

Desenvolvimento de robô móvel de baixo custo para desenho

André Salgado - a43647

Trabalho realizado sob a orientação de
Prof. José Lima, Prof. Paulo Costa
Coorientado por
Prof. Márcio Cunha

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
2023-2024

Desenvolvimento de robô móvel de baixo custo para desenho

Dissertação

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

André Salgado - a43647

2023-2024

A Escola Superior de Tecnologia e Gestão não se responsabiliza pelas opiniões expressas neste relatório.

Declaro que o trabalho descrito neste relatório é da minha autoria e é da minha vontade que o mesmo seja submetido a avaliação.

André Salgado - a43647

Agradecimentos

Agradeço a todas as pessoas e entidades envolvidas pelo seu contributo no processo de conceção e materialização deste projeto.

Resumo

Esta dissertação reflete a realização de um projeto no âmbito da robótica, através do desenvolvimento de um robô móvel autónomo com a capacidade de desenhar uma imagem monocromática pré-definida. Esta é a matriz fulcral para o qual o projeto foi concebido. Durante o decorrer da dissertação, existe uma distinção na robótica móvel no qual o projeto se encontra inserido e a sua condição dentro desta. É introduzido uma integração do impacto da tecnologia, neste caso, na robótica aliada à inteligência artificial. São também abordadas as áreas que proliferam a adjacência envolvente do mesmo, como as áreas STEAM e descreve-se o campo da robótica móvel, onde se apresentam exemplos de diversos tipos de robôs e conceções robóticas existentes. Dentro desta gama, exploram-se os seus detalhes.

São descritas com detalhe as componentes integrantes do sistema criado como produto deste projeto, nomeadamente as suas três grandes componentes, como a eletrónica, a mecânica e a programação. Nestas, é descrito a eventual escolha e as bases de decisões das mesmas, bem como o percurso delineado. Sendo apresentado o protótipo final e o seu desempenho com demonstração de resultados e uma possível aprimoração. Este é um projeto que na sua implementação envolve uma vertente multidisciplinar nas necessidades práticas de execução e concretização do mesmo. Uma característica que poderá ser observada no decorrer do mesmo.

Abstract

This dissertation reflects the realisation of a project in the field of robotics, through the development of an autonomous mobile robot with the ability to draw a predefined monochrome image. This is the core matrix for which the project was conceived. Throughout the dissertation, a distinction is made between the mobile robotics in which the project is inserted and its status within it. An integration of the impact of technology, in this case robotics combined with artificial intelligence, is introduced. The areas that proliferate around it are also addressed, such as STEAM areas, and the field of mobile robotics is described, where examples of different types of robots and existing robotic designs are presented. Within this range, their details are explored.

The integral components of the system created as a product of this project are described in detail, namely its three main components, such as electronic, mechanic and programming. The eventual choice of components and the basis for their decisions are described, as well as the path outlined. The final prototype and its performance are presented, with a demonstration of the results and possible improvements. This is a project that, in its implementation, involves a multidisciplinary approach to the practical needs of its execution and realisation. This is a characteristic that can be observed during the course of the project.

Conteúdo

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 2 | Conceitos Adjacentes | 3 |
| 2.1 | Introdução | 3 |
| 2.2 | Áreas STEAM | 3 |
| 2.3 | A mobilidade na Robótica | 4 |
| 2.3.1 | Locomoção [4]: | 5 |
| 2.3.2 | Perceção [4]: | 11 |
| 2.3.3 | Cognição e sistema de controlo [4]: | 13 |
| 2.3.4 | Navegação [4]: | 13 |
| 2.4 | Conclusão | 18 |
| 3 | Concetualização e implementação | 21 |
| 3.1 | Introdução | 21 |
| 3.2 | Desafio e modelização concetual | 21 |
| 3.3 | Componente eletrónica | 22 |
| 3.3.1 | Placa de desenvolvimento | 22 |
| 3.3.2 | Motor DC com caixa redutora e <i>encoder</i> | 24 |
| 3.3.3 | Placa de controlo do motor ponte H | 26 |
| 3.3.4 | Motor do marcador | 26 |
| 3.4 | Componente mecânica | 28 |
| 3.4.1 | Base do robô | 28 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.4.2 | Roda livre | 30 |
| 3.4.3 | Rodas traseiras | 31 |
| 3.4.4 | Sistema eletromecânico | 32 |
| 3.5 | Programação | 34 |
| 3.5.1 | Extração do padrão a desenhar | 34 |
| 3.5.2 | Funções base | 40 |
| 3.5.3 | Funções genéricas | 40 |
| 3.6 | Circuito | 41 |
| 3.7 | Conclusão | 42 |
| 4 | Protótipo e discussão de resultados | 43 |
| 4.1 | Introdução | 43 |
| 4.2 | Protótipo | 43 |
| 4.3 | Discussão de resultados | 44 |
| 4.4 | Conclusão | 44 |
| 5 | Aperfeiçoamento e conclusão | 49 |
| 5.1 | Introdução | 49 |
| 5.2 | Aprimoração do protótipo | 49 |
| 5.3 | Conclusão | 51 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|--|---|
| 2.1 | Comparação no Acionamento Diferencial [5] | 8 |
| 2.2 | Comparação no tipo Carro [5] | 8 |
| 2.3 | Comparação do Omnidirecional [5] | 9 |
| 2.4 | Comparação no Acionamento Sincronizado [5] | 9 |

Lista de Figuras

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Diferentes tipos de robôs móveis | 6 |
| 2.2 | Roda Mecanum | 7 |
| 2.3 | Robô Humanóide | 10 |
| 2.4 | Robô com Lagartas | 10 |
| 2.5 | Robô com um sistema perna-roda | 11 |
| 3.1 | Placa da keystudio | 23 |
| 3.2 | Microcontrolador ATmega328P | 24 |
| 3.3 | Motor DC com caixa redutora e <i>encoder</i> | 25 |
| 3.4 | Ponte H | 26 |
| 3.5 | Motor do suporte do marcador | 28 |
| 3.6 | Vista inferior da base | 29 |
| 3.7 | Vista superior da base | 29 |
| 3.8 | As rodas apresentadas | 31 |
| 3.9 | Roda traseira do robô | 31 |
| 3.10 | Sistema eletromecânico do marcador | 32 |
| 3.11 | Imagem transcrita da matriz | 35 |
| 3.12 | Descrição do modo do percurso | 36 |
| 3.13 | Composição do algoritmo | 37 |
| 3.14 | Circuito eletrônico | 41 |
| 4.1 | Diferentes ângulos do robô | 46 |
| 4.2 | Noção das linhas | 47 |

| | | |
|-----|-----------------------------|----|
| 4.3 | Desenho executado | 47 |
|-----|-----------------------------|----|

Acrónimos

DOF Degrees Of Freedom. 7

PWM Pulse With Modulation. 22, 25, 26

STEAM Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics. 3, 18

Capítulo 1

Introdução

A conjugação de tecnologias acelera o desenvolvimento científico tecnológico humano, e a agregação da inteligência artificial emerge atualmente uma revolução tecnológica. Os robôs têm tido um papel importante na produção e através deles, houve uma mudança durante a última década. No futuro, os robôs irão assistir as pessoas no envelhecimento, nas tarefas domésticas e executar tarefas repetitivas, trabalhos perigosos, etc.

Este modo de desenvolvimento implica desafios éticos e os robôs irão criar uma transformação económica e cultural. Os robôs nesta conjugação de áreas, tornam-se a materialização do mundo computacional, sendo assim, a sua extensão. A inteligência artificial é normalmente referida como sendo a área que permite às máquinas desempenhar tarefas complexas, como perceção, planeamento, resolução de problemas e realizar decisões, como tal, a robótica e a inteligência artificial são dois campos implicitamente interligados e normalmente implicam-se um ao outro [1].

Neste preceito, a dissertação centra-se numa parte da globalidade da área anteriormente descrita. Como tal, no segundo capítulo irão ser referidos as áreas subjacentes da generalidade implicativa da robótica, nomeadamente caracterizadas por áreas STEAM, também se entra em detalhe na robótica móvel, as suas características e os seus desafios. No terceiro capítulo detalha-se todo o projeto apresentado, são analisadas as suas áreas integrantes e como se conjugam na conceção do projeto. No quarto capítulo, demonstra-se o protótipo do projeto e os resultados e desafios existentes. Por fim, no quinto capítulo, aborda-se uma possível modificação e suscita-se a generalidade dos temas abordados.

Capítulo 2

Conceitos Adjacentes

2.1 Introdução

Neste capítulo irão ser abordados dois temas relacionados com a área global empregue com o projeto aqui retratado. O primeiro tema é sobre as áreas STEAM e o seu impacto no desenvolvimento académico e pessoal. O segundo tema discutido e esmiuçado é sobre os robôs móveis. Os seus diferentes géneros e tipos, o seu ambiente e as estruturas básicas da sua conceção, nomeadamente a locomoção, a perceção, a cognição e o sistema de controlo e a navegação. Dentro de cada uma são exploradas as suas particularidades.

2.2 Áreas STEAM

O termo STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics), de ciência, tecnologia, engenharia, arte e matemática é sugerido como extensão do termo STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics), implementando a letra "A" como referência às disciplinas de artes como forma na sua aprendizagem. O termo associado às artes engloba componentes integrantes de vários domínios, como a arte visual, artesanato, linguística, estudos sociais, música e cultura. Para tal é necessário a integração consensual para a sua implementação.

Alguns estudos salientam a inserção de condições, ambiente e práticas de modo a fornecer criatividade no desenvolvimento cognitivo do estudante. É demonstrado que na promoção e desenvolvimento da criatividade, devem ser adotadas as seguintes abordagens:

- Transferência de competência interdisciplinar;
- Aprendizagem de multiliteracia entre domínios;
- Aprendizagem multidisciplinar em espaços críticos;

- Adoção e inovação da conectividade entre criatividade escolar e profissional, e realçar a aprendizagem criativa dentro e fora do ambiente escolar;
- Educação e desenvolvimento profissional de modo a realçar o conhecimento, criatividade e a aprendizagem interdisciplinar.

Um currículo STEAM impacta o conhecimento e atitude do estudante no âmbito da autenticidade e criação e influencia o sentimento de alcance pessoal.

O desenvolvimento de um pensamento computacional e integrado nas áreas STEAM são questões essenciais, onde os métodos tradicionais devem trabalhar de modo a integrá-los. Os estudantes aprendem a lidar com os problemas neste novo contexto, para tal, é necessário adquirir um pensamento computacional e tal requer alterações no currículo e nas abordagens de aprendizagem [2].

A inserção do elemento artístico na abordagem tradicional (STEM) produz uma experiência de aprendizagem interessante e mais realística pela inserção deste elemento artístico, por tal fomentar a criatividade e a resolução de problemas integradamente com diversas disciplinas. Implícita o conhecimento e entendimento no contexto do mundo real, o desenvolvimento de pensamento interdisciplinar e ajuda na progressão profissional de acordo com as características pessoais do estudante [3].

2.3 A mobilidade na Robótica

Os robôs móveis são uma área que atualmente está em rápido crescimento na investigação científica. Devido à sua conjuntura, podem ajudar os seres humanos em diversas áreas. Têm aplicabilidade em inúmeras aplicações como a vigilância, automação industrial, construção, transporte, medicina, etc. Este tipo de robôs pode movimentar-se autonomamente, ou seja, sem a necessidade de supervisionamento humano. A mobilidade básica do robô consiste nas áreas da locomoção, percepção, cognição e navegação. Os aspetos salientes destas áreas envolventes da componente do robô são:

- Na locomoção os desafios a solucionar são a percepção do mecanismo, cinemática, dinâmica e teoria de controle.

- A percepção envolve análise de sinais e áreas especializadas como visão artificial e tecnologias de sensores.

