou anti-horário, dependendo do estado na entrada FR do *driver*. Se ligado a 0 V, o motor roda no sentido horário, por outro lado, quando recebida uma tensão de 3.3 V ou superior neste contacto o motor roda no sentido oposto. Por outro lado, o valor da velocidade de rotação é variado através do contacto SV, que corresponde a uma entrada analógica do *driver*. Segundo o fabricante, o *driver* aceita uma gama de frequências entre 1 a 20 kHz que corresponde a uma velocidade de 0 a 6000 rpm. Deste modo, através do SBC, pode ser enviado um sinal PWM para o contacto SV, onde, uma vez variada a frequência do mesmo, pode também ser variada a velocidade de rotação do motor.

Sabendo que se pretende uma gama de velocidade linear dos lançamentos entre 20 a 130 km/h então, para lançamentos simples, os motores DC necessitarão de rodar a velocidade mínima de 424 rpm e máxima de 2750 rpm. Fazendo a conversão destas velocidades para o valor de frequência correspondente pode fazer-se o acionamento do motor com a velocidade pretendida. No entanto, quando o utilizador pretende efetuar lançamentos de maior complexidade onde a bola além da sua velocidade linear também possui velocidade de rotação o acionamento dos motores é efetuado de forma diferente.

De modo a provocar uma rotação da bola em torno do seu eixo é necessário acionar os motores com um diferencial de velocidades. Conhecido o valor das velocidades linear e de rotação da bola, as velocidades de rotação dos rolos,  $\omega_1$  e  $\omega_2$ , podem calcular-se da seguinte forma [11]:

$$\omega_1 = \frac{V - \omega r_l}{r_r} \quad (4.6)$$

$$\omega_2 = \frac{2V}{r_r} - \omega_1 \quad (4.7)$$

Onde  $V$  corresponde à velocidade linear da bola,  $r_l$ , ao raio da bola no momento de maior deformação e  $r_r$  ao raio dos rolos.





## Capítulo 5

# Software de controlo e monitorização

No presente capítulo apresenta-se o funcionamento do software do lançador. São apresentados métodos e ferramentas utilizados na sua criação assim como, a interface da página web criada para o comando do lançador.

### 5.1 Desenvolvimento do software

Para o controlo e monitorização do lançador definiu-se uma arquitetura que permita ao utilizador visualizar o estado do lançador assim como proceder ao seu acionamento e controlo. No capítulo anterior foi abordado o modo como é efetuado o acionamento do *hardware*, através do envio de sinais por parte do SBC. Por outro lado, pretende-se que o utilizador comande todo o sistema através de um *website*, que pode ser acedido por uma plataforma externa (*smartphone*, *tablet*, computador, entre outros).

A comunicação do servidor principal pode ser feita com o SBC através de uma rede sem fios, onde simultaneamente existe comunicação com bases de dados de modo a guardar informação importante para o funcionamento do equipamento.

#### 5.1.1 Django

Para o desenvolvimento do *website* foi utilizado o Django. O Django é um *framework* de desenvolvimento web gratuito e disponível em formato *open source*. A linguagem utilizada no Django é Python e esta é ideal para promover um desenvolvimento rápido garantindo, ao mesmo tempo, segurança e escalabilidade [17]. A arquitetura utilizada pelo Django é do tipo MVT (*Model-View-Template*) onde, é efetuada a separação da informação e da interação do utilizador com a mesma.

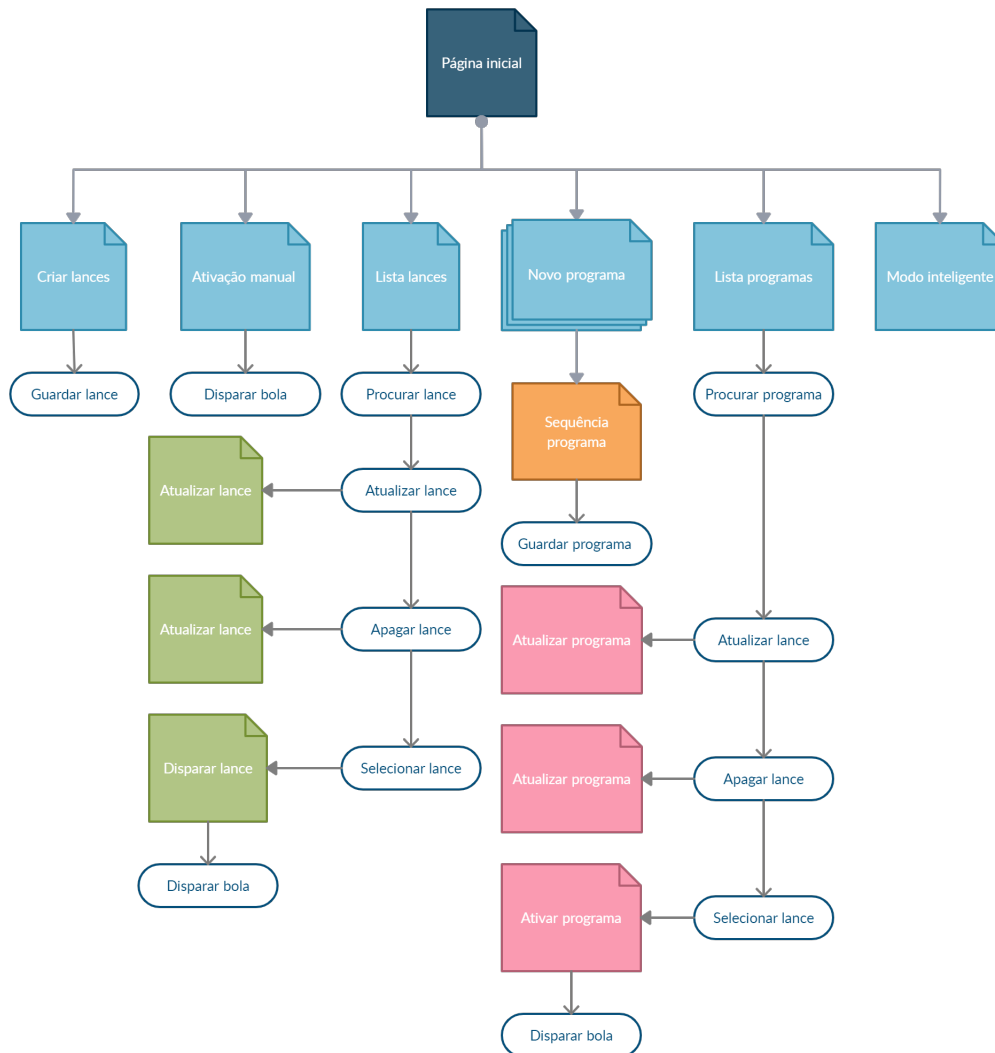


Figura 5.1: Mapa do *website*.

Na Fig. 5.1 é apresentado um esquema do *website* onde pode visualizar-se as diferentes páginas que o compõem e as respetivas ações possíveis de realizar. De modo a uma melhor perceção do esquema, não se encontra representada a possibilidade de o utilizador retroceder até à página principal sempre que assim o desejar.

### 5.1.2 Página Inicial

Quando realizada a conexão com o *website* é apresentada a página principal. Nesta página é apresentada uma barra de navegação (*navbar*), construída através de código utilizado da W3Schools, que permite a seleção das diferentes páginas do *website*. Isto pode ser visualizado na Fig. 5.2 onde, no Modo Manual pode encontrar-se um botão para aceder à página de criação de lances (1), um botão de acesso à página com a lista de lances guardados (2) e outro para aceder à página de ativação manual do lançador (3). No Modo Automático, de igual modo, é apresentado um botão para a página de

criação de um programa de treino (4), um botão para a lista dos programas guardados pelo utilizador (5) e outro para a página de modo inteligente da máquina (6).



Figura 5.2: Página inicial do *website* criado.

No centro desta página é apresentada uma imagem renderizada do lançador (após a construção do protótipo poderá ser alterada) e na parte inferior informações relativas ao seu autor e origem.

### 5.1.3 Páginas do modo manual

A página de ativação manual permite ao utilizador fazer o acionamento manual do lançador. Nesta página são apresentados 3 *spin buttons* que permitem variar a inclinação, direção e o *top spin*, respetivamente. O utilizador varia os parâmetros anteriores tendo em conta o ângulo de rotação do motor passo-a-passo onde, simultaneamente, consegue visualizar numa imagem ilustrativa da máquina (à direita) qual o valor dos ângulos de cada motor passo-a-passo e da velocidade de rotação dos motores DC. Esta é definida através de uma *slidebar* que vai desde o valor de 20 km/h (velocidade linear mínima), até um valor máximo de 140 km/h (velocidade máxima linear). De igual modo pode o efeito lateral (*spin lateral*) que se pretende aplicar à bola pode ser definido através de uma *slidebar*. Este é criado ao ser definida uma velocidade de rotação diferente para cada um dos rolos. A *slidebar* relativa ao *spin lateral* toma valores de 0% a 100% onde, 0 representa um lançamento sem rotação da sobre si mesma (sem *spin*) e 100, um lançamento onde a bola possui rotação máxima sobre si mesma. Adicionalmente é necessário definir qual o sentido do *spin* pelo que, pode definir-se nas *checkboxes*: 'left', 'right' ou 'none'. À medida que os valores são variados é novamente possível, em tempo real, ver o ajuste da velocidade do rolos na imagem à direita. De modo criar a visualização da variação dos valores dependendo dos *inputs* dados pelo utilizador foi definido um código em linguagem *javascript*. As páginas de ativação manual e criação dos lances apresentam uma estrutura

muito similar onde, a grande diferença entre elas encontra-se nos botões disponíveis no fim das mesmas. Enquanto que na página de criação dos lance encontra-se um botão 'SAVE' no fim da mesma (ver Fig. 5.3), na página de ativação manual existe um botão 'SHOOT' que permite disparar uma bola quando premido.

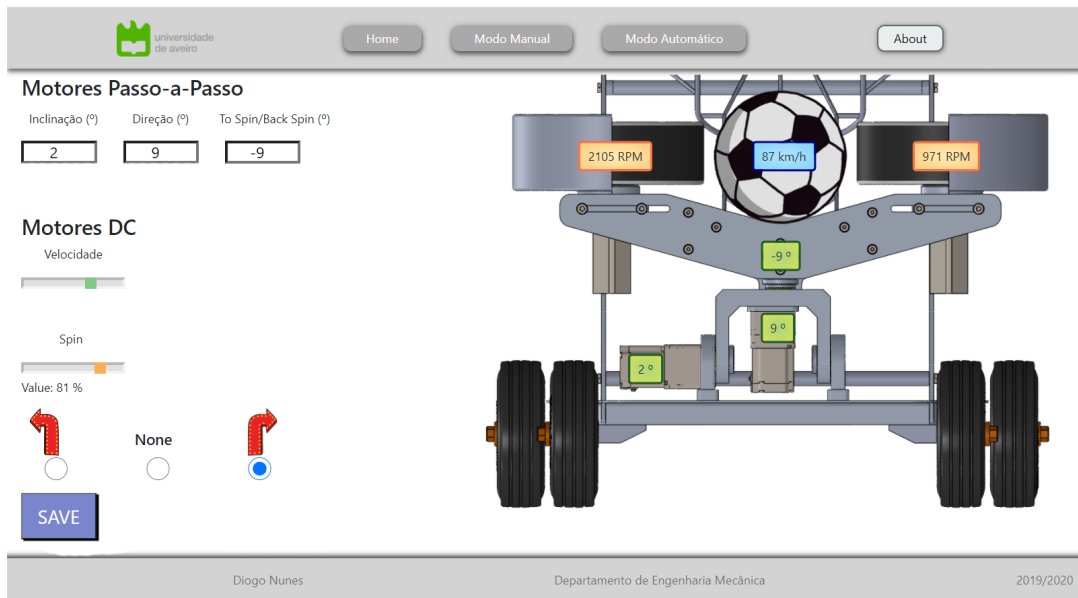


Figura 5.3: *Layout* da página de Modo Manual (criação dos lances).

Uma vez definidos todos os parâmetros na página apresentada acima, o utilizador tem possibilidade de guardar o lance na base de dados, no botão 'SAVE'. Quando pressionado o botão, é aberto um pequeno formulário, como se pode ver na Fig. 5.4, onde deve ser inserido o nome que se pretende dar ao lance e as coordenadas onde se encontra a máquina. Este último aspeto é particularmente útil para o utilizador devido à possibilidade de, numa utilização posterior do lance guardado, este poder ter uma referência de onde estava posicionado o lançador no campo.

Figura 5.4: Formulário de preenchimento do nome e coordenadas do lance.

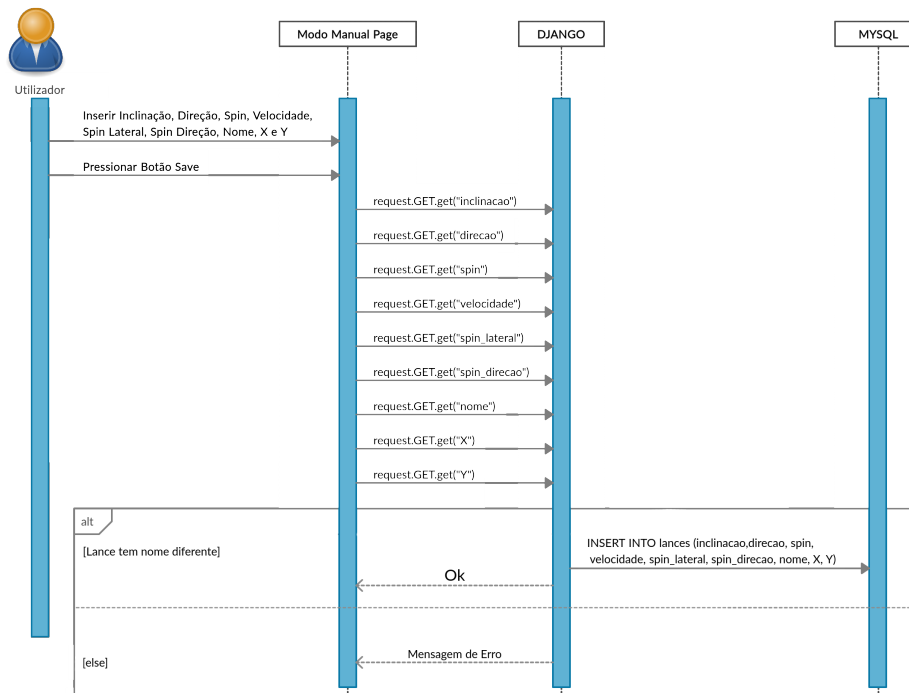


Figura 5.5: UML de Sequência para a criação dos lances.

Na Fig. 5.5 pode ver-se como é feito o processamento na página de criação de lances. Uma vez preenchidas todas as informações da página (inclinação, direção, etc.) e pressionado o botão 'SAVE', é ativada uma função do *backend*, no Django, que envia o pedido para obter os valores introduzidos pelo utilizador no *frontend* e, por sua vez, envia uma *query* com estes valores para atualizar a base de dados e introduzir o novo lance. Se o envio foi efetuado com sucesso a página de criação dos lances é novamente carregada, por outro lado, se o envio não foi possível é mostrada uma mensagem de erro e o lance não é guardado na base de dados. Uma vez guardados na base de dados, os lances podem ser visualizados noutra página denominada Lista de Lances. Aqui é apresentada a lista de todos os lances existentes e é dada a possibilidade ao utilizador de editar, eliminar ou seleccionar cada um dos lances. Ao longo do tempo, com a adição contínua de lances à lista, esta pode tornar-se demasiado extensa pelo que existe a possibilidade de procurar lances pelo seu nome ou pelas suas características de inclinação, direção, velocidade e *spin*. Na Fig. 5.6 é possível ver o *layout* da página em questão.