- A cognição é responsável por analisar os dados recolhidos pelos sensores e acionar os respetivos campos e atuadores do robô. Está no comando do sistema de controle.

- Na navegação requer-se a necessidade de saber planejar algoritmos, teorias da informação e inteligência artificial.

Percebendo a conjugação básica das suas componentes, persistem diversas áreas de uma correta integração de modo ao robô poder operar. Todos estes sistemas devem ser integrados por um sistema de controle que gere o centro de atuação para o qual o robô foi projetado [4].

De modo a correlacionar os aspetos dos componentes que compõe o robô móvel, irão ser abordados em detalhe os aspetos anteriormente mencionados.

2.3.1 Locomoção [4]:

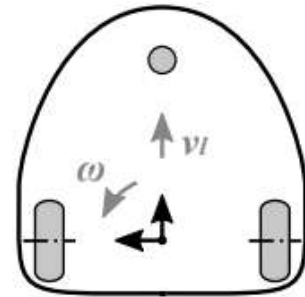
Este é um aspeto importante no desenho de um robô móvel, onde depende do meio onde se movimenta (e.g., Terra, água, ar, etc.) e de outros critérios como manobrabilidade, controle, condição do terreno, eficiência, estabilidade, etc. Dependendo da escolha da sua locomoção os robôs podem ser caracterizados nas seguintes grandes categorias:

- Estacionários - robôs manipuladores ou braços robóticos - Figura 2.1a;
- Terrestres - robôs móveis com rodas, robôs deambulantes, locomoção por deslizamento ou híbridos - Figura 2.1b;
- Aéreos - Drones - Figura 2.1c;
- Aquáticos - Submarino - Figura 2.1d;

- Entre outros [4].



(a) Braço robótico



(b) Robô diferencial



(c) Drone



(d) Submarino

Figura 2.1: Diferentes tipos de robôs móveis

Robôs estacionários: este tipo de robô tem uma base fixa e consiste numa cinética aberta, geralmente um efector final com ferramentas especiais que pode movimentar objetos e executar tarefas como soldadura, pintura, montagem, maquinagem, etc. Pode ver-se um destes exemplos na Figura 2.1a [4].

Robôs terrestres: como descrito em cima, podem definir-se como:

- Robôs móveis com rodas, as rodas são um dos mais importantes meios de locomoção, e uma das áreas de investigação de robôs deste tipo são os veículos autónomos inteligentes (AGV), tendo um papel importante no futuro do transporte, logística e distribuição. As <https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-7720>
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10846-022-01745-7>
<https://invisionstudio.com/top-professionals-drones-that-you-can-buy-right-now/featured-image-top-drones/>
<https://dailycaller.com/2017/03/13/robot-submarine-dubbed-boaty-mcboatface-set-to-go-on-antarctic-mission/>

rodas nestes robôs são de mais fácil controlo, mais baratas, não têm problemas de equilíbrio uma vez que a estrutura do robô está em contacto com a superfície, e são mais fáceis de desenhar, construir e programar para terrenos planos.

A maior desvantagem deste tipo de robôs reside no terreno, e de contornar obstáculos rochosos, superfícies escarpadas e áreas de pouca fricção [4].

Existem quatro tipos básicos de rodas:

- Roda padrão fixa: São rodas convencionais, têm um grau de liberdade (DOF) e uma rotação em torno do ponto de contacto, como se pode ver na Figura 3.8a;
- Roda de rodízio: Roda em torno de uma articulação de direção deslocada e com dois graus de liberdade (DOF), como se pode ver na Figura 3.8b;
- Roda Mecanum: Rodam em torno do eixo da roda motriz, em torno do ponto de contacto e dos rolos, têm três graus de liberdade (DOF), pode-se observar um exemplar na Figura 2.2;
- Roda esférica ou bola: A sua aplicação é tecnicamente complexa, observar Figura 3.8c [4].

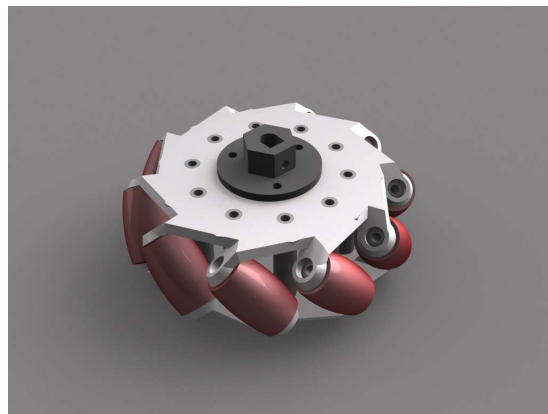


Figura 2.2: Roda Mecanum

É importante ter em conta certas considerações sobre os robôs terrestres, embora não tenham problemas de estabilidade, por normalmente exercerem constantemente pontos

de contacto com o terreno, existe a tração, manobrabilidade e controlo. São suficientes três rodas no robô mas para estruturas com mais rodas, é necessário ter em conta um sistema de suspensão. Este género de robôs pode ser classificado de acordo com [4]:

- Acionamento diferencial;
- Tipo carro;
- Omnidirecional;
- Acionamento sincronizado [4].

Será abordado mais detalhadamente este género de robôs e as suas classificações por se interligarem com este projeto. Podem ser observadas as vantagens e desvantagens de cada sistema nas seguintes Tabelas (Tabela 2.1, Tabela 2.2, Tabela 2.3 e Tabela 2.4).

| Acionamento Diferencial | |
|--|---|
| Vantagens | Desvantagens |
| Contacto contínuo com o solo | Mobilidade reduzida: não é permitida a velocidade transversal |
| Carga útil elevada | Vibração provocada pelas rodas |
| Alta eficiência | - |
| Pouca sensibilidade ao estado do pavimento | - |

Tabela 2.1: Comparação no Acionamento Diferencial [5]

| Tipo Carro | |
|--|---|
| Vantagens | Desvantagens |
| Contacto contínuo com o solo | Mobilidade reduzida: não é permitida a velocidade transversal |
| Carga útil elevada | Os volantes múltiplos estão sujeitos à restrição de Ackerman |
| Alta eficiência | - |
| Pouca sensibilidade ao estado do pavimento | - |

Tabela 2.2: Comparação no tipo Carro [5]

| Omnidirecional | |
|---|---|
| Vantagens | Desvantagens |
| Controlo simples | Contacto descontínuo com o solo |
| Mobilidade omnidirecional com resposta rápida à rotação | Elevada sensibilidade ao estado do pavimento |
| Configuração simples | Elevada incerteza e derrapagem com pequenos erros de controlo |
| Baixo custo | A construção da precisão afeta fortemente os desempenhos |
| Leves | Limitação da carga útil |
| - | Redundância de acionamento |

Tabela 2.3: Comparação do Omnidirecional [5]

| Acionamento Sincronizado | |
|--|----------------------------------|
| Vantagens | Desvantagens |
| Contacto contínuo com o solo | Eixo extra-direcional |
| Carga útil elevada | Restrição não holonómica |
| Alta eficiência | Mobilidade pseudo-omnidirecional |
| Pouca sensibilidade ao estado do pavimento | - |
| Elevada mobilidade | - |

Tabela 2.4: Comparação no Acionamento Sincronizado [5]

Não existe nenhum acionamento perfeito em relação à manobralidade, controlo e estabilidade, cada um tem os seus desafios e restrições. Os robôs omnidirecionais são capazes de encetar qualquer direção, as suas rodas tanto podem ser de rodízio, mecanum ou esféricas [4].

- Robôs deambulantes, este tipo de robôs, embora mais caros, têm uma série de vantagens em relação aos robôs com rodas, principalmente em relação ao terreno, tanto podem andar num terreno plano ou irregular, mas também têm uma melhor mobilidade, melhor eficiência energética, melhor estabilidade e pouco impacto no solo.

Existem diversos robôs com um diferente número de pernas, no qual uma das grandes questões é a estabilidade, que pode ser subdividida em estabilidade estática ou dinâmica. A estabilidade estática é a capacidade de se manter quando sujeito a forças externas de

modo reativo, por outro lado, a estabilidade dinâmica prende-se pela habilidade de se manter quando sujeito a forças externas e de inércia [4]. A Figura 2.3 demonstra um destes exemplos.

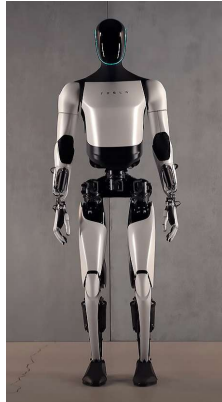


Figura 2.3: Robô Humanóide

- Robôs com lagartas, este tipo de robôs utiliza lagartas no lugar das rodas, estas lagartas têm mais pontos de contacto e são especialmente úteis em terrenos soltos, onde demonstram manobralidade em relação às rodas convencionais. Devido ao aumento do ponto de contacto, ao rodar, existe um deslizamento por parte das lagartas em relação ao terreno o que torna difícil de prever a posição correta e a direção, é também sujeita à variação da fricção do solo [4]. Na Figura 2.4 pode ver-se um exemplar deste tipo.

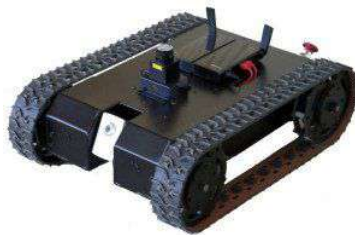


Figura 2.4: Robô com Lagartas

- Os robôs híbridos, são uma gama de misturas das definições anteriores, e podem ser discritos em quatro categorias:

- Sistemas de locomoção híbridos perna-roda;

- Sistemas de locomoção híbridos perna-lagarta;
- Sistemas de locomoção híbridos roda-lagarta;
- Sistemas de locomoção híbridos perna-roda-lagarta [4].

Na Figura 2.5 pode-se ver um exemplo de um sistema de perna-roda.



Figura 2.5: Robô com um sistema perna-roda

- **Robôs aéreos:** neste tipo de robôs, inspirados nas operações aéreas, podem ser controlados ou não por um operador e servem como objeto interativo em diversas áreas, tais como, área militar, na agricultura, vigilância, comercial, recreativa, logística, etc. Na Figura 2.1c demonstra um exemplar deste gênero de robôs.

- **Robôs aquáticos:** são uma ferramenta para explorar a inacessibilidade dos oceanos e águas profundas e são um campo de investigação atual. Num exemplo, se tiverem um braço robótico, podem resgatar objetos como se fossem um ser humano. Na Figura 2.1d exemplifica um robô submarino.

2.3.2 Percepção [4]:

Para um bom desempenho autónomo é vital um robô perceber a sua função e o seu papel, este reconhecimento é adquirido através de sensores. Os sensores tornam possível o desempenho do robô no reconhecimento, da sua posição e a localização das tarefas a

executar. Os mais recentes avanços na área de sensorização está nos sistemas de reconhecimento.

Os sensores podem ser classificados como:

- Propriocetivo-exterocetivo;
- Passivo-ativo.

Onde, a propriocetividade é a capacidade de recolher dados sobre si próprio, como a velocidade do motor, os ângulos das juntas, a tensão, etc., e a exterocetividade proviesse pela capacidade de adquirir informações exteriores, como as distâncias, a intensidade da luz e a amplitude do som. Já nos sensores passivos, as medidas são recolhidas pelo que o sensor recebe, ou adquire, como microfones, sondas de temperatura ou câmaras, por outro lado, os sensores ativos, são componentes que recolhem medições através da emissão de energia no seu ambiente envolvente e onde as mede pela sua reação, contudo podem receber interferência entre o seu próprio sinal e os sinais externos a si.