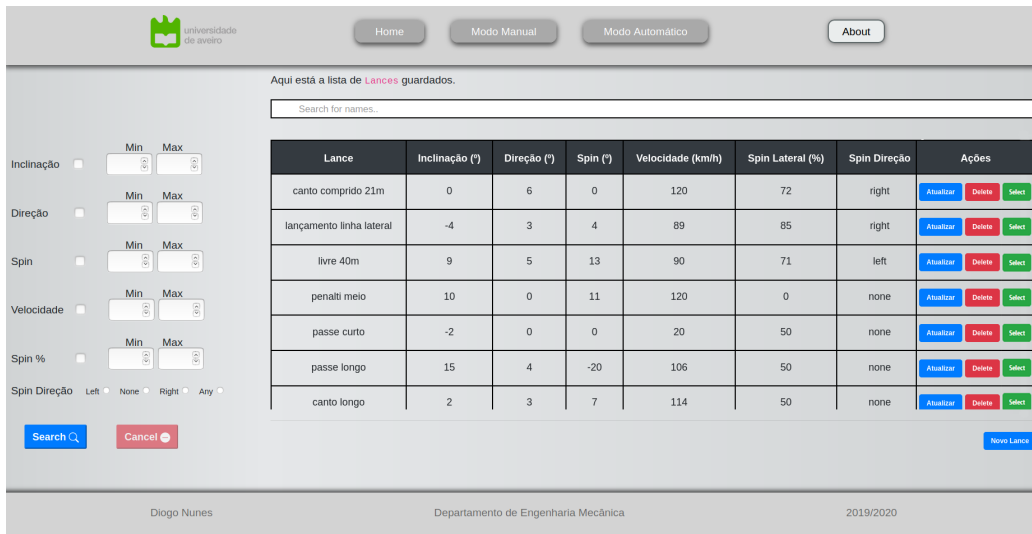


Figura 5.6: Layout da página da lista de lances.

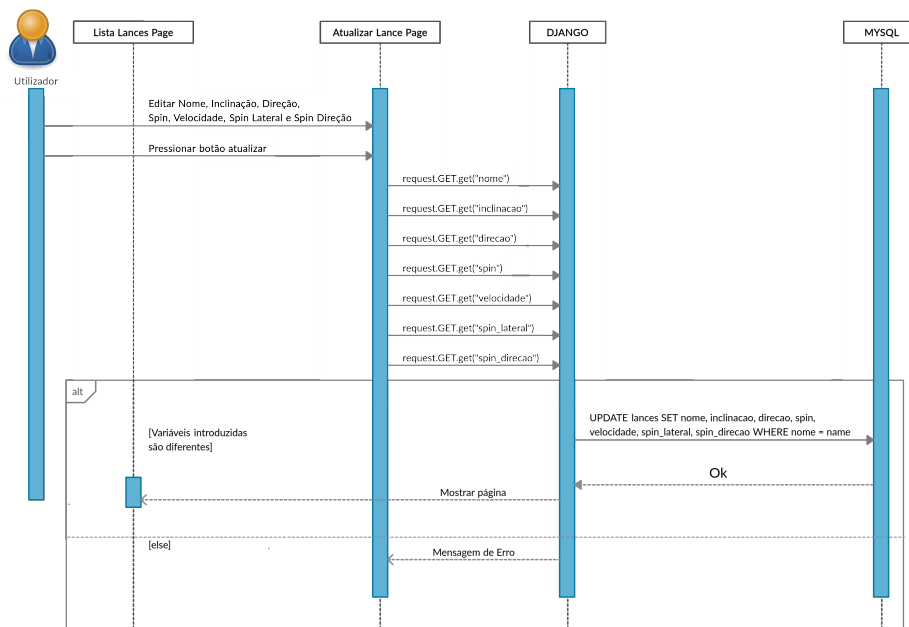


Figura 5.7: UML de sequência da atualização de um lance.

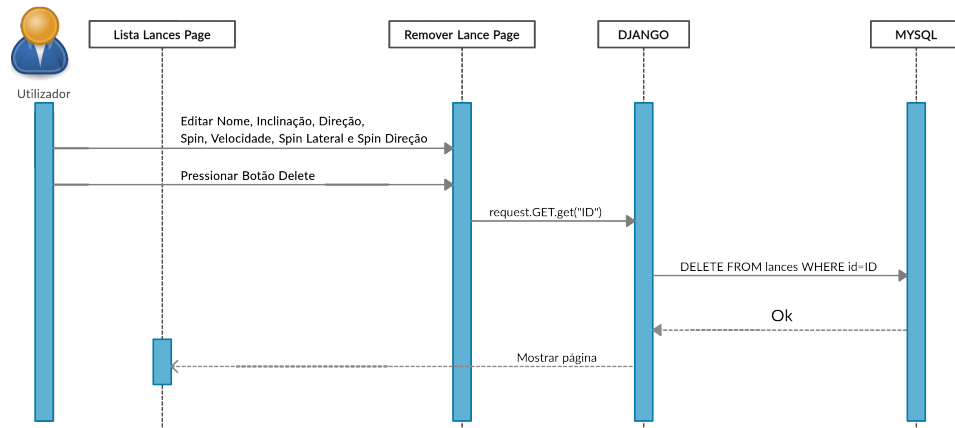


Figura 5.8: UML de sequência da remoção de um lance.

Nas Fig. 5.7 e 5.8 são apresentados os UML de sequência para a atualização e remoção dos lances, respetivamente. Quando requerida a atualização de um lance pelo utilizador, uma página nova é carregada onde é apresentado um formulário com as características do lance selecionado. O utilizador deve proceder à alteração dos campos pretendidos e depois pressionar o botão 'Atualizar'. Caso o botão tenha sido pressionado e nenhum campo do formulário alterado, então, uma mensagem de erro surge e avisa o utilizador da necessidade de alterar algum dos campos. De forma similar ao que foi anteriormente explicado para o UML da Fig. 5.6, é enviada uma *query* para a base de dados e, em caso de sucesso, os dados são atualizados na base de dados e a página da lista de lances é carregada, caso contrário, é apresentada uma mensagem de erro. O processo de remoção de um lance é muito parecido, mudando apenas a *query* que é enviada para a base de dados.

#### 5.1.4 Páginas de Modo Automático

As páginas apresentadas na secção anterior servem para a utilização da máquina de uma forma intuitiva no momento ou com o propósito de criar uma seleção de lances para mais tarde utilizar por parte do treinador. Isto significa que o treinador poderá num período externo ao treino, preparar os lances que querará ver concretizados e trabalhados na sessão de treino. No entanto, existe a possibilidade de criar e utilizar programas totalmente automáticos de modo a criar sequências de lançamentos com cadência bem definidas e assim aumentar a complexidade e qualidade do treino. Isto implica que o treinador não precisará de estar sempre a comandar a máquina pelo que, uma vez definido um plano de lançamentos, os jogadores poderão treiná-lo de forma contínua.

Assim, apresenta-se uma página de criação de planos de treino onde o treinador, numa primeira fase, poderá definir o nome do plano, quantas bolas serão lançadas e os lances que farão parte do programa.



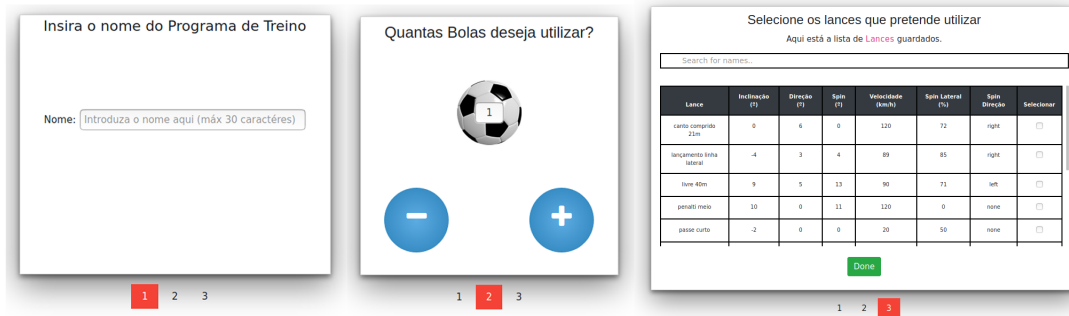


Figura 5.9: Layout da página de criação dos programas de treino.

O número de bolas a selecionar encontra-se limitado entre 2 e 13 bolas e o número máximo de caracteres para a atribuição de um nome ao programa é de 30. Caso estes requisitos não sejam cumpridos o programa faz surgir no ecrã pequenas mensagens de aviso relativas aos campos em falta de preenchimento ou com erros. Uma vez definidos os parâmetros anteriores corretamente, o utilizador é direcionado para uma nova página onde poderá selecionar, para cada bola, o tipo de lance e o tempo de espera entre o lançamento da próxima bola. O tipo de lance depende da lista de lances previamente criada pelo que é necessário a criação dos lançamentos pretendidos antes de chegar até este ponto (ver Fig. 5.6).

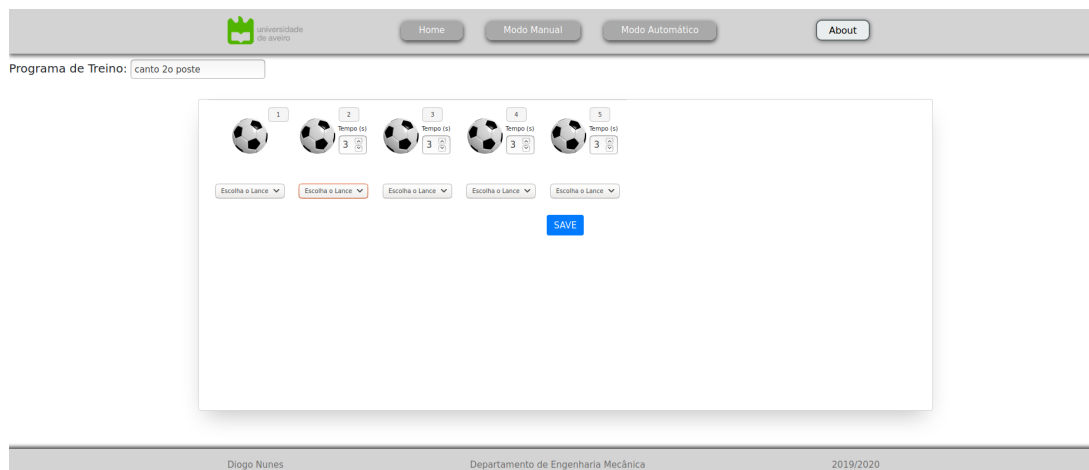


Figura 5.10: *Layout* da página de definição da estrutura do programa.

Uma vez satisfeito com a configuração e distribuição dos lances o utilizador pode criar o programa automático. Ao fazer isto, este é automaticamente adicionado à base de dados e pode ser visualizado na página dos programas de treino (de igual forma ao que foi mostrado para os lances anteriormente). Na figura 5.10 pode ver-se que a configuração dos planos de treino é similar à utilizada para os lances onde muda apenas os filtros de procura dos programas.

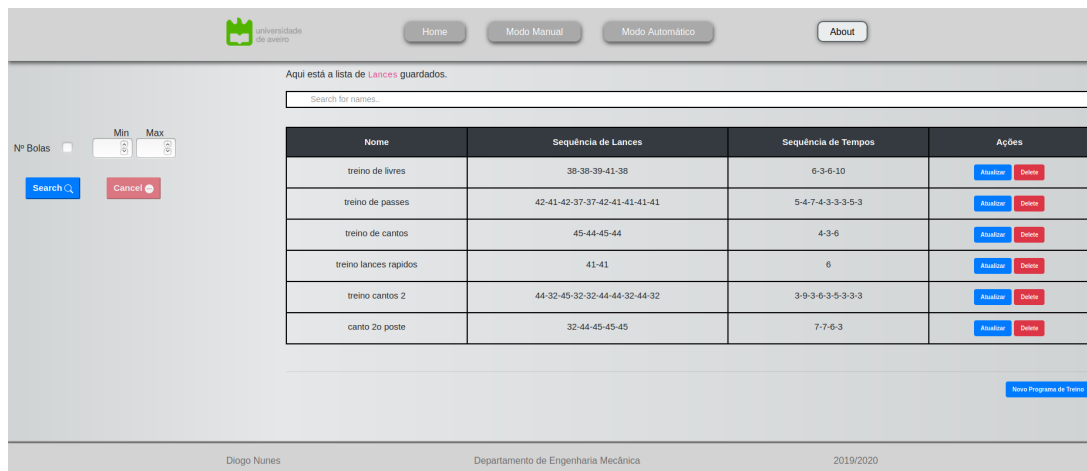


Figura 5.11: *Layout* da página da lista de programas de treino.

Cada programa de treino é identificado pelo nome, número de bolas e uma sequência. A sequência é composta pelo 'ID' do lance selecionado, seguido do tempo de espera para o próximo lançamento e assim sucessivamente.

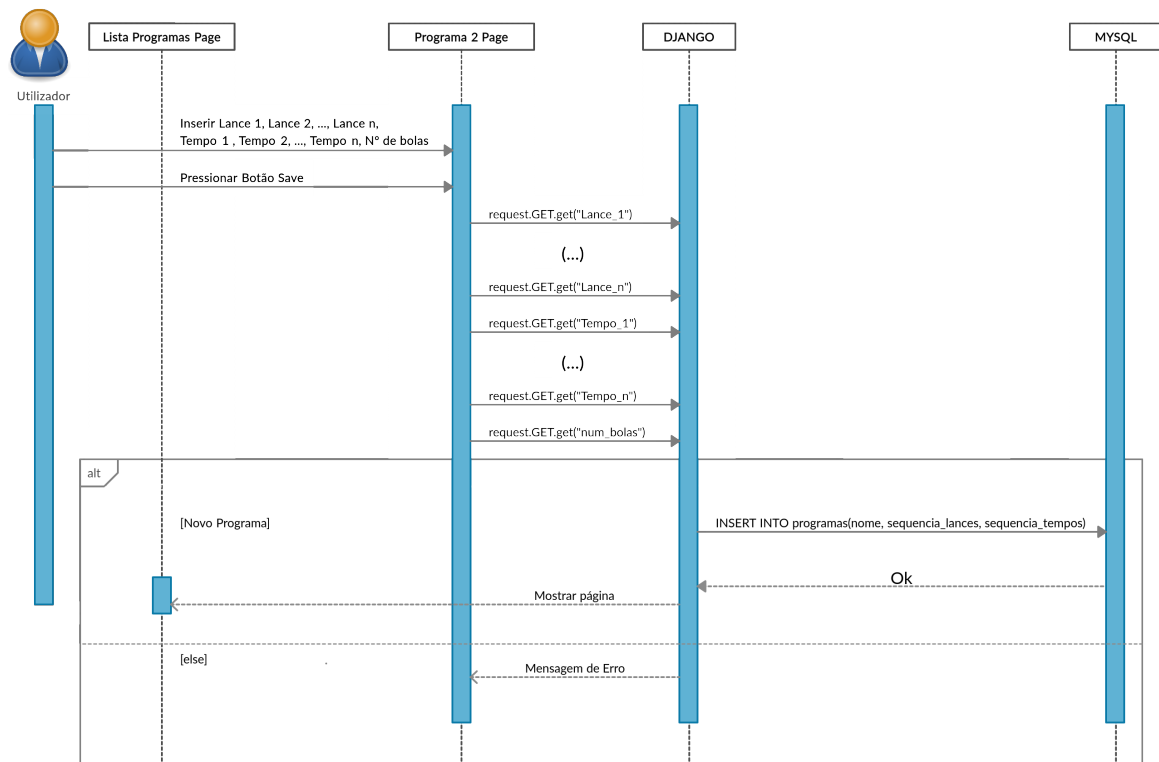


Figura 5.12: UML de Sequência da criação do programa de treino.