Como exemplo de sensores neste âmbito temos:

- Sensores tácteis: Estes sensores são concebidos para detetar objetos a uma pequena distância, com ou sem contacto direto, e são utilizados para detetar o contacto físico ou a proximidade;
- Codificadores: Para conhecer a posição e as velocidades das peças do robô;
- Acelerómetros: Para medir a aceleração;
- Giroscópios: Estes são sensores de rotação que medem as velocidades angulares e a orientação;
- Sensores baseados na visão: Estes sensores processam dados de qualquer modalidade e utilizam o espectro eletromagnético para produzir uma imagem;
- Entre outros.

2.3.3 Cognição e sistema de controlo [4]:

Esta é a área do robô que processa a informação recolhida pelos sensores, e mediante a sua predefinição executa através dos atuadores em consonância com a matriz da sua estrutura de execução e planeamento. Os sistema de controlo nesta situação decide o que fazer mediante a informação recolhida, e a cognição é o modelo pelo qual o robô se rege, representando-se em relação ao ambiente e a forma como deverá interagir. Dependendo dos sensores, o processamento difere, por exemplo, a visão computacional e o padrão de reconhecimento servem para localizar objetos, já os algoritmos de mapeamento servem para reconhecer o ambiente envolvente.

2.3.4 Navegação [4]:

A navegação é a parte importante na concetualização do robô, é aqui que de acordo com as outras áreas da perceção, localização, cognição e o controlo de movimentos são no seu conjunto as ferramentas para movimentar o robô de um ponto ao outro, conhecido ou não. Muitas das vezes os robôs não se podem dirigir da posição inicial para a final diretamente, o que implica que devem ser implementadas técnicas de planeamento do movimento. Estas técnicas são classificadas como:

- Gerar um modelo da envolvência sob a forma de um mapa;
- Cálculo de uma trajetória sem colisões a partir de uma posição inicial até uma posição alvo;
- Deslocar-se ao longo da trajetória calculada, evitando a colisão com obstáculos.

Habilidade de navegação, neste processo as técnicas de navegação são a chave, reque-
rendo habilidades adicionais para a sua movimentação. É dado um mapa ao robô e uma
localização de objetivo, através da qual deve numa das partes percorrê-la evitando os obs-
táculos e inicialmente obter a trajetória a percorrer. Este percurso e desvio de obstáculos

são adquiridos mediante os sensores.

Mapeamento e localização, determinam a noção de posição do robô. A localização resolve-se com precisão com um sistema de (GPS - Global Positioning System), no entanto, se por alguma razão este não esteja disponível, este parâmetro deve utilizar a posição relativa em relação à posição final. Para a precisão do robô, é necessário este possuir um mapa do seu trajeto em si, e a posição relativa nesse mapa correspondendo à posição real. Neste sentido, os sensores são imprescindíveis na recolha de informação relativa ao percurso no mapa da sua posição, embora possa haver ruído e distorção nestes, o que condicionará a sua posição no mapeamento do circuito, onde neste preceito, os erros devem ser minimizados. Um trabalho implementado pelo controlo de sistema.

A questão na representação da posição do robô no enquadramento no mapa é a localização, aqui, existem diversas técnicas, contudo, no mundo real, existem os obstáculos estáticos e os dinâmicos, onde os obstáculos dinâmicos acrescem no desafio de representação espacial. O cenário ideal seria a conjugação dos sensores com o mapa de modo a identificar exclusivamente e repetidamente a sua localização.

Posição, saber a posição exata num ambiente dinâmico é um desafio que tem-se tentado solucionar, deste modo, existem certas técnicas e tecnologias como:

- Hodometria;
- Navegação por inércia;
- Bússolas magnéticas;
- Balizas ativas;
- Sistemas de posicionamento global;
- Navegação por pontos de referência;
- Correspondência de modelos.

Mapeamento, o mapa no robô deve ser o mais preciso e intrínseco, e o reconhecimento por parte dos dados recolhidos também o deve ser. E algo que se deve ter em consideração é que quanto mais complexo for o mapa, mais complexo é o seu processamento no mapeamento, localização e navegação.

Existem diversas técnicas de mapeamento, tais como:

- Localização probabilística baseada em mapas;
- Localização baseada na rota;
- Construção autónoma de mapas;
- Ambientes cíclicos;
- Ambientes dinâmicos.

Planeamento do percurso, trajetórias e planeamento dos movimentos, o planeamento do percurso reside na descoberta, mediante o que existe no percurso, e chegar ao objetivo sem colisões.

A trajetória reside na execução do percurso de modo a todo o sistema físico do robô (atuadores) se adequar desde o ponto inicial até ao objetivo, evitando obstáculos. Exige assim, uma evolução temporal.

Os conceitos abordados anteriormente, são parte integrante do planeamento de movimentos. Algumas técnicas e algoritmos aplicados ao planeamento de movimento são expressas em cinco categorias:

- Métodos clássicos;
- Métodos probabilísticos;
- Projeção heurística;
- Algoritmos evolutivos;
- Projeções baseadas em sensores.

Os métodos clássicos, baseiam-se em algoritmos de roteiro, funções potenciais e decomposição celular. Os métodos probabilísticos baseiam-se em roteiros de uma dimensão. A projeção heurística é baseada na pesquisa gráfica, como os algoritmos:

- A*: este algoritmo identifica o percurso mais acessível;
- Pesquisa ambiciosa: procura pelo melhor percurso em cada fase, tentando assim otimizar o percurso final;
- Algoritmo de Dijkstra: encontra o percurso mais curto entre nós num gráfico;
- D*: É identificado o ponto de início e trabalhado reversamente utilizando uma pesquisa ligeiramente modificada por Dijkstra.

Estes métodos encontram o percurso mais rápido, de modo eficiente e ótimo do que os métodos clássicos.

Os algoritmos evolutivos foram desenvolvidos para planeamento do percurso e trajetória e distinguem-se entre:

- Algoritmos genéticos: São algoritmos baseados na seleção natural e na genética, combinam a sobrevivência do mais apto com informação estruturada aleatória;
- Otimização por enxame de partículas: é uma simulação de um sistema social simplificado que tenta simular os movimentos imprevisíveis de um bando de aves;
- Otimização por colónias de formigas: advém de técnicas de inteligência de enxame, e incorpora otimizações metaheurísticas. Tenta obter a melhor trajetória possível segundo os recursos necessários e disponíveis no processo;
- Recalcamento simulado: É uma técnica recente que se baseia numa técnica numérica.

A otimização dos critérios atualmente resumem-se aos seguintes:

- Tempo mínimo necessário, que está relacionado com a produtividade;
- Mínimo de trabalho, que está relacionado com a qualidade do trabalho, a exatidão e a manutenção do equipamento;
- O mínimo de energia consumida ou o mínimo de esforço motor, ambos relacionados economicamente;
- Critérios híbridos, por exemplo, tempo e energia mínimos.

É de relevância ter presente que a minimização da energia é relevante no processo de automatização do fabrico e da robótica.

Planeamento de rastreio, o ideal é que a diferença entre a trajetória planeada e a trajetória real seja zero e está intimamente relacionado com o sistema de controlo. Procura determinar pontos de entrada que precisam de ser avaliados e seguir a trajetória planeada de modo eficiente e de modo a evitar os obstáculos que apareçam pelo percurso.

Desvio de obstáculos, é requerido que não existam colisões entre o robô e o ambiente envolvente, neste campo, é necessário um mapa do meio, um objetivo e a localização atual do robô através de sensores e outros sistemas de localização. Existem dois métodos de algoritmos de modo a evitar colisões:

- Mapeamento: o robô tem conhecimento do local onde se encontra e a sua localização, neste sentido tem a capacidade de evitar colisões através do cálculo das distâncias.

- Sem mapeamento: o robô não tem em si um mapa do local onde se encontra, no sentido de evitar colisões, depende do sistema de sensores de modo a observar o ambiente envolvente. Duas abordagens neste sentido são o histograma do campo vetorial e a janela dinâmica.

Alguns dos métodos conhecidos na abordagem de desvio de obstáculos são:

- Algoritmo de erros: o objetivo é identificar o contorno dos objetos e contorná-los;

- Histograma do campo vetorial: é construída uma dimensão simplificada em torno da posição do robô onde o mapa está constantemente a ser atualizado pelos sensores relativamente à distância entre o robô e os obstáculos;
- Janela dinâmica: o controlo é aplicado em torno da velocidade espacial do robô, esta trajetória é executada através de uma "sequência de arcos circulares", os arcos são definidos utilizando a velocidade do vetor que reflete a velocidade translacional e a velocidade de rotação, ambas representam o espaço a procurar. Este espaço é simplificado de modo a construir uma janela dinâmica, esta janela restringe as velocidades que podem ser atingidas num curto espaço de tempo, dadas as acelerações limitadas do robô;
- Diagrama de proximidade: este método distingue as áreas da localização dos obstáculos, tendo-as separadas;
- Técnicas de velocidade de curvatura: dependendo da densidade dos obstáculos, a velocidade e aceleração do robô é restringida;
- Método de campos potenciais: o ponto final e os potenciais dos obstáculos estão implícitos como campos positivos ou negativos, dependendo destes, o robô ou é atraído ou repellido, como se fossem partículas.

A navegação tem de ter e manter toda uma dinâmica de modo a ser eficiente e precisa e providenciar com a maior exatidão possível ao objetivo destinado ao robô.

2.4 Conclusão

A área no qual este projeto se insere está presente nas áreas STEAM, e surge como uma aplicação prática de diversas abordagens e matérias relacionadas com estas áreas. É determinado pela conclusão de um ciclo educativo de desenvolvimento pessoal e académico e culmina toda a integração de disciplinas interdisciplinares implícitas na conceção e materialização do projeto em si.

Neste preceito, é integrado nesta concepção os diversos tipos de robôs móveis existentes e as suas características. É também analisado as partes que os integram e as suas variantes. A discriminação algoritma analisada determina as diversas ramificações exigentes e existentes na concepção e criação de um robô móvel e vislumbra todo o processo genérico de diversos instrumentos existentes, cada um adequado ao seu domínio, onde se constata a necessidade de diversificação dependendo do meio e dos desafios presentes. Os robôs irão moldar de forma revolucionária o futuro da civilização humana.

Capítulo 3

Concetualização e implementação

3.1 Introdução

Neste capítulo são definidos o conceito adjacente a este projeto, as soluções para os desafios inerentes da sua aplicabilidade e a implementação da composição de cada parte e a sua consecutiva elaboração estrutural.

O capítulo começa com a abordagem ao desafio concetual do projeto, posteriormente o projeto é repartido nas suas três grandes vertentes, as componentes eletrónica, mecânica e programação, é demonstrado o circuito eletrónico do projeto e a conclusão subsistente de todo o capítulo apresentado.

3.2 Desafio e modelização concetual

É pretendido que o robô desenhe um desenho pré-definido pelo requerente, de modo autónomo. Para tal, é necessário um objeto que pinte (neste projeto foi utilizado um marcador por ter um considerável ponto de contacto, de modo a poder ser perfeitamente visível) e uma estrutura móvel, pelo qual o marcador vai ser transportado e acionado consoante a especificação do desenho. Subsequentemente, será necessário uma base no qual o desenho será impresso (e.g., uma folha de papel).

A abordagem para a estrutura móvel foi a de um robô de acionamento diferencial, onde o marcador é colocado entre as rodas traseiras, por este ser o local rotatório central do mecanismo.

No processo de conceção prática do robô, o projeto foi implementado de forma modular, com cada bloco da componente de eletrónica, mecânica e programação tendo sido implementados em conjunto correspondentemente a cada parte, onde depois foram agregados de modo a perfazerem o protótipo.

Optou-se por ter dois sistemas de alimentação devido ao facto de os motores terem um

consumo maior que o microcontrolador. Assim trocar-se-ia esporadicamente a alimentação da placa e mais assiduamente a dos motores, ou seja, haver uma fonte de alimentação individual e independente para ambos os tipos de consumo, potência e sinal. Sendo para a componente de potência utilizado três pilhas AA e para a componente de sinal uma pilha de 9V.

3.3 Componente eletrónica

Nesta secção vão ser abordados os diferentes componentes eletrónicos utilizados neste projeto. O projeto baseia a precisão milimétrica do desenho nas rodas traseiras com uma leitura de posição através de um codificador presente nestas. Um terceiro motor para descer ou deixar subir o marcador. É utilizada uma ponte H como recurso de controlo dos motores traseiros através de *Pulse With Modulation* (PWM) a partir de uma placa de desenvolvimento. Cada componente é descrito nas seguintes subsecções.

3.3.1 Placa de desenvolvimento

Como gestão de fluxo e processamento de dados foi utilizada uma placa da keyestudio UNO R3. Compatível com o Arduino UNO REV3.

O Arduino é uma plataforma eletrónica de código aberto que se tornou uma fonte de trabalho para projetos interativos de *hardware* e *software*. Onde podem ser conectados diversos componentes, tais como, sensores, luzes e ecrãs que podem ser controlados por um código escrito em C [6].

É através deste componente de processamento que o fluxo do programa vai ser gerido, quer na receção de informação (por parte dos sensores), quer na execução de instruções mediante o programa nele inscrito para com os atuadores (motores). Na Figura 3.1 demonstra uma placa da keyestudio.

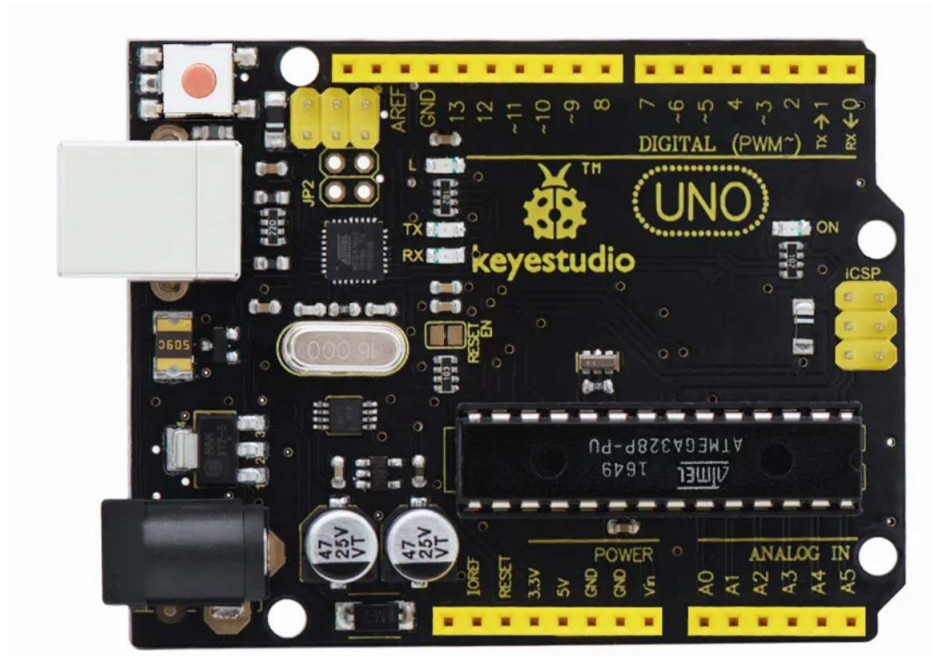


Figura 3.1: Placa da keyestudio

Há um conjunto de detalhes a ter em consideração no processo de gestão do programa em relação ao microcontrolador, uma vez que se vai utilizar uma imagem e é necessário ter em consideração a gestão da memória. O microcontrolador utilizado na placa é o ATmega328P, que tem as seguintes características nas memórias:

- 32Kbytes de memória *flash*;
- 2Kbytes de memória SRAM;
- 1Kbytes de EEPROM [7].

Como se pode constar, a memória *flash* é a melhor opção para armazenar a Imagem, uma vez que a memória SRAM é ideal para dados voláteis e de gestão, ou seja, dados que existam no decorrer do programa mas que se perdem quando o circuito deixa de ser alimentado, o mesmo não acontece na memória *flash*. Algo que se vai abordar na descrição do programa, o facto de se optar que na reprodução da matriz de transformação da Imagem apenas ser de uma dimensão por linha (o vetor), tem também haver com o

facto da limitação e necessidade de gestão da memória SRAM. A Figura 3.2 demonstra o diagrama de blocos do microcontrolador utilizado neste projeto.

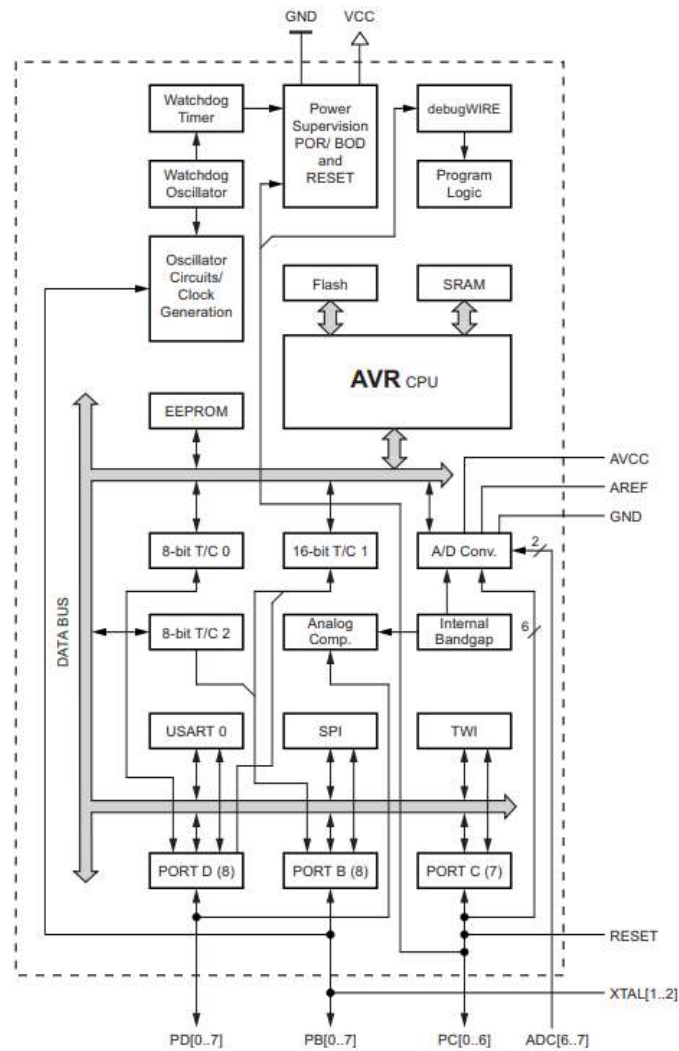


Figura 3.2: Microcontrolador ATmega328P

3.3.2 Motor DC com caixa redutora e *encoder*

Para a leitura da posição da roda, neste caso do motor a ela incorporado, optou-se por dois motores DC com caixa redutora e *encoder* como demonstra a Figura 3.3. Este motor tem uma caixa de engrenagens de 120:1 e contém um codificador de quadratura integrado que fornece uma resolução de 8 impulsos individuais por rotação, obtendo-se uma saída

máxima de 960 contagens por rotação.

Nas especificações do motor contém:

- Tensão de funcionamento do motor: 3~7.5V
- Tensão de funcionamento do codificador: 4.5~7.5V
- Corrente máxima de bloqueio: 2.8A
- Binário nominal: 200gf.cm [8]

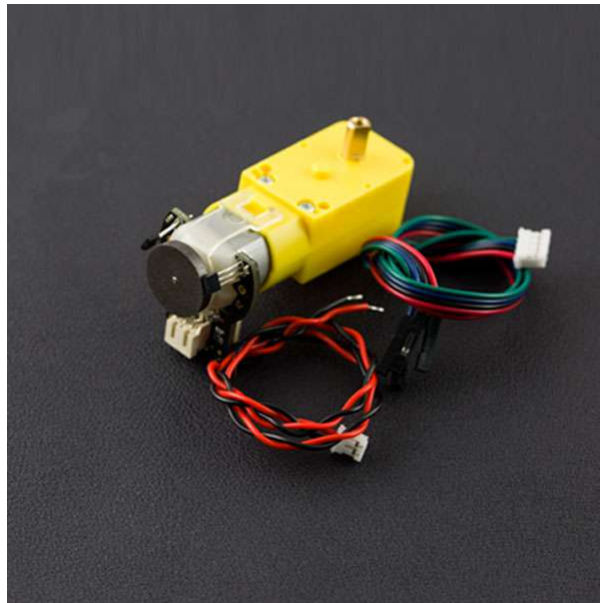


Figura 3.3: Motor DC com caixa redutora e *encoder*

Através destes motores é possível controlar a posição dos ângulos das rodas pelos codificadores e consecutivamente redefinir o percurso global das duas rodas. Para tal, a estipulação utilizada para alimentar o codificador foi de uma tensão de 5V provida pela placa de desenvolvimento, a velocidade é ajustada através de PWM com uma tensão máxima de alimentação dos motores de 4,5V. Uma escolha relacionada pela pretensão de a velocidade ser branda, como tal, ser aproximada à velocidade mínima (3V).

3.3.3 Placa de controlo do motor ponte H

No controlo dos motores com codificador, é utilizada uma ponte H para definir tanto a velocidade como a direção. A velocidade é definida por PWM proveniente da placa de controlo e a direção consoante o estado de "0" ou "PWM" nos pinos da ponte H. A placa de controlo do motor de ponte H utilizada é o controlador de motor L9110, na Figura 3.4 pode constatar-se a placa utilizada.



Figura 3.4: Ponte H

Esta placa trabalha tanto com microcontroladores de 3.3V ou 5V, é conectada à placa de desenvolvimento por um conjunto de pinos e conetada aos motores por dois conjuntos de terminais de parafusos [9].

Tem como principais características:

- Fonte de alimentação: 2.5V~12V
- Corrente contínua de saída por canal: 800mA
- Corrente máxima admissível: 1.5A [9]

3.3.4 Motor do marcador

O mecanismo que compõe o processo de descer e subir o marcador é eletromecânico, neste tópico é abordada a sua componente eletrónica mas para uma melhor perceção do mecanismo, existe uma mola que coloca o suporte do marcador levantado da base do

desenho. Este motor está colocado na parte superior deste suporte, com uma extensão do eixo em forma de "L", onde num movimento de cerca de 45° desce ou sobe. Quando desce, posiciona o marcador comprimido na base de desenho, providenciando que quando existe movimento das rodas, o marcador "pinta". Quando sobe, deixa a mola atuar e levantar o suporte do marcador, que por sua vez, como não está em contacto com a base de desenho, quer o robô ande ou esteja parado, não "pinta". Este motor foi escolhido por ter um sistema de engrenagens que quando deixa de ser alimentado mantém a posição do motor, exercendo a pressão necessária ao marcador sem a necessidade de uma alimentação constante.

A alimentação provém diretamente da placa de desenvolvimento, optou-se por este sistema pela duração temporal ser curta e assim evitar-se demasiada complexidade no circuito. Na Figura 3.5 demonstra o motor utilizado.

Tem como principais características:

- Tensão de alimentação: 2V~6V
- Corrente sem carga: $\leq 30\text{mA}$ [10]



Figura 3.5: Motor do suporte do marcador

3.4 Componente mecânica

Nesta secção vão ser discriminadas a estrutura e o sistema eletromecânico do robô. Esta é a componente que une fisicamente e dá forma ao robô devido à sua junção com a componente eletrónica, é esta componente que comprime estruturalmente todo o conjunto característico do robô. Nas seguintes subsecções serão elaboradas as suas nomenclaturas.

3.4.1 Base do robô

A base do robô é onde todos os componentes eletrónicos e o sistema eletromecânico são integrados. É esta base que, como o nome indica, é a estrutura elementar de agregação de todas as partes do robô. Na Figura 3.6 exemplifica esquematicamente a sua componente visualizada na parte inferior da base e o posicionamento de cada parte integrante.

Como se pode observar, os motores das rodas e a abertura de passagem do marcador estão alinhados entre si, por ser o eixo central de rotação, e encontram-se na parte traseira da base do robô. Na extremidade frontal, encontra-se a abertura para junção da roda livre e perto desta, estão implementados ambas as alimentações do sistema.

Na Figura 3.7 encontra-se exemplificada a componente da base do robô visualizada na parte superior da base e a distribuição de ambas as partes que nela integram.

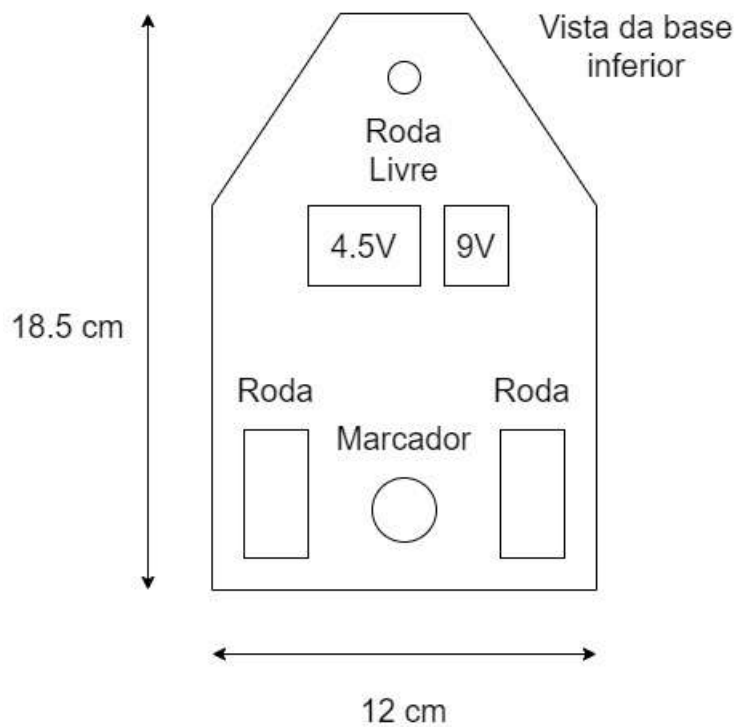


Figura 3.6: Vista inferior da base

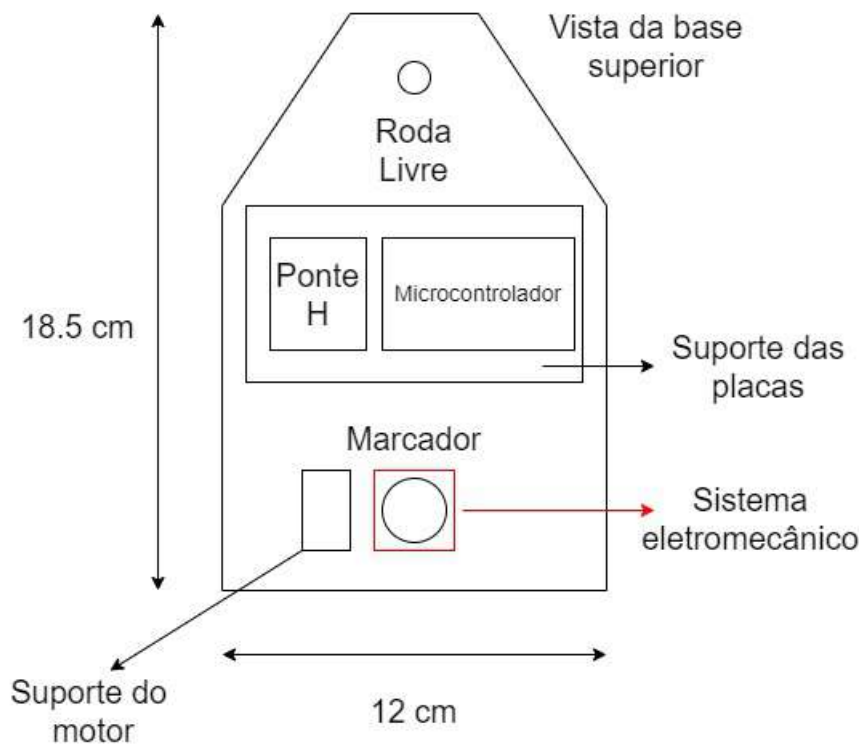
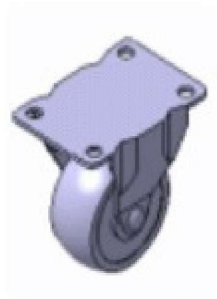


Figura 3.7: Vista superior da base

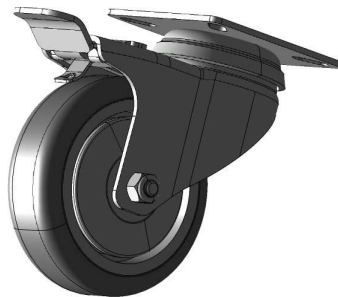
Pode-se observar na parte frontal a abertura para a junção da roda livre, perto desta, está agregada uma segunda base de suporte às placas relativas à ponte H e à placa de desenvolvimento. Na parte traseira, a vermelho, está referido o posicionamento do sistema eletromecânico referente à movimentação do marcador e a base do suporte adjacente do motor do marcador que quando acionado, movimenta ou deixa movimentar o marcador.

3.4.2 Roda livre

O desafio proveniente na escolha da roda a posicionar na parte frontal do robô estende-se pela necessidade de ser necessário um ponto de contacto da base do desenho que seja igual para qualquer direção. Se a roda for estática ou roda padrão fixa como na Figura 3.8a, tem um bom desempenho na movimentação linear, a questão reside no movimento circular que providencia uma situação de arrasto e altera o percurso do robô. Se a roda for de rodízio como na Figura 3.8b, reage bem às movimentações circulares, a questão neste caso é quando muda de um movimento circular para um movimento linear, provoca também uma alteração do percurso. Se a roda for esférica, tem o mesmo ponto de contacto tanto no movimento linear como no movimento circular, e neste caso, já não desvirtua o percurso do desenho do robô. Como tal, tendo presente as características do tipo de rodas mencionadas, a roda optada para o apoio frontal do robô foi a roda esférica, como representado na Figura 3.8c. Em acréscimo, quanto mais deslizante a esfera da roda for melhor, devido ao facto de criar menos atrito e por conseguinte não modificar, por arrasto, o percurso do robô no desenho.



(a) Roda fixa



(b) Roda de rodízio



(c) Roda esférica

Figura 3.8: As rodas apresentadas

3.4.3 Rodas traseiras

As rodas dos motores traseiros são fixas e com um diâmetro de 6.7cm, complementarmente é-lhe agregado uma borracha circular com uma espessura de 5mm. A borracha é essencial devido ao facto de ser necessário uma boa aderência por parte da roda à base do desenho, caso não o fosse, o robô não conseguiria andar devido ao deslizamento. Na Figura 3.9 demonstra uma das rodas utilizadas.



Figura 3.9: Roda traseira do robô

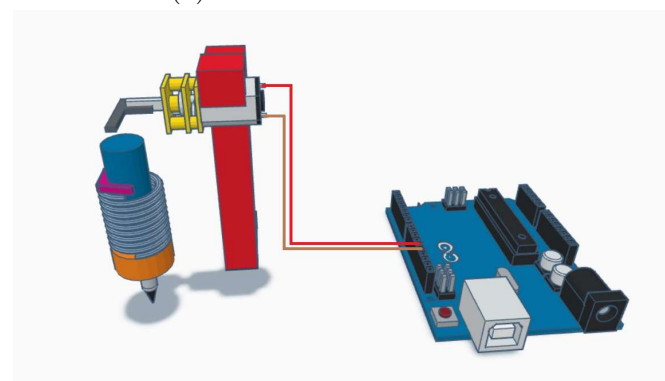
3.4.4 Sistema eletromecânico

O sistema discutido nesta subsecção é a parte do robô que executa, mediante a imagem, através do motor correspondente, o desenho. No processo de concetualização da forma como o acionamento do marcador deveria funcionar, abordaram-se alguns aspetos a ter em consideração. Estes aspetos foram o recurso à menor energia elétrica possível para o mesmo efeito, a permanência do marcador sobre a base do desenho no modo de "pintar", a sua recolha, a estrutura de suporte e a sua leveza.

A Figura 3.10 representa o esboço do processo e a respetiva ligação eletrónica.



(a) Vista frontal do sistema



(b) Ligações elétricas

Figura 3.10: Sistema eletromecânico do marcador

O funcionamento do sistema tem em consideração dois movimentos lineares, o movimento linear descendente impulsionado pelo motor (na figura representado em forma de

"L", a cinzento, designado como eixo do motor) e o movimento linear ascendente impulsionado pela mola (na figura representada a cinzento claro).

A conjugação do sistema eletromecânico do marcador tem duas "estruturas" distintas, a estrutura do marcador e a estrutura do motor. A estrutura do motor (com 8 cm de altura), é ligeiramente superior à estrutura do marcador (com 7,5 cm de altura) desde a base do robô, onde o motor está preso e o eixo em forma de "L" está posicionado horizontalmente quase imediatamente acima do suporte do marcador (a azul na figura).

O princípio da estrutura do marcador prende-se na base cilíndrica (a laranja na figura) desta ter um diâmetro de 20mm e a mola ter sido feita especificamente para este diâmetro. Como o suporte do marcador tem um diâmetro de 16mm e atua entre o interior da base cilíndrica e da mola, obriga a que a mola esteja fixa mediante o diâmetro interno do suporte do marcador, a base cilíndrica e o grampo aplicado na parte superior da mola. O suporte do marcador tem dois golpes laterais para o grampo ficar preso ao mesmo tempo que prende o marcador que tem um diâmetro de 12mm. Assim, a mola está fixa nestas circunstâncias, outra condição para a mola é o facto de toda a estrutura do marcador ser leve (constituída por plástico) e foi concetualizada para o ser, a mola tem por princípio ser fácil e leve de ser comprimida de modo a ser aplicada intrinsecamente pouca pressão por parte do motor, que por consequência implica a aplicação de pouca energia elétrica. O marcador é preso em dois sítios, pelo grampo e pelo topo do seu suporte que tem quatro golpes na sua estrutura cilíndrica e posteriormente vincados internamente para dar compressão e flexibilidade ao marcador.

A operacionalidade deste mecanismo incide na permanência do marcador constantemente elevado da base do desenho, por parte da mola. Quando é necessária a pintura pelo marcador, o motor é acionado de modo a perfazer um ângulo de 45°, comprimindo o marcador à base do desenho. Neste momento, a energia elétrica do motor é bloqueada, o que mantém a compressão do marcador em relação à base do desenho é o sistema de engrenagens que este motor tem e que na ausência de energia elétrica permite manter a posição colocada eletricamente pelo motor no momento da sua atuação.

No momento em que o desenho estipula que o marcador não deve desenhar, o motor é

acionado invertidamente de modo a perfazer 45° no sentido contrário, permitindo a mola exercer pressão na estrutura de suporte do marcador, levantando-o, deixando assim o marcador de estar comprimido na base do desenho.

E no processo de acionamento ou não do motor, a mola comprime ou expande, este movimento, executa o processo de desenho por parte do marcador mediante a imagem pretendida.

3.5 Programação

Nesta secção vão ser abordados os processos implementados de modo a executar a função pretendida mediante toda a estrutura física já agregada. E como com ele se correlaciona de modo a reproduzir o processo pretendido. Nas seguintes subsecções serão abordadas e descritas estas abordagens.

3.5.1 Extração do padrão a desenhar

Neste tópico vão ser abordados os diversos processos de extração do padrão a desenhar de modo a perfazer a composição programática que posteriormente será impressa pelo robô através de um conjunto de funções, a serem descritas noutra subsecção. O processamento começa pela imagem no seu estado binarizado e subsequentemente a sua decomposição.

Imagem

Como se está a trabalhar com apenas um marcador, a imagem a ser extraída e desenhada é monocromática. Como tal, têm-se a cor de fundo da base do desenho e a cor a ser "impressa", neste contraste surge a imagem. Podemos decompor então o processo, para o fundo, pode-se estipular uma não cor, ou seja, o valor "0", e para a cor a ser impressa o valor de "1". Assim, a imagem será uma matriz de "0" e "1", esta matriz se for de dupla dimensão reproduz um desenho, ou quadrado ou retangular. Por haver esta predefinição não inere o facto de se poder executar formas circulares. A primeira abordagem foi, a

matriz ao ser dupla, compete à existência de linhas e colunas, onde nestas, o robô reproduz o desenho mediante a matriz e mediante cada valor de cada posição da coluna referente a imprimir o desenho ou não, ou seja, "1" e "0".

Pode-se observar o descrito anteriormente com o exemplo seguinte:

Se se tiver a matriz Imagem:

$\{\{0,0,1,0,0\},\{0,0,1,0,0\},\{1,1,1,1,1\},\{0,0,1,0,0\},\{0,0,1,0,0\}\}$

A imagem da matriz (muito ampliada) a ser impressa é representada na Figura 3.11:

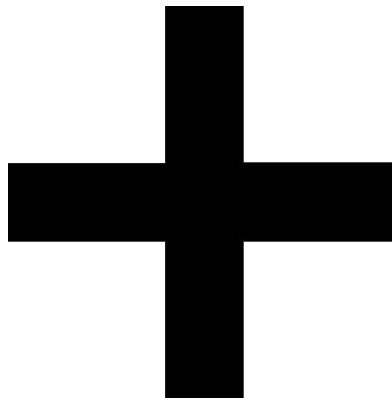


Figura 3.11: Imagem transcrita da matriz

Como se pode constatar, a abordagem adotada foi a de desenhar a imagem por linhas, onde em cada linha é "impressa" ou não, a cor correspondente, entre linhas (algo a ser abordado *à posteriori*) existe um espaço que dependendo da resolução pode ser aumentado ou diminuído, mas quanto menor for este espaçamento, melhor será a aproximação à imagem contínua, ou seja, melhor definição, dando a impressão da não existência de que o processo é executado por linhas.

No desenvolvimento final do processo, a imagem matriz transcrita de um *software* de conversão de uma imagem *BitMap* para uma imagem ou matriz binária para o *Arduino*, é dada numa matriz hexadecimal. Esta matriz, ao ser armazenada na memória *flash* do microcontrolador, é armazenada num vetor unidimensional, neste sentido a abordagem inicial de configuração do programa teve de ser reformulada. Contudo, a matriz do

software discrimina o número de linhas e de colunas, com isto, é possível na matriz unidimensional aceder iterativamente aos valores referentes a cada linha. O que mudou não foi o método de desenho por linhas mas a representação e recolha da matriz, onde, neste caso, em vez de ser uma matriz bidimensional, passa a provir de uma matriz unidimensional.

Valor inicial

Depois de se obter a matriz Imagem, é necessário um conjunto de instruções que processem esta matriz de modo a posicionar o robô mediante os valores iniciais de cada linha da matriz. O modo padrão de execução adotado foi o de executar o desenho da esquerda para a direita, neste sentido, quando o robô termina a primeira linha, está na última posição dessa linha. Por conseguinte, o robô para executar a segunda linha deve rodar 90° , andar (nesta etapa, dependendo da resolução que se queira, como descrito anteriormente) e novamente rodar 90° , observar a Figura 3.12.

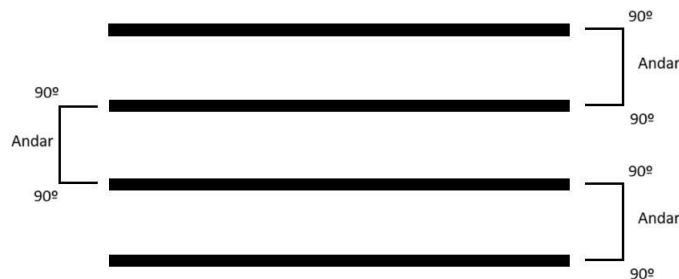


Figura 3.12: Descrição do modo do percurso

Este processo posiciona o robô no início da segunda linha, mas no contexto do desenho presente na matriz, está posicionado na última célula da linha correspondente, assim, deve-se extrair o último valor desta segunda linha para ser a referência de impressão para a segunda linha. Assim, pode compor-se no algoritmo como descrito na Figura 3.13, onde cada ponto representa o valor inicial de cada linha a ser desenhada.

Cada linha no decorrer do processo ou é par ou é ímpar, deste modo, pode-se estipular o percurso, onde se associa a linha par ao valor inicial presente no início da linha correspondente da matriz Imagem e a cada linha ímpar o valor presente na última célula de

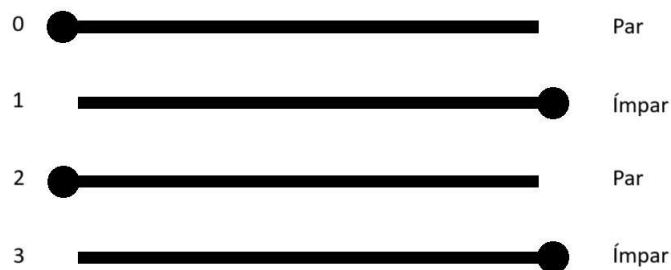


Figura 3.13: Composição do algoritmo

cada linha dessa matriz. Esta informação é colocada numa variável auxiliar e será a base para o início de cada linha do desenho a ser representado.

Redimensionamento da imagem

A questão que se coloca é o facto de se houver vários números iguais seguidos (e.g., 1,1,1,0,0), neste caso, a metodologia abordada é segundo a seguinte reflexão. Hipoteticamente, se para descer e levantar o marcador cada processo demora 2 segundos e por cada ponto ("0" ou "1") demora 2 segundos a executar, através do exemplo apresentado, desenhar individualmente cada "1" demoraria 6 segundos, então a sequência destes demoraria 18 segundos. O problema é a falta de eficiência no que respeita a tempo e energia na execução da matriz Imagem implementada diretamente. Portanto, a solução foi agregar, se para o mesmo exemplo, apenas se executa uma vez o descer e levantar o marcador, o tempo que decorre no contexto da agregação do processo, demoraria 10 segundos. Como se pode constatar, para este exemplo, para o mesmo traço, utiliza-se quase metade do tempo e o traço fica mais contínuo.

Tendo este processo em mente, procede-se à formulação de uma nova matriz, a matriz Reduzida, baseada na linha correspondente da matriz Imagem original, onde todos os valores individuais ou adjacentes são contados e incorporados nesta nova matriz. O resultado é uma matriz com o valor mínimo de 1 e o valor máximo indefinido (devido a cada imagem ter um número de números adjacentes diferente).

Para o exemplo apresentado anteriormente a nova matriz ficaria $\{3,2\}$, mas se fosse a seguinte Imagem $\{1,0,1,0,1\}$, a nova matriz seria $\{1,1,1,1,1\}$.

Contagem das células da matriz

Tendo em vista o tema referido anteriormente, cada linha da nova matriz pode ter uma dimensão diferente, nos exemplos anteriormente apresentados, a matriz $\{3,2\}$ tem uma dimensão de 2 e a matriz $\{1,1,1,1,1\}$ uma dimensão de 5. Devido a isto, para se aplicar um ciclo de modo a interpretar cada linha da nova matriz não se pode ter uma dimensão predefinida. Para tal, no processo da criação da nova matriz, é contabilizado o número no momento em que este processo tem procedimento, esse valor é armazenado numa variável auxiliar que terá como função certificar a dimensão correspondente de cada linha da nova matriz, que será processada no momento da sua leitura da matriz Imagem à transcrição do desenho nela implícito através da nova matriz Reduzida.

A conjugação do processamento

Resumindo todo o processo de extração da imagem, o desenho está presente na matriz Imagem, desta matriz são extraídos os valores correspondentes ao início de cada linha a ser desenhada (primeiros e últimos valores mediante se for par ou ímpar). Estes valores são intrinsecamente importantes pelo facto de a matriz utilizada na reprodução do desenho (a matriz Reduzida) sofrer uma transformação drástica em relação à matriz Imagem. Esta transformação, devido a questões de memória, dá-se pelo recurso à nova matriz apenas a cada linha, ou seja, em vez de haver uma matriz completa com a reformulação correspondente da matriz Imagem, esta reformulação é feita apenas no momento da linha a ser impressa. Se por exemplo, um desenho tem 5 linhas, cada uma delas com 10 colunas, a nova matriz Reduzida, terá uma dimensão de 10, ou seja, é unidimensional. Neste preceito, não existe uma matriz para as cinco linhas, o que acontece é, no momento em que a linha está a provir a partir da imagem original é invertida (pelo facto de numa cor, caso o fundo seja branco e o marcador preto, o "0" na nomenclatura binária da cor, corresponde à cor preta), colocada numa nova matriz Imagem (que corresponde à linha binária a ser lida) e contabilizada na nova matriz Reduzida (também de tamanho correspondente ao da linha da matriz Imagem original). Esta contabilização é armazenada na nova matriz

Reduzida, juntamente, são armazenadas a dimensão desta nova matriz e o valor inicial de cada linha. Este processo é repetido para cada linha, ou seja, a cada linha, as novas matrizes recebem novos valores, e é através destes valores momentâneos que o desenho é impresso. E devido a esta reconfiguração do processo de transcrever a imagem, devido às questões de limitações de memória do microcontrolador, que o robô recolhe, processa e executa o desenho da matriz Imagem original.

Neste processo à algo que se deve ter em conta, o desenho é impresso "pintar" ou "não pintar" intermitentemente, ou seja, se o valor desenhado através da nova matriz for o "1", o próximo valor obrigatoriamente é "0", e este processo tem como base inicial o valor guardado na variável correspondente ao valor inicial de cada linha. As novas matrizes têm uma dimensão igual correspondente ao valor máximo por linha da matriz Imagem original (que mediante os diferentes desenhos pode variar), este valor no processo de execução acaba por ser variável durante o processo da matriz Reduzida devido ao facto de apenas serem acedidos os valores no momento do desenho mediante a dimensão que é recolhida no processo de construção e reconstrução desta matriz, assim, mesmo a matriz por definição ter uma dimensão correspondentemente ao valor da linha da matriz Imagem, os valores acedidos no momento do desenho, apenas são o da dimensão recolhida no processo.

Como exemplo do referido, se na imagem original apresentada na secção da Imagem, a matriz deste exemplo tem uma dimensão de colunas de 5, se se reformular a primeira linha, a matriz Reduzida correspondente a essa linha será $\{2,1,2\}$, mas como a dimensão total predefinida reflete a dimensão do desenho, a nova matriz auxiliar na realidade é $\{2,1,2,0,0\}$, constata-se assim que a dimensão total é de 5 mas a dimensão guardada na variável de controlo deste processo é de 3.

No contexto deste processo de aquisição e reformulação da Imagem, existem então duas matrizes à parte da matriz Imagem original, que efetivamente detém o desenho. Estas matrizes auxiliares detêm apenas a dimensão correspondente a uma linha da matriz Imagem original. A matriz Imagem (auxiliar), recolhe o valor binário diretamente da matriz Imagem original e a matriz Reduzida (auxiliar), guarda os valores contados respetivamente à continuidade adjacente presente na matriz Imagem (auxiliar). O desenho é executado

mediante a matriz Reduzida e o valor da sua dimensão com o auxílio da variável do valor inicial, que determina por qual número ("0" ou "1") esta matriz deve iniciar o processo.

3.5.2 Funções base

Nesta subsecção são abordadas as funções base que executam eletronicamente o resultado obtido através da extração da imagem. É nestas funções que o "contacto" com o *hardware* existe. O robô pode resumir-se às funções básicas de andar, descer e subir o marcador, e rodar 90°. Subsequentemente, existem outras duas funções auxiliares, parar e tempo, importantes temporalmente para a execução destas funções básicas.

As funções de andar e rodar 90° têm como processo de finalização a leitura dos ângulos proveniente dos codificadores dos motores das rodas. As funções descer e subir, mediante as instruções do microcontrolador, é o que determina o descer ou deixar subir (pela mola) o marcador. As funções auxiliares parar e tempo, existem como complemento temporal no processo de interconexão entre os métodos distintos de execução dos motores das rodas e o motor do marcador.

3.5.3 Funções genéricas

Como referido anteriormente, o robô resume-se aos processos de andar, descer e subir o marcador e rodar 90°, onde se pode resumir a três funções que interconectam o código mediante a extração da imagem e as funções base. Estas funções são a função linha, espaço e noventa graus, com estas três funções o robô (mediante as matrizes) desenha o que lhe for instruído.

A função linha é a que agrega as funções de descer e subir o marcador, pois o desenho só é impresso quando se traça a linha, intercalado com as funções parar, andar (o que efetivamente desenha mediante o marcador estar comprimido à base de desenho) e tempo. Esta função é associada ao valor "1" correspondente ao valor da matriz.

A função espaço é a mais simples, apenas tem de mover o robô mediante o valor da matriz, e agrega as funções andar e tempo. Esta função é associada ao valor "0" correspondente

ao valor da matriz.

A função noventa Graus é a que gere toda a parte de mudança de linha, para tal agrega as funções noventa graus (da função base), andar e tempo. Mediante se a linha é par ou ímpar, roda 90° para a direita ou para a esquerda no final desta. Neste caso a função base andar pode definir a resolução entre linhas, sendo o mínimo de 1°.

De notar que os milímetros percorridos pelo marcador são geridos mediante os graus lidos nos codificadores dos motores das rodas.

3.6 Circuito

O robô fisicamente é a agregação de todos os componentes eletrónicos imbuídos na sua estrutura mecânica, aspetos já analisados individualmente. Na Figura 3.14 está representado o esquema de ligação de todos os componentes eletrónicos.

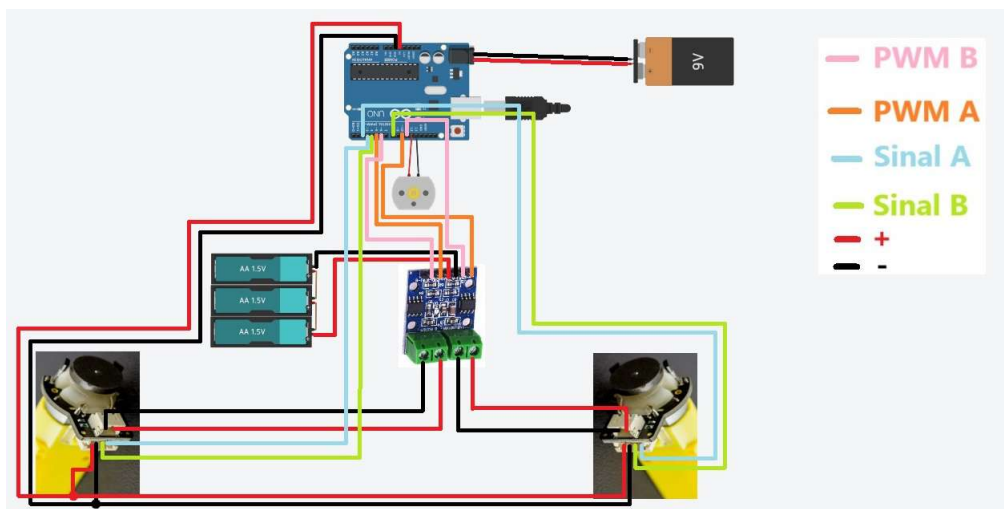


Figura 3.14: Circuito eletrônico

Como se pode observar, a placa de desenvolvimento alimenta os codificadores através da saída de 5V, o motor do marcador pelos pinos da placa, fornece o sinal PWM à placa da ponte H e recebe o sinal proveniente dos codificadores dos motores das rodas. A

placa da ponte H gere os motores das rodas consoante o PWM recebido da placa de <https://www.tinkercad.com/>

https://wiki.dfrobot.com/Micro_DC_Motor_with_Encoder-SJ01_SKU__FIT0450

https://www.electronicclinic.com/19110-motor-driver-with-arduino-code-circuit-diagram/#L9110_Motor_Driver_with_Arduino

desenvolvimento. Na figura tem a descrição de cada conjunto de ligações através da legenda lateral.

3.7 Conclusão

Neste capítulo introduziu-se a concetualização do projeto de modo a repercutir como abordar o mesmo, onde para tal, foram necessárias abranger três áreas, a componente eletrónica, mecânica e a programação. Na componente eletrónica, abordou-se todos os componentes utilizados nesta área e as suas funções, e o seu contributo para a reprodução final dos objetivos a desempenhar no contexto do projeto. Na componente mecânica referiu-se o seu aspeto estrutural, e aprofundou-se a parte física principal no processo do desenho em si, e o seu funcionamento. Na programação detalhou-se a teoria de como o programa atua e como foi delineado e em que medida cada parte de si impacta no processo da projeção do desenho e as duas distintas camadas que o compõem, a extração da Imagem e as funções base que a interligam com a estrutura física do robô.

Por fim, é exemplificado o circuito eletrónico utilizado.

Capítulo 4

Protótipo e discussão de resultados

4.1 Introdução

Neste capítulo serão abordadas as duas concetualizações de materialização do projeto, a componente física que extrai e gere o desenho pretendido e a materialização do mesmo. Também são abordadas as características de cada tópico e os desafios inerentes até ao momento do último, e exemplificadas para cada secção a demonstração das ideias presentes.

4.2 Protótipo

Esta secção compreende na exposição do protótipo do projeto. Poderão ser observadas as características físicas e a agregação dos componentes. Na Figura 4.1a, demonstra a vista traseira do robô, pode-se observar o sistema eletromecânico, os motores e as respectivas rodas, é de notar que na base do robô, entre as rodas, o bloco presente serve de peso para dar firmeza na rotação circular do robô. Na Figura 4.1b, pode-se observar a vista lateral do robô, aqui obtêm-se uma perspectiva geral do protótipo, visualiza-se a roda esférica à frente e todo o sistema de desenho atrás, pode-se também observar o suporte das pilhas AA e em cima o suporte com as placas e as respectivas ligações. No sistema eletromecânico, denota-se a perspectiva do suporte do seu motor e o próprio sistema principal em si. Na Figura 4.1c pode-se observar com maior pormenor o sistema eletromecânico, nomeadamente a base de 20mm, seguida da mola com o mesmo diâmetro e o grampo preso no suporte interior de 16mm, existe um "braço" de fixação do sistema eletromecânico principal por parte da estrutura de suporte do motor e o próprio motor do sistema com o eixo em "L".

4.3 Discussão de resultados

O objetivo como referido é o robô desenhar qualquer desenho que lhe seja incrementado, nesse aspeto, como protótipo final, em vazio, o robô compete com todas as características desejadas, assim, executa o desenho que tem para executar perfeitamente. Contudo, existe uma questão por melhorar, o facto de ao rodar 90° , pode haver pequenas imprecisões físicas reais, ou seja, se ao rodar 90° por alguma razão, roda 91° , na melhor das hipóteses, visto que o desenho é feito às linhas paralelas, basta uma ligeira distorção entre a leitura do ângulo e a velocidade de incrementação dos atuadores, para desvirtuar da retidão paralela das linhas. Pode-se visualizar com mais detalhe na Figura 4.2a. Complementariamente, existe um desvio cometido ao rodar sobre si próprio, num dos lados, o que culmina com um lado com maior amplitude que outro, nomeadamente do lado esquerdo em relação ao lado direito, como se pode ver na Figura 4.2b.

Na Figura 4.3a, demonstra o desenho impresso linha a linha com algum espaçamento na resolução entre linhas e na Figura 4.3b demonstra o contorno sobre as linhas desenhadas do acrónimo do desenho colocado no robô para desenhar.

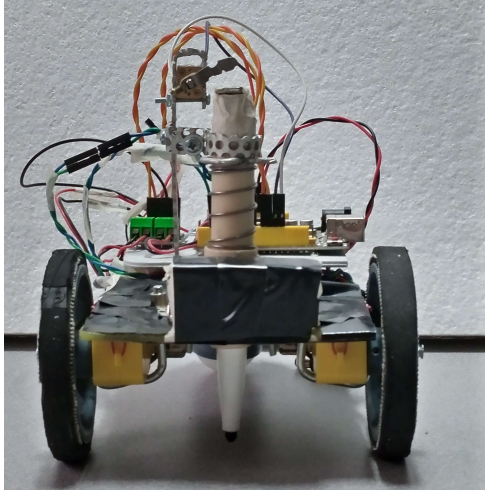
Como se pode constatar, existe uma diferença, como referido, entre o desenho base colocado linha a linha e a sua implementação de modo livre e completo, onde a questão na execução não é na programação no seu modo genérico e funcional mas numa parte específica de interação com os atuadores e a sua intrínseca precisão.

4.4 Conclusão

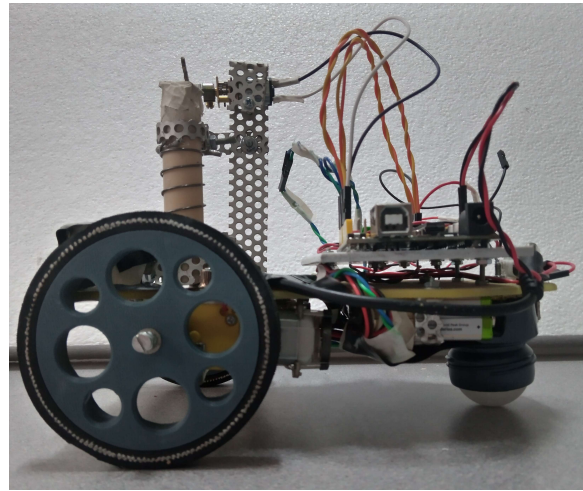
Como produto final é apresentada a materialização do projeto, quer na sua componente física, quer no produto da sua execução. Pode-se visualizar na secção do protótipo a descrição do mesmo em complementariedade com as respetivas imagens e a exposição das suas características.

Como execução do produto final, a materialização da execução do desenho, embora em vazio a execução é coerente com o expectado, existe o desafio físico no que respeita à

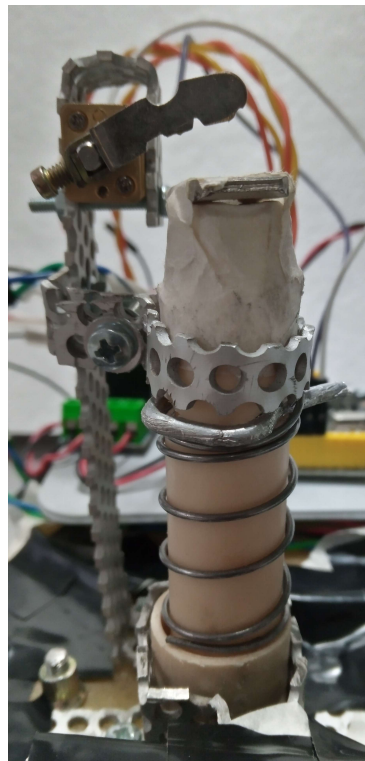
precisão na rotação dos 90° . Observou-se também, que na execução linha a linha, ganha-se percepção do desenho nele inscrito, que, no culminar da resolução da questão da rotação dos 90° , produz esse efeito. A resolução entre linhas, ao resolver-se a questão da rotação, e ao ser implementada uma resolução mínima de entre 1mm a 3 mm de espaçamento entre linhas, o desenho como produto final, adquire melhor resolução, o que para imagens de melhor detalhe, mais nítidas se irão tornar.



(a) Vista Traseira

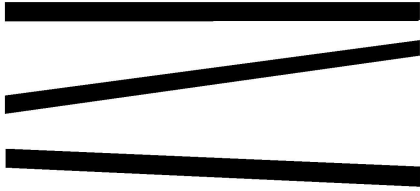


(b) Vista Lateral

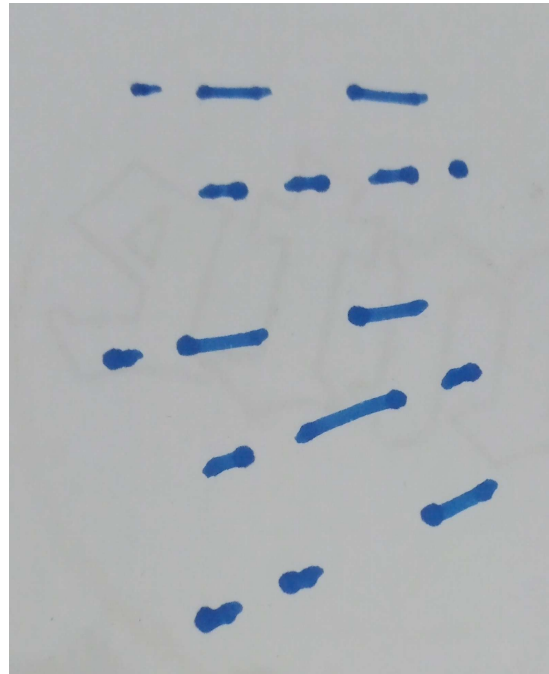


(c) Sistema Eletromecânico

Figura 4.1: Diferentes ângulos do robô

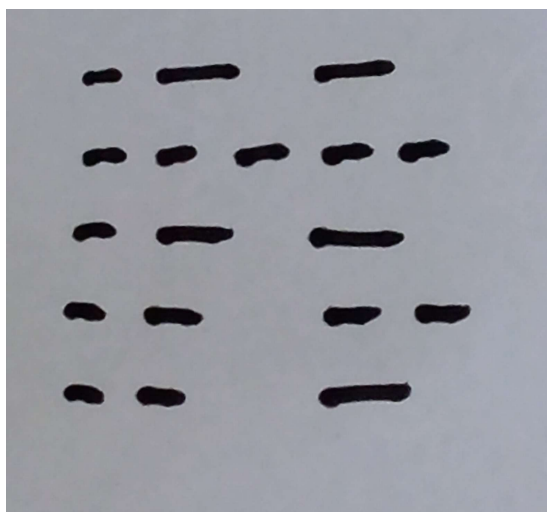


(a) Linhas semi-paralelas

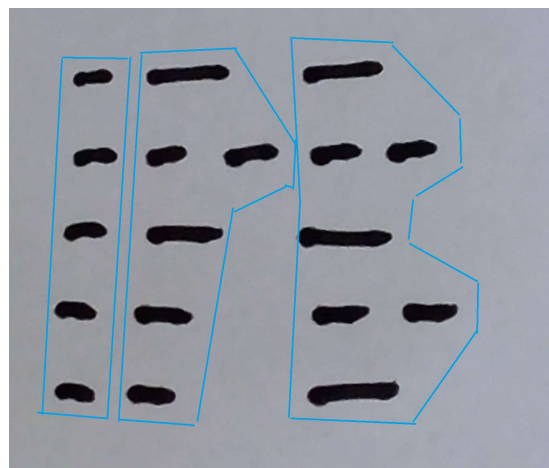


(b) Imagem desenhada

Figura 4.2: Noção das linhas



(a) Desenho linha a linha



(b) Imagem com contorno

Figura 4.3: Desenho executado

Capítulo 5

Aperfeiçoamento e conclusão

5.1 Introdução

Neste capítulo serão abordados os possíveis aperfeiçoamentos do protótipo, com a exposição da ideia presente para essa solução, sendo explorado o seu desenvolvimento e metodologia.

Será colmatado com a resolução da ideia presente neste relatório e a sua correlação no âmbito do que é perspectivado na área e o que foi produzido.

5.2 Aprimoração do protótipo

O problema no projeto prende-se na exatidão da rotação dos 90°. Convém ter em consideração que o robô, no modo em que opera e para o qual foi concebido, apenas precisa de ter três tipos de modo de andar. Andar em frente (onde efetivamente desenha), rodar 90° para a direita e rodar 90° para a esquerda. Com isto em mente, existe uma forma de mediante um dispositivo eletromecânico de executar estas três formas de andar com precisão. Embora se possa também adotar outras estratégias possivelmente na programação (algo a ser avaliado *à priori*) ou numa rotação mais branda por parte dos motores de modo ao interlúdio entre recolher informação dos codificadores, processar a informação e emitir instruções para os atuadores, de modo a não haver dissonâncias na simetria das linhas paralelas.

Não obstante estas características também a serem necessárias ter em consideração, vai-se abordar uma perspectiva eletromecânica de um mecanismo para a possível aprimoração.

A ideia centra-se na questão dos três métodos de movimentação do robô descritos anteriormente, com isto presente, a proposta reside na utilização de três emissores infravermelhos e três recetores dispostos em "T". Esta conjugação, quando interrompida pelo eixo central no rotor, identifica a posição. A posição é adquirida pelo veio mecânico entre os motores

das rodas traseiras e o rotor central deste dispositivo de posição angular. O veio que une estes três pontos, é o que na rotação diferencial exercida pelos motores roda o rotor mecânico. Uma nota neste processo, o robô começa sempre no estado "a" ou seja, no estado de andar em frente, a primeira rotação é feita para o lado direito, à medida que as rodas giram para esse lado, o rotor central do dispositivo vai rodando, no momento em que chega à posição "b" o sinal é acionado, o que significa que toda a estrutura do robô rodou 90° , neste ponto anda em frente (dependendo da resolução entre linhas que se pretenda), e novamente roda 90° à direita, o que coloca o rotor central na posição "c". Neste ponto, executa a linha ímpar correspondente, quando a termina, é executada a instrução de rodar 90° para a esquerda, este movimento, leva a que o rotor retorne à posição "b" onde, consoante a resolução anda em frente e roda novamente 90° à esquerda, voltando à posição "a" inicial, neste ponto, está no início da linha par que lhe corresponde. Este processo seria executado até à conclusão do desenho. No final do desenho, independentemente da linha em que termina, o rotor central deverá voltar ou permanecer na posição "a" sendo esta posição, como referido, a posição inicial de execução do desenho.

É de salientar que o rotor apenas é movimentado no processo de acionamento dos 90° por parte dos motores das rodas, e a precisão prende-se pelo facto de que como toda a estrutura do robô se movimenta de igual modo na rotação pela ação mecânica do veio entre os motores traseiros e o rotor central, que estariam dispostos fisicamente a 90° uns dos outros, no momento em que é detetado a ausência do estado anterior de uma dada posição e o início de outra, reflete a rotação de 90° requerida de modo equitativo para ambos os lados.

No entanto, esta é uma solução eletromecânica do problema não inere o facto da possibilidade de haver alternativas eletrónicas mais rápidas e eficientes.

5.3 Conclusão

Neste capítulo, abrange-se a agregação dos capítulos precedentes. O primeiro capítulo apresenta uma introdução genérica do decorrer do relatório e os pontos a ser demonstrados. No segundo, aprofunda-se as áreas envolvidas na dinâmica do projeto e o seu enquadramento numa determinada área do desenvolvimento dos robôs móveis, e os seus delineamentos estruturais. Onde nestes, se refina cada parte integrante de cada parte e fase que compõe o desenvolvimento e rumo a dar a cada projeto abordado mediante os requisitos físicos e técnicos do ambiente envolvente e das funções a serem desempenhadas. No terceiro capítulo explana-se cada componente implementado e o seu contributo na construção e execução do projeto mediante o objetivo e função determinada para este executar e proceder. Introduce-se o processo de delineamento do programa desenvolvido e como foi moldado.

No quarto capítulo apresenta-se o aspeto físico do protótipo e os seus resultados, onde, mediante estes, existe um trabalho de aperfeiçoamento a ser procedido, também se implícita as causas desta imperfeição e é no último capítulo que se aborda um método possível a ser empreendido.

Na sua conjugação global, o projeto tem como objetivo desenhar qualquer imagem monocromática, dentro de um determinado limite de tamanho, que lhe seja atribuída. Neste aspeto, toda a dinâmica do robô, desde a sua componente eletrónica, mecânica e de programação, compete nesse sentido. Como referido, no resultado final em vazio, o robô mediante cada imagem, executa-a como requerido pelo objetivo do projeto. Embora na conceção física intrínseca do desenho, tenha o aspeto da perfeição dos ângulos para readaptar, não obstante, é um processo a ter em consideração, como referido, de ser aperfeiçoado.

Bibliografia

- [1] B. Jerbić e M. Švaco, “ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ROBOTICS AS THE DRIVING POWER OF MODERN SOCIETY,” nov. de 2022. URL: <https://doi.org/10.21857/94k14c1d6m>.
- [2] Sutrisno e D. Nuvitalia, “Research Trends on STEAM Education Topics: A Systematic Literature Review,” *The 2nd 2024 International Conference of Education, Sciences, Technology, Engineering, and Mathematics Vol. 2*, jul. de 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/385863877_Research_Trends_on_STEAM_Education_Topics_A_Systematic_Literature_Review.
- [3] I. Irwanto e L. R. Ananda, “A systematic literature review of STEAM education in the last decade,” *AIP Conference Proceedings*, jan. de 2024. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0182945>.
- [4] F. Rubio, F. Valero e C. Llopis-Albert, “A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications,” *Sage Journals*, Abril de 2019. URL: <https://doi.org/10.1177/1729881419839596>.
- [5] L. Tagliavini¹, G. Colucci¹, A. Botta¹, P. Cavallone¹, L. Baglieri¹ e G. Quaglia, “Wheeled Mobile Robots: State of the Art Overview and Kinematic Comparison Among Three Omnidirectional Locomotion Strategies,” *Journal of Intelligent Robotic Systems*, Outubro de 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/s10846-022-01745-7>.
- [6] H. K. Kondaveeti, N. K. Kumaravelu, S. D. Vanambathina, S. E. Mathe e S. Vapangi, “A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications,

challenges, advantages, and limitations,” *Computer Science Review*, Maio de 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.100364>.

- [7] Atmel, *ATmega328P*, Outubro de 2024. URL: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf.
- [8] DFRobot, *FIT0450 Micro DC Motor with Encoder-SJ01*, https://wiki.dfrobot.com/Micro_DC_Motor_with_Encoder-SJ01_SKU__FIT0450, Setembro de 2024.
- [9] Candy, *L9110S 2-Channel Motor driver: Circuit, Pinout, and How to work [VideoFAQ]*, Setembro de 2024. URL: <https://www.utmel.com/components/l9110s-2-channel-motor-driver-circuit-pinout-and-how-to-work-video-faq?id=1988>.
- [10] L. Shenzhen Kinmore Motor CO., *KM-12FN20-100-06120*, Setembro de 2024. URL: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Robotics/KM-12FN20-100-06120.pdf>.