Através da Fig. 5.12 pode visualizar-se que após o utilizador pressionar o botão 'SAVE', é efetuado o pedido dos valores contidos nos campos relativos aos dados da sequência do programa (tempo de espera entre cada lance e tipo de lance) que, por sua

vez, são enviados numa *query* à base de dados de modo adicionar um novo programa (nova linha). Em caso de sucesso é carregada a página da lista de programas, caso contrário, surge uma mensagem de erro.

A página com a lista de programas de treino permite, de forma similar à página com a lista de lances, proceder à edição ou eliminação de qualquer programa de treino da base de dados. Adicionalmente, a procura dos programas pode ser feita através do nome ou o número de bolas utilizadas.

## 5.2 Bases de Dados

A inclusão de bases de dados no projeto permite melhorar a experiência de quem utiliza o lançador. Pretende-se que o treinador possa planear e guardar lançamentos individuais e, também, sequências de lançamentos. Para isso, este deve definir vários parâmetros, os quais são posteriormente inseridos na base de dados.

De modo a cumprir com os objetivos anteriores, criaram-se duas bases de dados onde, cada uma possui uma tabela. A tabela da base de dados 'Lances\_Manual' denomina-se de 'lances' e nela são inseridos todos os lançamentos individuais criados pelo treinador. Como se pode ver na tabela 5.1, cada linha da tabela representa um lançamento definido pelo nome, inclinação, direção, *spin* lateral, velocidade, *spin* dos rolos e a direção do *spin*.

Tabela 5.1: Tabela lances da Base de Dados Lances\_Manual.

| Lances_Manual <b>lances</b> |
|-----------------------------|
| id: int(11)                 |
| name: varchar(255)          |
| inclinacao_graus: int(11)   |
| direcao_graus: int(11)      |
| spin_graus: int(11)         |
| velocidade: int(11)         |
| spin_percentagem: int(11)   |
| spin_direcao: varchar(255)  |
| X: int(11)                  |
| Y: int(11)                  |

Por outro lado, de modo a ser possível armazenar sequências de lances com cadências definidas pelo treinador, foi criada uma outra tabela na base de dados com o nome de 'Programas de Treino'. Na tabela 5.2 pode ver-se que cada linha desta tabela representa cada programa de treino definido pelo seu nome, número de bolas e sequências de lances e tempos entre os mesmos.

Tabela 5.2: Tabela programas da Base de Dados Programas de Treino.

| Programas de Treino <b>programas</b> |
|--------------------------------------|
| id: int(11)                          |
| name: varchar(255)                   |
| num_bolas: int(11)                   |
| seq_tempos: varchar(255)             |
| seq_lances: varchar(255)             |



## Capítulo 6

# Fabrico e montagem

### 6.1 Processos de fabrico

Para o fabrico do lançador foram utilizados processos de fabrico como maquinação, corte a laser, quinagem, entre outros. No total foram fabricadas 27 peças através de maquinação, 15 através do corte a laser, das quais, 8 necessitaram também de ser quinadas. Na Fig. 6.1 pode visualizar-se algumas das principais peças maquinadas.

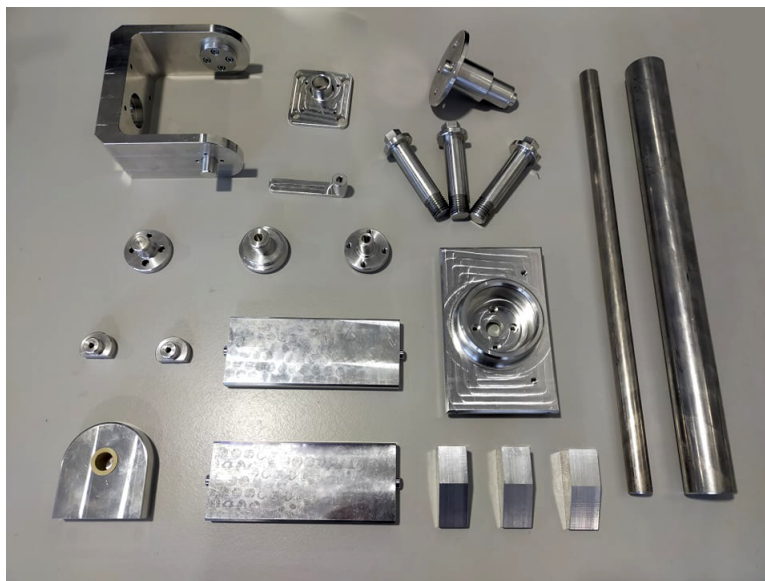


Figura 6.1: Alguns dos principais componentes maquinados.

De modo a minimizar custos associados à fabricação e facilitar a montagem, alguns componentes, inicialmente projetados, foram substituídos e/ou alterados. Entre os quais destacam-se a alteração de uma ligação soldada dos perfis do quadro e das rodas ao mesmo para ligações aparafusadas. Foram selecionadas e adaptadas duas rodas, sem rolamento, de modo a desempenharem o papel dos rolos rotativos. O pneu das mesmas deverá garantir o atrito necessário para projetar a bola de futebol, por outro lado, para a sua adaptação foi necessário projetar duas peças adicionais que encaixam na jante do pneu e permitem a transmissão do movimento. Estas foram obtidas através de um

processo de manufatura aditiva (FDM) e o seu fabrico foi utilizada uma impressora 3D de escritório de baixo custo. Desse modo foi possível a colocação e fixação do acoplamento que se encontra ligado ao motor DC (ver Fig. 6.2).



Figura 6.2: Solução alternativa para os rolos rotativos.

## 6.2 Montagem

Uma vez obtido o chassis foi aparafusada a chapa da base ao mesmo e os quatro blocos roscados juntamente com as rodas. Para a fixação da base foram utilizados parafusos M8 (ver Fig. 6.3).

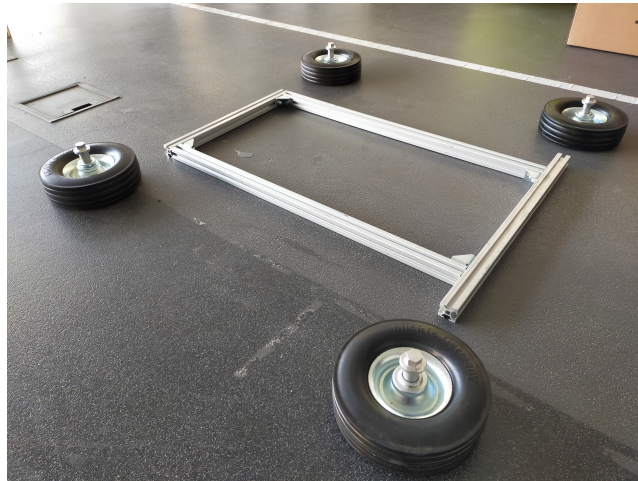


Figura 6.3: Montagem do chassis.

De seguida, efetuou-se a montagem do mecanismo responsável pelos 3 graus de liberdade do sistema. Inicialmente, foram colocados os casquilhos deslizantes nos alojamentos correspondentes e aparafusados os apoios do mecanismos à base (chassis). Uma vez efetuado essa montagem foram adicionados os componentes restantes, de baixo para cima, até aos rolos. No fim são adicionados os motores ao conjunto (ver Fig. 6.4).

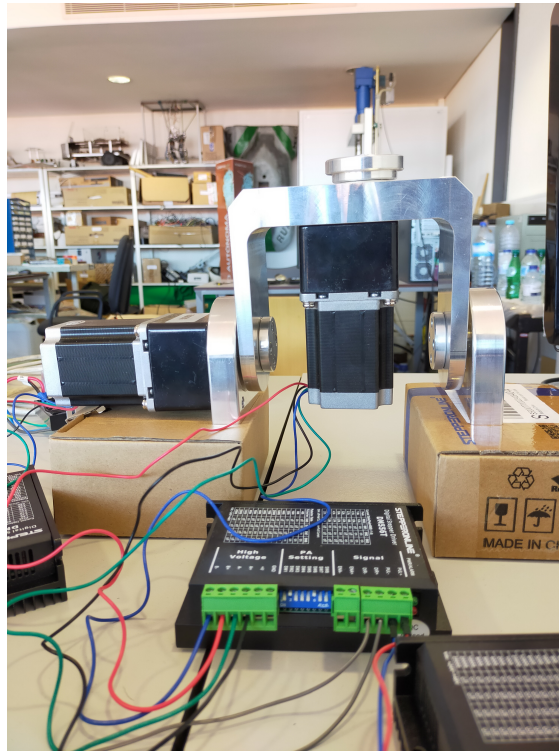


Figura 6.4: Montagem do mecanismos de lançamento.

Até à data de entrega deste documento, o estado da montagem é o exposto acima pelo que será continuado à medida que os restantes componentes forem finalizados e recebidos.





## Capítulo 7

# Conclusões e trabalhos futuros

Uma vez concluída a montagem total do lançador podem ser iniciados testes e ensaios de lançamentos efetuados pelo mesmo. Tendo o acionamento através do *website* já sido testado, os testes a efetuar deverão focar-se na eficiência e precisão do mecanismo de lançar. Os resultados obtidos através destes testes são importantes para determinar o sucesso deste projeto e permitir a comparação com os modelos já existentes.

O desenvolvimento deste projeto teve em vista o colmatar de uma lacuna no mercado dos lançadores de futebol. Isto é, a existência de um lançador que reúna as seguintes características em simultâneo: (i) acionamento feito de forma remota; (ii) capacidade para reservar várias bolas; (iii) cadenciar lançamentos; (iv) permitir a realização de todos os tipos de efeito sobre a bola.

Tendo em conta o trabalho desenvolvido ao longo deste documento considera-se que os objetivos inicialmente traçados foram atingidos com sucesso. Ao longo do documento é apresentado o processo de desenvolvimento do conceito, assim como, a modelação tridimensional do lançador. Posteriormente são apresentados o dimensionamento efetuado para os diferentes componentes mecânicos e elétricos assim como, simulações numéricas de modo a validar todo o projeto mecânico. Para garantir o acionamento remoto do lançador, foi desenvolvido um *website* que permite ao utilizador interagir e o mesmo é também apresentado anteriormente no documento. Por fim, a construção do protótipo encontra-se em desenvolvimento e é esperado o seu término muito em breve.

Com vista a melhorar o produto final apresentado, algumas alterações podem ser impostas:

- Aumento da amplitude dos ângulos reais aos graus de liberdade;
- Substituição de algumas peças metálicas por outros materiais de modo a reduzir o peso instalado;
- Alteração do código html das páginas do *website* de modo a permitir o ajuste automático do tamanho dos *widgets* e texto para que a utilização nos *smartphones* seja mais fácil;

Adicionalmente às melhorias acima propostas, de modo a aumentar a autonomia do lançador, como trabalho futuro poderia ser instalado no mesmo um dispositivo de *tracking* que permita determinar a localização da máquina no campo e por sua vez, a sua movimentação para uma posição desejada. Por outro lado, também pode ser adicionada uma funcionalidade ao *website*, na qual, o utilizador introduz a posição do lançador (ou

esta é captada pelo dispositivo anterior), o alvo objetivo e de uma forma autónoma são determinados os parâmetros necessários para que a bola atinja a posição desejada.

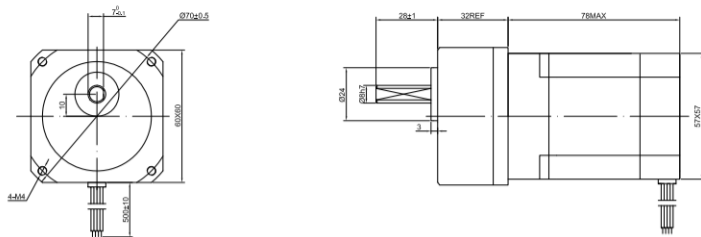
# Bibliografia

- [1] Pires, Fausto.(2017, Fevereiro 28).*O desporto como fator de mudança social*. LinkedIn.<https://pt.linkedin.com/pulse/o-desporto-como-fator-de-mudanca-social-fausto-david-pires>
- [2] PORDATA. (2017).*Praticantes desportivos federados: total e por algumas federações desportivas*. <https://www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela>
- [3] Ertheo.(2017, Outubro 24).*How a Tennis Ball Machine Could Take Your Game to the Next Level*. <https://www.ertheo.com/blog/en/tennis-ball-machine/>
- [4] Hoang, K., Willnow, K., Yashar, A., Rathbun, M. (2017). *Automated Tennis - Image Processign and Launcher* [Master's Thesis, University of Central Florida]. Senior Design. <http://www.eecs.ucf.edu/seniordesign/fa2016sp2017/g14/#documentation>
- [5] da Silva, N. A. N. M. (2017). *Conceção e desenvolvimento de um edifício modular* [Master's thesis, Universidade de Aveiro]. Repositório Institucional da Universidade de Aveiro. <https://ria.ua.pt/handle/10773/23590>
- [6] Completo, A., de Melo, F. Q. (2017). *Introdução ao Projeto Mecânico*. (1<sup>a</sup> ed.). Engebook.
- [7] Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W. A. (1983). *Product Design for Manufacture and Assembly*. (3rd ed.). CRC Press.
- [8] Completo, A., Fonseca, F. (2011). *Fundamentos de Biomecânica*. (1<sup>a</sup> ed.). Publíndústria.
- [9] Drillis, R., Contini, R. (1966). *Body Segment Parameters*. Rep. 1163, Office of Vocational Rehabilitation, Department of Health, Education, and Welfare, New York.
- [10] Karimi, A., Razaghi, R., Navidbakhsh, M., Sera, T., Kudo, S. (2015). Measurement of the mechanical properties of soccer balls using digital image correlation method. *Sport Sciences for Health*, 12(1), 4-5.
- [11] Wójcicki, K., Puciłowski, K., Kulesza, K. (2011). Mathematical Analysis for a New Tennis Ball Launcher. *Acta Mechanica et Automatica*, 112-114.
- [12] Tin, A. M., Weizman, Y., Alam, F., Fuss, F. K. (2020). The Coefficient of Friction of Soccer Balls. *Proceedings*, 49, 92.

- [13] da Silva, G. B. P. (2017). *Desenvolvimento do projeto mecânico de uma máquina alimentadora de barras para centros de torneamento* [Master's thesis, Instituto Superior de Engenharia do Porto]. Repositório Científico do Instituto Politécnico do Porto. <https://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/10495>
- [14] Morais, S. (2015). *Desenho Técnico Básico*. (26<sup>a</sup> ed.). Porto Editora.
- [15] Jones, D. W. (1998). *Control of Stepping Motors*. The University of Iowa, Department of Computer Science. <http://homepage.divms.uiowa.edu/~jones/step/index.html>
- [16] Yeadon, W., Yeadon, A. (2001). *The Handbook of Small Electric Motors*. McGraw-Hill Education.
- [17] Zambaldi, L. F. (2015). *Aplicação web escalável e customizável para sistema educacional* [Master's thesis, Universidade Federal de Santa Catarina]. Repositório Institucional da Universidade Federal de Santa Catarina. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/171484>

# Anexos

Especificações técnicas dos motores passo-a-passo:

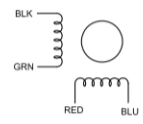



| SPEZIFIKATION   | VERBINDUNG | BIPOLAR      |
|---|------------|--------------|
| AMPS/PHASE  |            | 2.80         |
| RESISTANCE/PHASE(Ohms)@25°C   |            | 1.13±10%     |
| INDUCTANCE/PHASE(mH)@1KHz   |            | 5.40±20%     |
| HOLDING TORQUE w/o GEARBOX(Nm) [lb-in]  |            | 1.89 [16.73] |
| GEAR RATIO  |            | 10.00        |
| EFFICIENCY  |            | 80.00%       |
| STEP ANGLE w/o GEARBOX(°)   |            | 1.80         |
| BACKLASH@NO-LOAD  |            | <±3°         |
| MAX.PERMISSIBLE TORQUE(Nm)  |            | 5.00         |
| WEIGHT(Kg) [lb]   |            | 1.50 [3.31]  |
| ROTOR INERTIA w/o GEARBOX(g-cm²)  |            | 480.00       |
| INSULATION RESISTANCE 100 Mohm (UNDER NORMAL TEMPERATURE AND HUMIDITY )           |            |              |
| DIELECTRIC STRENGTH 500VAC FOR 1MIN.(BETWEEN THE MOTOR COILS AND THE MOTOR CASE ) |            |              |
| TEMPERATURE RISE-MAX.80°C ( MOTOR STANDSTILL.FOR 2PHASE ENERGIZED )               |            |              |
| AMBIENT TEMPERATURE -10°C-50°C [14°F-122°F]                                       |            |              |
| INSULATION CLASS B 130°C [266°F]  |            |              |

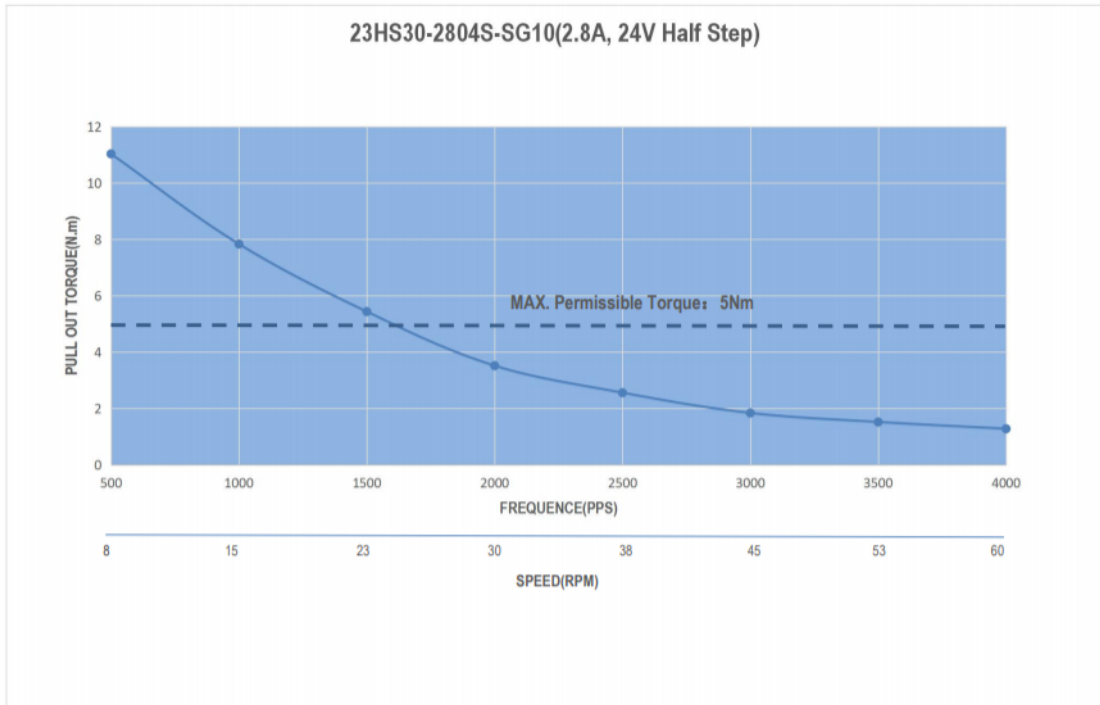
| TYPE OF CONNECTION (EXTERN) |         | MOTOR |         |
|-----------------------------|---------|-------|---------|
| PIN NO                      | BIPOLAR | LEADS | WINDING |
| 1                           | A -     | BLK   | A       |
| 2                           | A  -    | GRN   | A       |
| 3                           | B -     | RED   | B       |
| 4                           | B  -    | BLU   | B       |

FULL STEP 2 PHASE-Ex. WHEN FACING MOUNTING END (X)

| STEP | A | A | B | B |     |
|------|---|---|---|---|-----|
| 1    | + | + | - | - | CCW |
| 2    | - | + | + | - | ↓   |
| 3    | - | - | + | + | ↑   |
| 4    | + | - | - | + | CW  |



|   |           |           |  |
|---|-----------|-----------|--|
|  | APVD      | 8.20.2018 | <b>SCHRITTMOTOR</b><br>23HS30-2804S-SG10 |
|   | CHKD      |           |  |
|   | DRN       |           |  |
| SCALE   | SIGNATURE | DATE      |  |



| SPECIFICATION  | CONNECTION | BIPOLAR     |
|--|------------|-------------|
| AMPS/PHASE   |            | 2.80        |
| RESISTANCE/PHASE(Ohms)@25°C  |            | 1.13±10%    |
| INDUCTANCE/PHASE(mH)@1KHz  |            | 5.40±20%    |
| HOLDING TORQUE w/o GEARBOX(Nm)[lb-in]  |            | 1.80[16.73] |
| GEAR RATIO   |            | 20.00       |
| EFFICIENCY   |            | 70.00%      |
| STEP ANGLE w/o GEARBOX(°)  |            | 1.80        |
| BACKLASH@NO-LOAD   |            | ±0.3°       |
| MAX.PERMISSIBLE TORQUE(Nm)   |            | 5.00        |
| WEIGHT(Kg)[lb]   |            | 1.50[3.31]  |
| ROTOR INERTIA w/o GEARBOX(g-cm²)   |            | 480.00      |
| INSULATION RESISTANCE 100 Mohm (UNDER NORMAL TEMPERATURE AND HUMIDITY)           |            |             |
| DIELECTRIC STRENGTH 500VAC FOR 1MIN.(BETWEEN THE MOTOR COILS AND THE MOTOR CASE) |            |             |
| TEMPERATURE RISE:MAX.80°C (MOTOR STANDSTILL.FOR 2PHASE ENERGIZED)                |            |             |
| AMBIENT TEMPERATURE -10°C-50°C[14°F-122°F]                                       |            |             |
| INSULATION CLASS B 130°C[266°F]  |            |             |

| TYPE OF CONNECTION (EXTERN) |         | MOTOR |         |
|-----------------------------|---------|-------|---------|
| PIN NO                      | BIPOLAR | LEADS | WINDING |
| 1                           | A -     | BLK   | A       |
| 2                           | A1 -    | GRN   | A1      |
| 3                           | B -     | RED   | B       |
| 4                           | B1 -    | BLU   | B1      |

FULL STEP 2 PHASE-Ex. WHEN FACING MOUNTING END (X)

| STEP | A | A1 | B | B1 |
|------|---|----|---|----|
| 1    | + | +  | - | -  |
| 2    | - | -  | + | +  |
| 3    | - | +  | - | +  |
| 4    | + | -  | + | -  |

CCW ↑

CW ↓

APVD

CHKD

DRN

SCALE

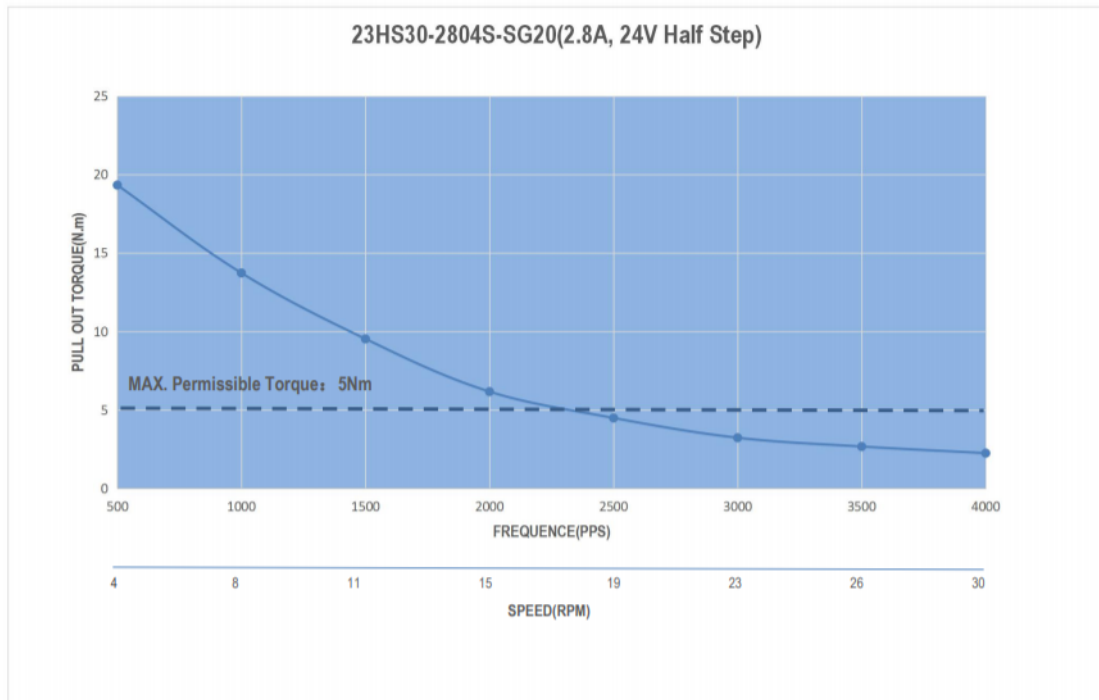
8.20.2018

SIGNATURE

DATE

**STEPPER MOTOR**

**23HS30-2804S-SG20**

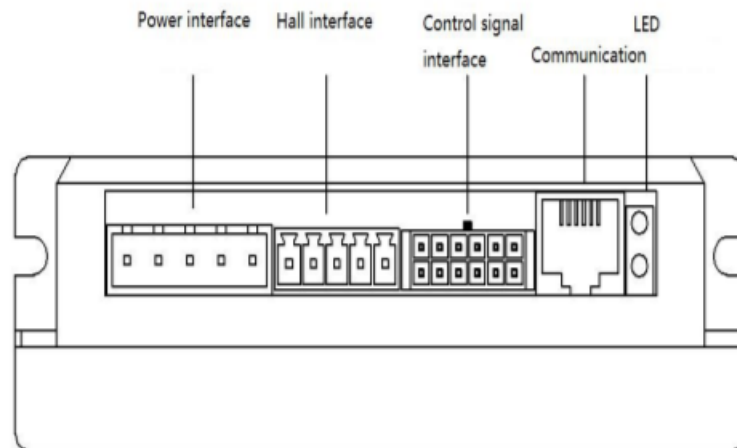


Especificações técnicas do driver dos motores DC:



**1.1 Driver Parameter List**

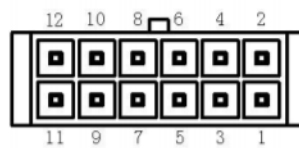
|                     |  |
|---------------------|--|
| Input Voltage       | DC18V-50V  |
| Working Current     | <=10A  |
| Motor Hall Type     | 60deg, 300deg, 120deg, 240deg  |
| Operating mode      | Hall speed closed loop   |
| Speed mode          | 0-5V Analog input,<br>0-100% PWM input (PWM frequency range:<br>1KHz-20KHz)<br>Internal given,<br>Multi-speed 1,<br>Multi-speed 2  |
| Speed range         | 0—6000RPM  |
| Protection          | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Short circuit: Short circuit protection occurs when the abnormal current is greater than 50A</li> <li>● Overcurrent: Overcurrent protection occurs when the current exceeds the operating current setting and continues for a set period of time</li> <li>● Overvoltage: Overvoltage protection occurs when the voltage exceeds 55V.</li> <li>● Undervoltage: Undervoltage protection occurs when the voltage is lower than 18V.</li> <li>● Hall anomaly: Including phase anomaly and value anomaly.</li> </ul> |
| Working environment | Occasions: No corrosive, flammable, explosive and conductive gases, liquids and dust<br>Temperature: -10-55°C (without frost)<br>Humidity: less than 90% RH (non-condensing)<br>Altitude: less than 1000m<br>Vibration: less than 0.5G, 10hz-60hz (discontinuous operation)<br>Protection level: IP21  |
| Cooling method      | Natural air cooling  |
| Dimension           | 120*76*33 mm   |
| Weight              | 250g   |

**2 interface definition and connection diagram**

## 2.1 Control signal input and output

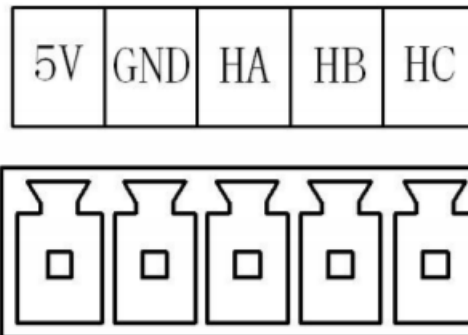
### 2.1.1 Pin List

|    |     |    |    |    |     |
|----|-----|----|----|----|-----|
| BK | GND | SV | 5V | PG | ALM |
| 12 | 10  | 8  | 6  | 4  | 2   |
| 11 | 9   | 7  | 5  | 3  | 1   |
| EN | FR  | X1 | X2 | X3 | GND |

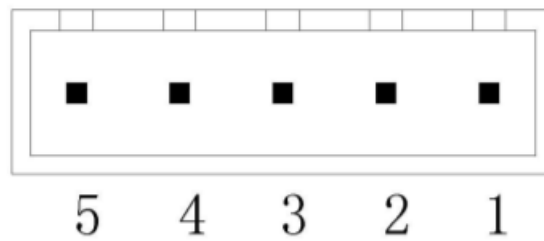


| Pin | Name | Introduction   |
|-----|------|--|
| 1   | GND  | Ground   |
| 2   | ALM  | Alarm  |
| 3   | X1   | multi-speed input 1  |
| 4   | PG   | Hall signal output   |
| 5   | X2   | multi-speed input 2  |
| 6   | 5V   | 5V power output  |
| 7   | X3   | multi-speed input 3  |
| 8   | SV   | Analog signal input  |
| 9   | FR   | Direction  |
| 10  | GND  | Ground   |
| 11  | EN   | ENA signal, active when it is low voltage                                  |
| 12  | BK   | Brake signal, active when it is high voltage, normally connected to ground |

### 2.2 Hall signal input



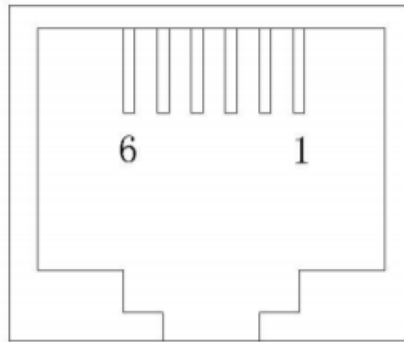
### 2.3 Power Terminals



| Pin | Name | Introduction         |
|-----|------|----------------------|
| 1   | GND  | Ground               |
| 2   | VDC  | Power input DC18-50V |
| 3   | W    | Motor phase W        |
| 4   | V    | Motor phase V        |
| 5   | U    | Motor phase U        |

## 2.4 Communication Interface

The drive is connected to the computer using serial communications. The interface is RS232 level. It must be connected to the computer through a dedicated cable provided by the manufacturer. The physical interface uses an RJ12-6PIN telephone socket. The pinouts are as shown in the figure below. The pin number corresponding names are described in the following table.



| Pin | Name | Introduction |
|-----|------|--------------|
| 1   | NC   | -            |
| 2   | TXD  | MCU txd      |
| 3   | VCC  | 5V power     |
| 4   | RXD  | MCU rev      |
| 5   | GND  | Ground       |
| 6   | NC   | -            |

Desenhos técnicos de alguns componentes:

