|  |
| --- |
| C:\Users\lbarros.DEI\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\EE-C.PNG |
| Bruno Miguel Vasconcelos da Silva, a88289  Diogo Miguel Cunha Fernandes, a88262  Duarte Miguel Novo Rodrigues, a88259  Francisco Lopes Salgado, a88231  João Pedro Dias Miranda, a88237  José Tomás Lima de Abreu, a88218  **DWR-19**  ***Digital Waiter Robot*** | |
| Projeto integrador  Laboratórios e Práticas Integradas  Trabalho realizado sob a orientação do  **Professor Luís Barros** | |
| 23 junho 2021 | |

**Índice**

[Lista de Figuras 5](#_Toc63921054)

[Lista de Tabelas 7](#_Toc63921055)

[Acrónimos e Siglas 9](#_Toc63921056)

[Capítulo 1 Introdução 11](#_Toc63921057)

[1.1 Introdução 11](#_Toc63921058)

[1.2 Enquadramento 11](#_Toc63921059)

[1.3 Especificações Previstas 12](#_Toc63921060)

[1.4 Planeamento 13](#_Toc63921061)

[Capítulo 2 Desenho dos Circuitos Eletrónicos 15](#_Toc63921062)

[2.1 Introdução 15](#_Toc63921063)

[2.2 Condicionamento de Sinal 17](#_Toc63921064)

[2.3 Circuito de Controlo da Velocidade dos Motores 20](#_Toc63921065)

[2.4 Circuito de Atuação dos Sinais PWM 22](#_Toc63921066)

[2.5 Máquina de Estados 24](#_Toc63921067)

[2.6 Circuito de Alimentação 30](#_Toc63921068)

[Capítulo 3 Simulação dos Circuitos Eletrónicos 33](#_Toc63921069)

[3.1 Introdução 33](#_Toc63921070)

[3.2 Condicionamento de Sinal 33](#_Toc63921071)

[3.3 Circuito de Controlo da Velocidade dos Motores 34](#_Toc63921072)

[3.4 Circuito de Atuação dos Sinais PWM 38](#_Toc63921073)

[3.5 Máquina de Estados 39](#_Toc63921074)

[Capítulo 4 Implementação dos Circuitos Eletrónicos 43](#_Toc63921075)

[4.1 Introdução 43](#_Toc63921076)

[4.2 Circuito de Condicionamento de Sinal dos Sensores e Conversor 12 V – 5 V 43](#_Toc63921077)

[4.3 Circuito Controlo da Velocidade dos Motores e Atuação dos Sinais PWM 45](#_Toc63921078)

[4.4 Circuito de Condicionamento do Botão e Máquina de Estados 46](#_Toc63921079)

[Capítulo 5 Lista de Componentes 49](#_Toc63921080)

[Capítulo 6 Circuito Mecânico Implementado 53](#_Toc63921081)

[Capítulo 7 Resultados Experimentais 57](#_Toc63921082)

[Capítulo 8 Análise do Produto 59](#_Toc63921083)

[8.1 Introdução 59](#_Toc63921084)

[8.2 Fiabilidade 59](#_Toc63921085)

[8.3 Segurança 61](#_Toc63921086)

[8.4 Certificação 62](#_Toc63921087)

[Capítulo 9 Conclusões 65](#_Toc63921088)

[9.1 Conclusão 65](#_Toc63921089)

[9.2 Sugestões de Trabalho Futuro 66](#_Toc63921090)

[9.2.1 Possíveis Opções Alternativas para o Desenho dos Circuitos 67](#_Toc63921091)

[9.2.2 Evolução do Atual Desenho para um Sistema Baseado em Microcomputador 68](#_Toc63921092)

[Referências 69](#_Toc63921093)

Lista de Figuras

[Figura 1.1 - Linha perpendicular de fim de percurso. 12](#_Toc63920904)

[Figura 1.2 - Diagrama de Gantt do planeamento inicial. 13](#_Toc63920905)

[Figura 1.3 - Diagrama de Gantt do planeamento revisto. 13](#_Toc63920906)

[Figura 2.1 - *Array* de sensores QTR-8A. 15](#_Toc63920907)

[Figura 2.2 - Diagrama de blocos do sistema. 16](#_Toc63920908)

[Figura 2.3 - Módulo Driver L298N. 16](#_Toc63920909)

[Figura 2.4 - Esquemático do circuito de condicionamento dos sensores a serem usados como componentes analógicos. 17](#_Toc63920910)

[Figura 2.5 - Esquemático do circuito de condicionamento dos sensores a serem usados como componentes digitais. 18](#_Toc63920911)

[Figura 2.6 - Relação entre a tensão de saída e a tensão de entrada de um comparador de nível não inversor com histerese. 19](#_Toc63920912)

[Figura 2.7 - Circuito de *debounce* do botão de pressão (a) Botão não premido; (b) Botão premido. 19](#_Toc63920913)

[Figura 2.8 - Esquemático do circuito de controlo da velocidade dos motores. 20](#_Toc63920914)

[Figura 2.9 - *Pinout* do TL494. 22](#_Toc63920915)

[Figura 2.10 - Esquemático do circuito de atuação dos sinais PWM. 22](#_Toc63920916)

[Figura 2.11 - Máquina de Moore. 24](#_Toc63920917)

[Figura 2.12 - Diagrama da máquina de estados. 25](#_Toc63920918)

[Figura 2.13 - Lógica do próximo estado. 27](#_Toc63920919)

[Figura 2.14 - Lógica de saída. 27](#_Toc63920920)

[Figura 2.15 - Desenho da máquina de estados. 28](#_Toc63920921)

[Figura 2.16 - Esquema do *flip-flop* J-K. 28](#_Toc63920922)

[Figura 2.17 - Implementação do Oscilador. 29](#_Toc63920923)

[Figura 2.18 - Circuito RC de *reset* e a sua resposta no tempo. 30](#_Toc63920924)

[Figura 2.19 - Esquema de ligação das baterias e BMS. 31](#_Toc63920925)

[Figura 2.20 - Esquema de ligação do regulador de tensão (LM7805). 31](#_Toc63920926)

[Figura 3.1 - Condicionamento de sinal para os sensores a serem usados analogicamente (a) Entrada 0 V; (b) Entrada 2 V; (c) Entrada 5 V. 33](#_Toc63920927)

[Figura 3.2 - Condicionamento de sinal para os sensores a serem usados digitalmente (a) Entrada 0 V; (b) Entrada 2 V; (c) Entrada 5 V. 34](#_Toc63920928)

[Figura 3.3 - Circuito de controlo da velocidade dos motores, com *S3* e *S6* iguais a 0 V. 35](#_Toc63920929)

[Figura 3.4 - Circuito de controlo da velocidade do motor direito, com *S3* igual a 0 V e *S6* igual a 5 V. 35](#_Toc63920930)

[Figura 3.5 - Circuito de controlo da velocidade do motor esquerdo, com *S3* igual a 0 V e *S6* igual a 5 V. 36](#_Toc63920931)

[Figura 3.6 - Circuito de controlo da velocidade do motor direito, com *S3* igual a 2,5 V e *S6* igual a 0 V. 36](#_Toc63920932)

[Figura 3.7 - Circuito de controlo da velocidade do motor esquerdo, com *S3* igual a 2,5 V e *S6* igual a 0 V. 37](#_Toc63920933)

[Figura 3.8 - Circuito de atuação dos sinais PWM com entrada de 0 V. 38](#_Toc63920934)

[Figura 3.9 - Circuito de atuação dos sinais PWM com entrada de 2,1 V. 38](#_Toc63920935)

[Figura 3.10 - Circuito de atuação dos sinais PWM com entrada de 3,6 V. 39](#_Toc63920936)

[Figura 3.11 - Resposta do Oscilador de 1 kHz. 39](#_Toc63920937)

[Figura 3.12 – Máquina de estados no estado 0 (Parado). 40](#_Toc63920938)

[Figura 3.13 - Máquina de estados no estado 1 (Anda para a frente) – Botão foi pressionado. 40](#_Toc63920939)

[Figura 3.14 - Máquina de estados no estado 2 (Inicia a rotação para a esquerda) – *S1* e *S8* a nível lógico alto. 41](#_Toc63920940)

[Figura 3.15 - Máquina de estados no estado 3 (Continua a rotação) - *S1* e *S8* a nível lógico baixo. 41](#_Toc63920941)

[Figura 3.16 - Máquina de estados no estado 0 (Parado novamente) - *S5* a nível lógico alto. 42](#_Toc63920942)

[Figura 4.1 - Esquemático do conversor 12 V – 5 V. 43](#_Toc63920943)

[Figura 4.2 – Circuito que estabelece a tensão de referência do circuito comparador. 44](#_Toc63920944)

[Figura 4.3 - *Layout* da PCB AWR-19\_SENSOR. 44](#_Toc63920945)

[Figura 4.4 - Representação 3D da PCB AWR-19\_SENSOR. 44](#_Toc63920946)

[Figura 4.5 - *Layout* da PCB AWR-19\_PWM. 45](#_Toc63920947)

[Figura 4.6 - Representação 3D da PCB AWR-19\_PWM. 45](#_Toc63920948)

[Figura 4.7 - Circuito de *debounce.* 46](#_Toc63920949)

[Figura 4.8 - Circuito de *reset.* 46](#_Toc63920950)

[Figura 4.9 - *Layout* da PCB AWR-19\_FSM. 47](#_Toc63920951)

[Figura 4.10 – Representação 3D da PCB AWR-19\_FSM. 47](#_Toc63920952)

[Figura 6.1 - Desenho (à esquerda) e imagem real (à direita) do AWR (a) vista superior; (b) vista inferior; (c) vista lateral direita; (d) vista dianteira; (e) vista traseira. 55](#_Toc63920953)

[Figura 8.1 - Marcação CE. 62](#_Toc63920954)

[Figura 8.2 - Símbolos de perigo: (a) perigoso para o ambiente; (b) corrosivo; (c) comburente; (d) inflamável; (e) explosivo; (f) tóxico; (g) vários perigos; (h) *Eletrostatic Sensitive Device - ESD*. 63](#_Toc63920955)

[Figura 8.3 - Símbolo WEEE. 63](#_Toc63920956)

Lista de Tabelas

[Tabela 2.1 - Sensores e sua utilização. 15](#_Toc63920957)

[Tabela 2.2 - Tabelas de verdade do *driver* L298N (a) Controlo do Motor A; (b) Controlo do Motor B. 17](#_Toc63920958)

[Tabela 2.3 - Tabela completa para determinação da lógica completa da máquina de estados. 26](#_Toc63920959)

[Tabela 2.4 - Atribuição de estados. 27](#_Toc63920960)

[Tabela 2.5 - Tabela de excitação do *flip-flop* JK. 27](#_Toc63920961)

[Tabela 3.1 - Simulações dos circuitos de controlo da velocidade dos motores. 37](#_Toc63920962)

[Tabela 5.1 - Lista de componentes. 49](#_Toc63920963)

[Tabela 7.1 - *Duty cycle* do sinal PWM de saída em função da tensão de entrada. 57](#_Toc63920964)

[Tabela 8.1 - Tempo de vida dos componentes com maior probabilidade de falha, usados no AWR. 60](#_Toc63920965)

[Tabela 9.1 - Número de horas despendidas por elemento 66](#_Toc63920966)

Acrónimos e Siglas

|  |  |
| --- | --- |
| **Acrónimo/Sigla** | **Significado** |
| DWR | *Digital Waiter Robot*  Robô Empregado de Mesa Digital |
| LED | *Light Emitting Diode*  Díodo Emissor de Luz |
| PWM | *Pulse Width Modulation*  Modulação de Largura de Pulso |
| BMS | *Battery Management System*  Sistema de Manutenção das Baterias |
| FW | *Forward*  Para a Frente |
| BW | *Backwards*  Para Trás |
| FWR | *Forward Right*  Motor Direito para a Frente |
| FWL | *Forward Left*  Motor Esquerdo para a Frente |
|  |  |
| BWR | *Backwards Right*  Motor Direito para Trás |
| BWL | *Backwards Left*  Motor Esquerdo para Trás |
| ESD | *Electrostatic-Sensitive Device*  Equipamento Sensível à Eletricidade Estática |
| PCB | *Printed Circuit Board*  Placa de Circuito Impresso |
| IC | *Integrated Circuit*  Circuito Integrado |
| AmpOp | AmplificadorOperacional |
| WEEE | *Waste Electrical and Electronic Equipment*  Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos |
| MTBF | *Mean Time Between Failures*  Período Médio Entre Falhas |
|  | Frequência de Oscilação |

# Introdução

## Introdução

Perante o atual panorama pandémico da Covid-19 [1] pretende-se, com a realização do Projeto Integrador da Unidade Curricular de Laboratórios e Práticas Integradas II (LPI II) do curso Mestrado Integrado em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores, a implementação de uma ideia com o objetivo de diminuir os contactos interpessoais que possam surgir no momento da entrega de bens a pessoas hospitalizadas. Esta situação pandémica é uma oportunidade para acelerar a transformação da área saúde.

Tendo em consideração que os hospitais tiveram um aumento considerável do número de internamentos [2], pretende desenvolver-se um produto que permita a entrega e recolha de bens essenciais de forma segura. De forma a facilitar a sua desinfeção e o seu manuseamento, o robô deverá ter superfícies lisas e uma interface simples.

A maioria das ideias nesta área tem como foco principal a saúde pública da população em geral, tais como, robôs de desinfeção [3], robôs que repõem o *stock* em hospitais [4] ou que medem a temperatura corporal através de câmaras [5]. Prevê-se que o *Digital Waiter Robot* (DWR) possa ser aplicado em contexto hospitalar. Na China construiu-se um robô (*little peanut*) [6] com a mesma finalidade, que foi utilizado num hotel para entregar comida porta a porta a hóspedes com suspeita de infeção.

A versatilidade do sistema permitirá que o DWR possa auxiliar na distribuição de bens noutros contextos dependendo das funcionalidades requeridas, como, por exemplo, na indústria hoteleira ou em ambiente doméstico.

## Enquadramento

O DWR é um robô seguidor de linha focado na automatização de um hospital. O DWR estará parado num local apropriado à espera do envio de um pedido e de uma rota por parte da unidade de controlo. Assim que esta conclua a comunicação com o robô, um funcionário responsável deverá colocar no seu suporte os pedidos respetivos. O robô fará chegar cada pedido a cada paciente, parando apenas nos quartos solicitados. Depois de atender a todos os pedidos, o DWR voltará ao local de onde partiu.

Considere-se o exemplo de o DWR ser responsável pela distribuição de bens alimentares. O robô deve ser colocado próximo dos locais de confeção dos alimentos. Assim que a unidade de controlo envie a rota a percorrer e as refeições a distribuir, um dos responsáveis pela secção alimentar deverá colocar estes pedidos na base do robô, dar ordem de início de marcha, e o robô tratará de tudo o resto. O DWR pode assumir outras funções, como por exemplo, na distribuição de medicamentos. A unidade de controlo poderia ser uma base de dados de gestão autónoma que tendo os dados dos quartos ocupados e dos pacientes aí hospitalizados gerisse as suas necessidades, como, por exemplo, qual a medicação prescrita, bem como o horário a que deve ser tomada. Neste projeto, implementou-se uma versão mais simples de forma a ser possível validar o conceito do robô. A unidade de controlo é uma aplicação onde, apenas, se escolhe o quarto onde o pedido deve ser entregue, e as rotas para chegar ao destino estão desde já pré-estabelecidas.

## Especificações Previstas

O DWR seguirá uma linha preta previamente colocada no piso do hospital, que define os locais acessíveis pelo robô. Como os hospitais possuem vários quartos, em vários corredores, o robô terá de ser capaz de percorrer um percurso com várias intercessões de corredores. Assim, o sistema a ser implementado será constituído por dois subsistemas: o robô DWR e a unidade de controlo. Apesar de neste projeto ser usado apenas um robô, a unidade de controlo poderá, eventualmente, controlar vários.

Como a alimentação do robô será a baterias, eventualmente, terá de ser ligado à rede elétrica para ser carregado. Assim, existirá uma estação de carregamento que estará presente num local denominado por base.

O tipo de desenvolvimento deste produto pode ser classificado como “ofensivo”. “O objetivo é colocar no mercado um produto com funcionalidades e características inovadoras ou com preço significativamente mais baixo do que produtos com funcionalidades e características equivalentes, de forma a obter para o produto quota de mercado ou aumento da quota de mercado em relação a produtos antecessores” [7].

### Especificações funcionais

A unidade de controlo é responsável por uma aplicação de interface de gestão de pedidos.

Cada quarto e cruzamento no percurso deverá ter um identificador único e o DWR deve ser capaz de os detetar para que possa seguir a rota previamente estabelecida parando apenas nos quartos previstos. Após o paciente efetuar a recolha dos bens a si destinados, poderá acionar o robô de forma que este reinicie o seguimento da linha. Assim que não existam mais pedidos pendentes, o DWR retorna à base.

Para evitar que o DWR colida, este deve ter um sistema de deteção de obstáculos, que, ao detetar um objeto no seu percurso, faz com que o este pare. Se ao fim de um determinado intervalo de tempo, previamente estabelecido, a via se mantiver obstruída, deve ser emitido um sinal sonoro para alertar as pessoas ao seu redor. Se o problema for resolvido, o DWR continua o seu trajeto. Caso contrário, entrará num estado de erro e envia uma notificação para a aplicação de interface, alertando um funcionário responsável do sucedido

### Especificações técnicas

Para implementação do sistema de controlo do DWR será usado um microcontrolador STM32F767ZI-NUCLEO [8], e o IDE STM32CubeIDE [9], que integra as ferramentas necessárias para a configuração de todos dos periféricos.

Para cumprir o objetivo de seguir de linha, usar-se-á um *array* de oito sensores de reflexão com saídas analógicas. Ao contrário dos sensores digitais que apresentam apenas dois níveis nas suas saídas, alto ou baixo, este tipo de sensores possuem uma maior sensibilidade, permitindo que o sistema de seguidor de linha apresente menos oscilações.

A deteção e identificação de intercessões de corredores será feita por meio da tecnologia RFID [11]. O sistema de deteção de obstáculos será composto por um módulo de sensores de distância infravermelhos adequado para calcular com precisão a distância a objetos que possam aparecer na frente do DWR. O sistema de alerta sonoro fará uso de um *buzzer* ativo. A comunicação entre o robô e a unidade de controlo será implementada recorrendo a tecnologia *Bluetooth.*

## Planeamento

Na Figura 1.2, mostra-se o diagrama de Gantt do planeamento inicial elaborado na etapa 0 deste projeto.

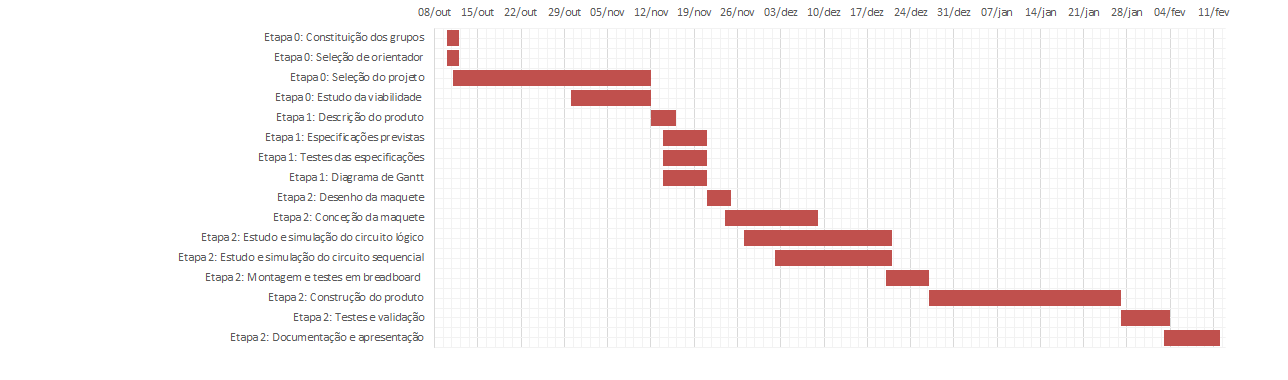


Figura 1.2 - Diagrama de Gantt do planeamento inicial.

Face ao confinamento geral [6], foi necessário reduzir a componente prática do projeto, nomeadamente a realização de ensaios experimentais e validação do produto. Foi feita uma análise mais cuidada do estudo da fiabilidade, segurança e certificação. A Figura 1.3 apresenta o diagrama de Gantt com as alterações efetuadas.

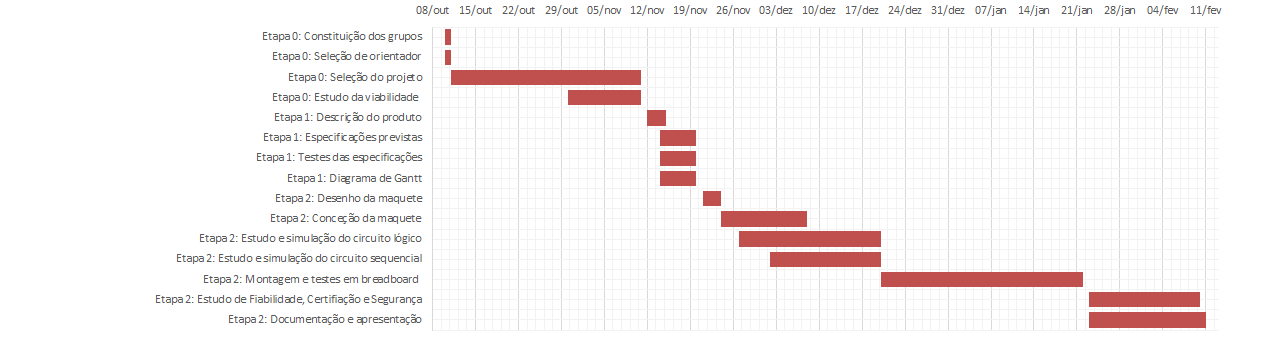


Figura 1.3 - Diagrama de Gantt do planeamento revisto.

# Arquitetura e Módulos Utilizados

## Introdução

## Sensores

### *Array* de Sensores de reflexão

Para o DWR seguir a linha escolheu-se o *array* de sensores QTR-8A, apresentado na Figura 2.1. Este pode ser alimentado com 3,3 V ou 5 V e tem oito sensores analógicos que apresentam na sua saída um valor de tensão compreendido entre 0 V e o valor de alimentação. Sobre uma superfície branca, os sensores medem uma tensão de, aproximadamente, 0 V. Já quando se encontram sobre uma superfície preta, os sensores medem uma tensão de, sensivelmente, 3,3 V. Para as restantes cores, os sensores apresentam tensões entre estas duas gamas. No contexto deste projeto, é indispensável a escolha de um *array* que produza na saída uma tensão máxima de 3,3 V, uma vez que este é o limite que os *analog to digital converters* (ADCs) da STM32F767ZI-NUCLEO.

Uma imagem com texto

Descrição gerada automaticamente

Figura 2.1 - *Array* de sensores QTR-8A.

A Tabela 2.1 apresenta a finalidade dos sensores do QTR-8A nos circuitos do DWR.

Tabela 2.1 - Sensores e sua utilização.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sensor 1** | **Sensor 2** | **Sensor 3** | **Sensor 4** | **Sensor 5** | **Sensor 6** | **Sensor 7** | **Sensor 8** |
| Deteção cruzamento /quarto | - | Seguidor de linha | - | - | Seguidor de linha | - | Deteção cruzamento /quarto |

### Sensor de obstáculos

## Driver

Para controlo dos motores utilizou-se o módulo *driver* apresentado na Figura. Este *driver* possui seis entradas, três para cada motor: os sinais de *ENA* e *ENB* permitem ativar ou desativar os motores, controlando as suas velocidades de rotação. Por sua vez, os sinais de *IN1*, *IN2*, *IN3* e *IN4* definem o modo de rotação de cada motor. Na Tabela 2.2 encontra-se exemplificado o modo de operação do motor em função da combinação lógica dos sinais de entrada.

Uma imagem com texto, eletrónica

Descrição gerada automaticamente

Figura 2.3 - Módulo Driver L298N.

Tabela 2.2 - Tabelas de verdade do *driver* L298N (a) Controlo do Motor A; (b) Controlo do Motor B.

|  |  |
| --- | --- |
| **(a)** | **(b)** |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | ENA | IN1 | IN2 | Motor A | | 0 V | N/A | N/A | OFF | | 5 V | 0 V | 0 V | Trava | | 5 V | 0 V | 5 V | Sentido anti-horário | | 5 V | 5 V | 0 V | Sentido horário | | 5 V | 5 V | 5 V | Trava | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | ENB | IN3 | IN4 | Motor B | | 0 V | N/A | N/A | OFF | | 5 V | 0 V | 0 V | Trava | | 5 V | 0 V | 5 V | Sentido anti-horário | | 5 V | 5 V | 0 V | Sentido horário | | 5 V | 5 V | 5 V | Trava | |

## Módulos

### *Radio Frequency Identification* (RFID)

### Bluetooth

## Microcontrolador e *Shield*

## Circuito de Alimentação

# Implementação em Software

## Introdução

## Periféricos

### *Analog to Digital Converter* (ADC)

### *Direct Memory Acess* (DMA)

### *TIMER*

### *Serial Peripheral Interface* (SPI)

### *Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter* (USART)

## Descrição de *Software* e Módulos Criados

## Simulações

# Lista de Componentes

Na Tabela 5.1, listam-se todos os componentes usados para o DWR, bem como a quantidade e o preço associado. É de realçar que nem todos os componentes foram adquiridos pelo preço indicado. Alguns foram emprestados, oferecidos ou adquiridos em condições mais favoráveis. No entanto, optou-se por especificar o preço de mercado.

Tabela 5.1 - Lista de componentes.

|  | Material | | Loja | Quantidade | Preço unitário | Preço total |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Motor Bot'n Roll ONE 300 rpm |  | Bot'n Roll | 2 | 17,50 € | 35,00 € |
| 2 | Par de rodas Bot'n Roll ONE A (D67 mm) |  | Bot'n Roll | 1 | 11,50 € | 11,50 € |
| 3 | Par de hubs Bot'n Roll ONE A |  | Bot'n Roll | 1 | 4,50 € | 4,50 € |
| 4 | Rodas livres  (D25 mm) |  | Leroy Merlin | 2 | 1,69 € | 3,38 € |
| 5 | QTR-8A |  | Bot'n Roll | 1 | 19,90 € | 19,90 € |
| 6 | Sensor Sharp 2Y0A21YK |  | Bot'n Roll | 1 | 11,95 € | 11,50 € |
| 7 | Módulo RFID RC522 | Uma imagem com texto, eletrónica  Descrição gerada automaticamente | Bot'n Roll | 1 | 4,90 € | 4,90 € |
| 8 | Módulo Bluetooth HC-05 | Uma imagem com eletrónica, circuito  Descrição gerada automaticamente | Bot'n Roll | 1 | 6,80 € | 6,80 € |
| 9 | Módulo *driver* de motores L298N |  | Bot'n Roll | 1 | 12,90 € | 12,90 € |
| 10 | Fonte de alimentação 5 V / 3,3 V | Uma imagem com eletrónica  Descrição gerada automaticamente | Bot'n Roll | 1 | 6,5 € | 6,5 € |
| 11 | Step-Down para UBS 5 V | Uma imagem com eletrónica  Descrição gerada automaticamente | Bot'n Roll | 1 | 9,70€ | 9,70€ |
| 12 | Cabo USB A p/ micro USB B |  | Bot'n Roll | 2 | 1,60 € | 3,20 € |
| 13 | Suporte para uma pilha 18650 c/fios |  | Bot'n Roll | 6 | 0,85 € | 5,10 € |
| 14 | BMS para proteção baterias 18650 3S  12,6 V 20 A |  | Bot'n Roll | 2 | 5,50 € | 11,00 € |
| 15 | Pilha LI-ION 18650 3,7 V 2200 mAh 18X65 mm – 22 A MAX |  | Bot'n Roll | 6 | 3,90 € | 23,40 € |
| 16 | Carregador baterias 18650 | Uma imagem com assobio, adaptador, chave  Descrição gerada automaticamente | Bot'n Roll | 1 | 8,90 € | 8,90 € |
| 17 | Cabo DC com conector reto 9,5 mm | Uma imagem com seta  Descrição gerada automaticamente | Bot'n Roll | 1 | 1,70 € | 1,70 € |
| 18 | Suporte Fusível Auto |  | AlfaElektor | 1 | 1,22 € | 1,22 € |
| 19 | Fusível Auto 3A | Uma imagem com isqueiro, caso  Descrição gerada automaticamente | AlfaElektor | 1 | 0,10 € | 0,10 € |
| 20 | STM32F767ZI | Uma imagem com eletrónica, circuito  Descrição gerada automaticamente | Bot'n Roll | 1 | 30,90 € | 30,90 € |
| 21 | PCB Shield STM32F767ZI | Uma imagem com texto, eletrónica  Descrição gerada automaticamente | Guimo circuito | 1 | 63,96 € | 63,96 € |
| 22 | Conectores Buchanan 284517-4 | 4P TERMIBLOK HDR DIR POL-284517-4 | TE Connectivity | 12 | 1,19 € | 14,26 € |
| 23 | Conectores Buchanan 284507-4 | Uma imagem com brinquedo  Descrição gerada automaticamente | TE Connectivity | 12 | 2,77 € | 33,24 € |
| 24 | Barra (2x8) fêmea 2,54 mm PCB | Uma imagem com texto  Descrição gerada automaticamente | Mauser | 1 | 0,30 € | 0,30 € |
| 25 | Barra (2x10) fêmea 2,54 mm PCB |  | Mauser | 1 | 0,40 € | 0,40 € |
| 26 | Barra (2x16) fêmea 2,54 mm PCB | Uma imagem com música  Descrição gerada automaticamente | Mauser | 1 | 0,62 € | 0,62 € |
| 27 | Barra (2x17) fêmea 2,54 mm PCB | Uma imagem com texto  Descrição gerada automaticamente | Mauser | 1 | 0,69 € | 0,69 € |
| 28 | Barra (2x3) fêmea 2,54 mm PCB | Uma imagem com contentor, caixa  Descrição gerada automaticamente | Mauser | 2 | 0,16 € | 0,32 € |
| 29 | Barra (1x6) fêmea 2,54 mm PCB |  | Mauser | 1 | 0,09 € | 0,09 € |
| 30 | Bloco terminal 12 conetores |  | Gmlux | 1 | 0,40 € | 0,40 € |
| 31 | Condensador poliéster |  | AlfaElektor | 4 | 0,10 € | 0,40 € |
| 32 | Botão de painel 12 mm | Uma imagem com luz  Descrição gerada automaticamente | Bot'n Roll | 1 | 0,60 € | 0,60 € |
| 33 | Interruptor de painel redondo | Uma imagem com eletrónica, preto  Descrição gerada automaticamente | Bot'n Roll | 1 | 1,20 € | 1,20 € |
| 34 | Alumínio 2 mm | Alumínio: Chapa de ALUMÍNIO em fms.pt | **-** | **-** | **-** | 35,00 € |
| 35 | Placa madeira | Placa de contraplacado 2500x1220x10mm - Leroy Merlin Portugal | **-** | 1 | **-** | 5,00 € |
| 36 | Placa de acrílico policarbonato |  | **-** | 1 | - | 10,00 € |
| 37 | Parafuso 4 mm |  | Ferritrofa | 50 | 0,05 € | 2,50 € |
| 38 | Parafuso 3 mm cabeça chata | Uma imagem com utensílios de metal, parafuso  Descrição gerada automaticamente | Ferritrofa | 13 | 0,05 € | 0,65 € |
| 39 | Parafuso 6 mm | Uma imagem com utensílios de metal, parafuso  Descrição gerada automaticamente | Ferritrofa | 6 | 0,05 € | 0,30 € |
| 40 | Parafuso 3 mm auto-roscante | Uma imagem com parafuso, utensílios de metal  Descrição gerada automaticamente | Ferritrofa | 6 | 0,04 € | 0,24 € |
| 41 | Porca com asas 4 mm |  | Ferritrofa | 8 | 0,10 € | 0,80 € |
| 42 | Porca 4 mm |  | Ferritrofa | 32 | 0,05 € | 1,60 € |
| 43 | Porca 3 mm | Uma imagem com projetor  Descrição gerada automaticamente | Ferritrofa | 13 | 0,05 € | 1,15 € |
| 44 | Rebites |  | Ferritrofa | 18 | 0,10 € | 1,80 € |
| 45 | Anilhas | Resultado de imagem para anilha | Ferritrofa | 12 | 0,01 € | 0,12 € |
| 46 | Kit Conectores 2,54 mm | Uma imagem com eletrónica  Descrição gerada automaticamente | Bot'n Roll | *pack* | 10,95 € | 10,95 € |
| 47 | Conjunto condutores flexíveis (1 m) |  | Bot'n Roll | 4 | 1,00 € | 4,00 € |
| Total: | | | | | | 227,85 € |

# Circuito Mecânico Implementado

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **(a)** | |
|  |  |
| **(b)** | |
|  |  |
| **(c)** | |
|  |  |
| **(d)** | |
|  |  |
| **(e)** | |

Figura 6.1 - Desenho (à esquerda) e imagem real (à direita) do DWR (a) vista superior; (b) vista inferior; (c) vista lateral direita; (d) vista dianteira; (e) vista traseira.

# Resultados Experimentais

De forma a testar as especificações acima previstas, foram realizados ensaios experimentais simulando o ambiente no qual o robô irá operar.

Começou-se por testar o sensor e verificou-se que as medidas dos sensores não atingem nem 0 V nem + 5 V.

Em seguida, montou-se o circuito de atuação dos sinais PWM de modo a testar o seu funcionamento. Para isso, variou-se o sinal na entrada de *feedback* do TL494, através do ajuste de um potenciómetro, obtendo-se os valores de *duty cycle* à saída em função da tensão de entrada, como apresentado na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 - *Duty cycle* do sinal PWM de saída em função da tensão de entrada.

|  |  |
| --- | --- |
| Vcomando [V] | *Duty cycle* [%] |
| 1,15 | 0 |
| 1,39 | 10 |
| 1,9 | 30 |
| 2,3 | 50 |
| 2,9 | 70 |
| 3,35 | 90 |
| 3,6 | 97 |

Depois de validado este circuito, ligou-se a saída deste ao *driver* [10] para testar a resposta do motor. Concluiu-se que o motor apenas possui binário de arranque suficiente quando o *duty cycle* do sinal PWM ronda os 50 %. Já com o motor em funcionamento, o *duty cycle* pode atingir um mínimo de 30 % sem que os motores parem. Estes dados foram retirados com os motores em vazio.

# Análise do Produto

## Introdução

Em todos os projetos práticos é necessária uma análise do produto, em áreas como a fiabilidade, segurança e certificação do sistema. Esta análise permite identificar pontos de falha do equipamento e os potenciais perigos a estes associados, de forma a informar o utilizador.

## Fiabilidade

Um sistema ou equipamento diz-se “*fiável quando está livre de erros catastróficos, é capaz de recuperar de erros e apresenta resultados previsíveis (determinismo)*” [15]. Apesar de, neste caso, não ser possível fazer uma avaliação do tipo quantitativa, realizou-se uma avaliação do tipo qualitativa por meio do estudo dos modos de falha e as suas consequências para o sistema e, também, influência do ambiente e do tempo.

Relativamente aos modos de falha, o desenho do sistema deve ter em conta as condições em que o robô se desvia da linha preta. Assim, este deverá ter uma velocidade adequada, uma vez que o sistema pode não responder suficientemente rápido a uma variação. Para diminuir a probabilidade de erros no seguimento da linha, deve ser favorecido o uso de linhas retas em todo o percurso e, quando necessário mudar de direção, devem ser feitas curvas ligeiras. Em acrescento, a grossura da linha deve ser ligeiramente inferior à distância entre os dois sensores usados para seguir a linha (3 cm, aproximadamente).

Do ponto de vista do ambiente que envolve o robô, devem ter-se em conta as condições climatéricas, interações com o utilizador, condições do equipamento e obstrução da via de passagem do robô. O percurso não deverá ser obstruído com objetos, sob pena de danificar tanto o robô como o objeto que o obstrui ou pessoas que se encontrem próximas, visto que o robô não possui um sistema de deteção de obstáculos. Além disso, sendo o robô um equipamento eletrónico, este não deverá estar sujeito a um ambiente húmido, tal como água ou neve, sujidade e temperaturas extremas. As condições anteriores podem provocar um mau funcionamento dos circuitos constituintes do robô, podendo, em situações extremas, danificar permanentemente o equipamento.

Em relação ao tempo de operação, sabe-se que os componentes têm um tempo médio de vida previsto pelos fabricantes. Visto que não existe informação suficiente para calcular o consumo dos circuitos do AWR, torna-se difícil fazer uma previsão do tempo de vida dos seus componentes com exatidão. Num circuito eletrónico, os componentes com maior probabilidade de falha são os condensadores, semicondutores, baterias e motores. Para quantificar o número de horas previstos de funcionamento médio de um componente, existe um parâmetro denominado *Mean Time Between Failures* –MTBF. Os componentes enunciados têm os MTBFs apresentados na Tabela 8.1.

Tabela 8.1 - Tempo de vida dos componentes com maior probabilidade de falha, usados no AWR.

|  |  |
| --- | --- |
| Componente | MTBF |
| Baterias 18650 | 300 – 500 ciclos |
| Semicondutores | 10 anos |
| Condensadores Eletrolíticos | 11,4 anos |
| Condensadores Cerâmicos | 142,69 anos |
| Motores | 1000 a 3000 horas |

Anormalidades nos circuitos poderão diminuir estes tempos consideravelmente, exigindo uma manutenção ou reparação precoce do robô.

Como calculado no subcapítulo 2.6, a autonomia prevista do robô é de uma hora e dez minutos. Caso o robô seja destinado para uso individual, desprezando o consumo dos circuitos durante o tempo de espera, e considerando, por exemplo, dez minutos como tempo de deslocação, o robô terá autonomia suficiente para transportar seis refeições. Assumindo que a cada dia existem quatro refeições (pequeno almoço, almoço, lanche e jantar), a bateria deverá ser recarregada a cada um dia e meio. Assim sendo, as baterias terão um tempo de vida útil compreendido entre um ano e três meses e dois anos e um mês, aproximadamente. Por outro lado, se o AWR for usado num âmbito coletivo, assumindo uma hora de funcionamento por refeição, a bateria deverá ser recarregada quatro vezes por dia. Calcula-se, assim, que as baterias terão de ser substituídas ao fim de dois meses e meio, podendo durar, no máximo, até quatro meses.

Conclui-se que as baterias deverão ser os elementos que requerem maior atenção, pois, além das deficiências acima apresentadas, com o aumento do tempo de utilização, estas descarregam, conduzindo a alterações dos resultados práticos.

## Segurança

A interação do robô com o utilizador deve ser realizada em segurança.

Os sistemas elétricos e fios condutores não devem estar em contacto com a armadura do robô que, sendo metálica, é condutora, evitando curto-circuitos ou choques elétricos que podem ser fatais ao sistema e prejudiciais à saúde do utilizador. Para garantir o isolamento da armadura do robô, usou-se, por questões económicas e para validação de conceitos, uma placa de madeira para suportar todos os circuitos do robô. Os motores e o *array* de sensores, que ficam no exterior da armadura, estão expostos ao utilizador. De forma a isolá-los eletricamente, usou-se fita isoladora envolvendo todos os terminais destes. Portanto, todos os componentes do robô estão encapsulados e isolados do utilizador. Todavia, sabe-se que este equipamento é um dispositivo sensível à eletricidade estática (frequentemente abreviado como ESD – *Eletrostatic-Sensitive Device*), o que significa que possui componentes que podem ser danificados por cargas elétricas estáticas que se acumulam em pessoas, ferramentas e outros materiais não condutores [16]. Se o utilizador violar o encapsulamento do produto, poderá representar perigos para este ou uma avaria no produto (Figura 8.2 (h)).

Deverá ter-se em conta que o robô possui elementos que apresentam perigos para o utilizador. A madeira usada para isolar os circuitos eletrónicos da armadura do robô é considerada um material comburente (Figura 8.2 (c)) e inflamável (Figura 8.2 (d)). Os condensadores eletrolíticos, usados nos circuitos do AWR, são componentes inflamáveis (Figura 8.2 (d)), explosivos (Figura 8.2 (e)), tóxicos (Figura 8.2 (f)) e perigosos para o ambiente (Figura 8.2 (a)). Além dos perigos associados aos condensadores, as baterias podem ser, ainda, elementos corrosivos (Figura 8.2 (b)) e comburentes (Figura 8.2 (c)). Assim, o robô não deverá estar exposto a qualquer condição ambiental extrema, tal como referido no subcapítulo anteriorrelacionado com a fiabilidade.

O percurso não deverá ser bloqueado por objetos, uma vez que o embate do robô poderá provocar situações imprevisíveis, com possibilidade de danificação de bens materiais ou ferimentos pessoais.

Devido aos perigos acima descritos, deve ser vigiado o manuseamento do robô por crianças.

## Certificação

Nenhum produto poderá ser exposto ao comércio antes de ser certificado. A certificação é o modo pelo qual uma entidade competente dá uma garantia escrita de que um produto está em conformidade com os requisitos especificados.

A marcação CE, apresentada na Figura 8.1, é um indicativo de conformidade obrigatória para diversos produtos comercializados no Espaço Económico Europeu. Esta marca indica que um produto respeita a legislação da União Europeia em requisitos como segurança, higiene e proteção ambiental, estando, desta forma, credenciado a circular por todo Espaço Económico Europeu [17].

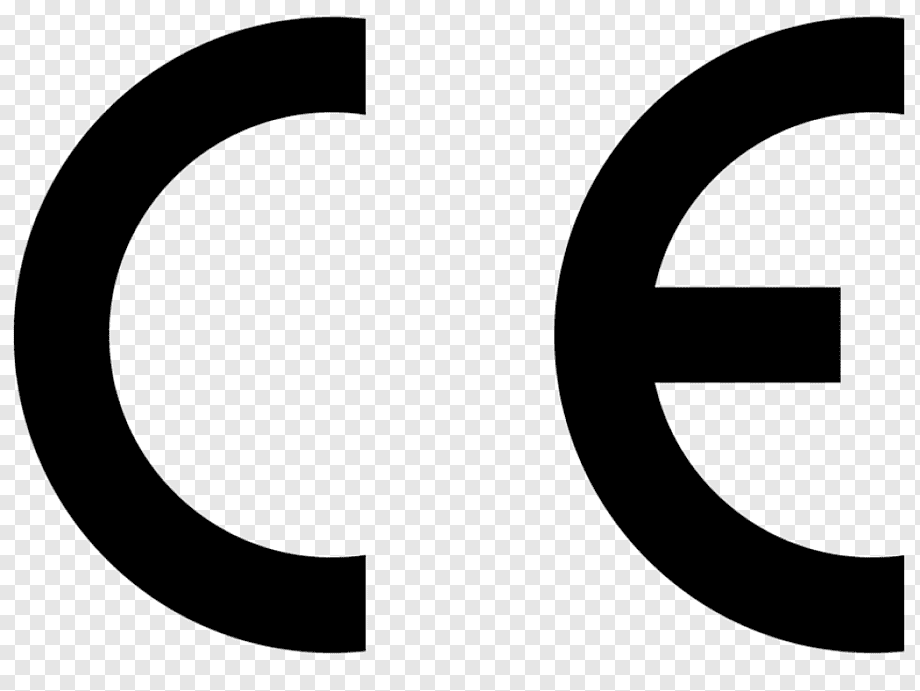


Figura 8.1 - Marcação CE.

De acordo com DIRETIVA 2014/35/UE [18] ANEXO I, que informa os principais elementos dos objetivos de segurança para o material elétrico usado no equipamento, devem ser previstas medidas de ordem técnica a fim de que:

1. As pessoas e os animais domésticos fiquem protegidos de forma adequada contra os riscos de ferimentos ou de outros acidentes resultantes de contactos diretos ou indiretos;
2. Não se produzam temperaturas, descargas ou radiações que possam provocar perigo;
3. As pessoas, os animais domésticos e os bens sejam protegidos de forma adequada contra os riscos de natureza não elétrica provenientes do material elétrico que a experiência venha a revelar;
4. O isolamento seja adequado aos condicionamentos previstos.

Como já foi apresentado, o robô cumpre com os pontos a), b) e d). Uma vez que este projeto serve fins académicos, ou seja, tem o propósito de validar conceitos, não foi implementado um sistema de deteção de obstáculos. Assim, o ponto c) não é cumprido, pelo que o certificado CE não poderá ser atribuído ao AWR.

Devido aos perigos enunciados no subcapítulo anterior, relacionado com a segurança, deverão ser apresentados vários símbolos ao utilizador.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Uma imagem com texto, símbolo, gráficos de vetor  Descrição gerada automaticamente | Uma imagem com texto, símbolo, exterior, volta  Descrição gerada automaticamente |  |  |
| (a) | (b) | (c) | (d) |
| Uma imagem com texto, símbolo, relógio  Descrição gerada automaticamente | Uma imagem com texto, símbolo  Descrição gerada automaticamente |  |  |
| (e) | (f) | (g) | (h) |

Figura 8.2 - Símbolos de perigo: (a) perigoso para o ambiente; (b) corrosivo; (c) comburente; (d) inflamável; (e) explosivo; (f) tóxico; (g) vários perigos; (h) *Eletrostatic Sensitive Device - ESD*.

O robô será constituído por circuitos e componentes eletrónicos que não podem ser enviados para o lixo doméstico. Estes devem ser encaminhados para locais próprios de reciclagem (Figura 8.3).

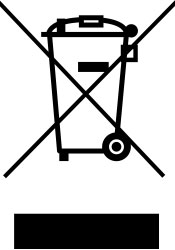


Figura 8.3 - Símbolo WEEE.

# Conclusões

## Conclusão

O projeto integrador da unidade curricular de LPI I pôs à prova algumas competências adquiridas ao longo do curso. Aplicaram-se conhecimentos das unidades curriculares de Sistemas Digitais, Eletrónica I e II, Instrumentação e Sensores, Controlo Automático, Máquinas Elétricas, entre outras. Foi um projeto ímpar comparativamente a projetos já realizados porque envolveu um maior conhecimento de várias áreas e requereu muito trabalho autónomo.

Ao longo do *design* e testes do robô foram encontrados vários problemas, que provocaram alterações na forma como se abordou o desenvolvimento do projeto. Inicialmente usou-se o sensor de linha no centro do robô de forma a facilitar a inversão do sentido de marcha no final do seu trajeto, evitando assim que o robô necessitasse de efetuar uma volta de 180 ° sobre o seu eixo. Assim, os motores teriam de rodar num sentido quando o robô fosse na direção do paciente, e no sentido contrário quando tivesse de voltar ao ponto de partida, simplificando a lógica que controla o estado de funcionamento do robô. Foram implementadas e testadas diversas soluções que não cumpriram o seu propósito, pois, durante a realização de testes, verificou-se que esta abordagem revela problemas mecânicos. Desta forma, o ponto central do robô (posição do sensor) é menos sensível a alterações de direção, aumentando o seu tempo de resposta, impedindo-o de seguir a linha corretamente. Após a alteração da posição do sensor para a dianteira do robô, estes problemas resolveram-se.

Relativamente ao desenho e implementação da máquina de estados, também se encontraram dificuldades. Inicialmente, não houve a preocupação de selecionar integrados da mesma família lógica, para implementar a máquina de estados, o que originou resultados indefinidos. Verificou-se que todos os integrados devem ser da mesma família lógica, ou compatíveis com a lógica TTL, sendo possível obter posteriormente resultados mais próximo dos desejados quanto utilizada a família HCT [10].

Infelizmente, não foi possível aprofundar nem testar todas as funcionalidade previstas para o projeto, devido ao confinamento geral [6]. O planeamento inicial vinha a ser cumprido até que as circunstâncias mudaram e alguns dos objetivos propostos não puderam ser realizados.

Relativamente ao tempo despendido no desenvolvimento do projeto, visto que todo o grupo se juntou para trabalhar em horários definidos, todos os elementos do grupo trabalharam o mesmo número de horas. Após o desenho e conceção que foi desenvolvido em conjunto, o grupo foi dividido em duas equipas de trabalho, sendo que uma se dedicou à implementação do controlo dos motores e outra ao desenvolvimento da máquina de estados que controla o estado de funcionamento do robô. Assim, foram contabilizadas, individualmente, um total de 250 horas, como mostrado na Tabela 9.1.

Tabela 9.1 - Número de horas despendidas por elemento

|  |  |
| --- | --- |
| Nome | Número de Horas |
| Bruno Silva | 250 |
| Diogo Fernandes | 250 |
| Duarte Rodrigues | 250 |
| Francisco Salgado | 250 |
| João Miranda | 250 |
| José Abreu | 250 |

Em suma, este projeto foi desafiante, revelando a sua importância na formação enquanto futuros engenheiros.

## Sugestões de Trabalho Futuro

Durante a realização deste projeto, foram feitas opções que ditaram um rumo. Poder-se-iam ter tomado outras opções que modificariam os resultados obtidos. Este projeto não representa o fim de uma ideia, é, apenas, uma implementação de um conceito. Assim, neste subcapítulo são feitas algumas sugestões de, não só, melhorias à implementação desenvolvida, mas também de novas abordagens para esta ideia.

### Possíveis Opções Alternativas para o Desenho dos Circuitos

Todos os projetos são passíveis de melhorias. Sendo um projeto totalmente analógico, algumas melhorias não terão uma implementação tão simples e barata quando comparadas com uma implementação digital.

Tal como implementado, não existe nenhum mecanismo de deteção caso o robô saia fora da rota. Uma possível melhoria para a resolução deste problema seria usar um ou dois dos sensores centrais do *array* de sensores para deteção da linha. Caso esta não fosse detetada, o robô teria de parar, evitando que este ande indefinidamente.

Outro aspeto a melhorar seria a implementação de um mecanismo de deteção de obstáculos. Caso o robô se encontrasse sobre a linha e um objeto obstruísse a sua passagem, este teria de parar de forma a evitar a colisão e possíveis danos materiais de ambas as partes. Além disso, o robô deveria emitir um som intermitente de forma a alertar o responsável pelo sucedido. Este mecanismo poderia ser implementado através de um sensor de proximidade colocado na dianteira do robô. Sem este sistema, o robô embaterá no objeto, provocando um comportamento indefinido.

Tendo em conta que o objetivo deste robô é minimizar os contactos possivelmente infeciosos com outras pessoas, seria relevante implementar uma interface diferente com o utilizador. Ao invés de fazer uso de um botão de pressão para iniciar a marcha, seriam usadas células de carga que detetam a colocação de um tabuleiro sobre o robô. Assim que o utilizador ou operador colocassem o tabuleiro sobre o robô, após o término de um temporizador, este iria iniciar a marcha, minimizando os contactos com a armadura do robô. Além disso, poderia ser desenvolvido um sistema automático de desinfeção das superfícies do robô, que deveria ser acionado após finalizar o seu percurso (ida e volta).

Como o robô funciona à base de baterias, estas poderiam ser recarregadas numa estação de carregamento. Para isso, poderia ser desenvolvida uma estação de carregamento onde se colocaria o robô, sempre que não estivesse em utilização.

Tal como foi visto, apontaram-se apenas algumas formas de melhorar o trabalho desenvolvido. Possivelmente, existirão outras melhorias a serem aplicadas e que não foram abordadas neste capítulo. No entanto, algumas seriam descartadas por não justificarem o trabalho, terem uma execução complexa para o efeito ou não serem economicamente viáveis.

### Evolução do Atual Desenho para um Sistema Baseado em Microcomputador

O atual desenho do robô poderia ser implementado num sistema baseado em microcomputador, tal como será visto na unidade curricular de Laboratórios e Práticas Integradas II (LPI II).

Como o propósito do robô é fazer chegar bens a alguém que se encontre numa situação de isolamento, o seu aspeto físico seria idêntico ao implementado.

Através do uso de um microcomputador, existirão múltiplas possibilidades de implementação. Uma delas seria o uso do controlo remoto, através do qual uma pessoa responsável controlaria o percurso do robô até ao local pretendido. Teria de ser adicionada uma câmara ao robô, sendo a imagem transmitida para o comando, ou algum dispositivo eletrónico com ecrã, que o utilizador estivesse a utilizar. Este sistema poderia ser implementado através da tecnologia *Bluetooth*, em que o robô seria controlado por um *smartphone*. Outra possibilidade seria a criação de rotas pré-definidas para o robô seguir. Fazendo uso de sensores de distância, o robô poderia desviar-se de obstáculos que se encontrassem na sua rota. Além disso, o robô poderia estimar se teria carga suficiente nas baterias de modo a conseguir completar a trajetória pretendida. Caso não se verificasse, dirigir-se-ia automaticamente à sua estação de carregamento.

A solução que mais se assemelha à implementação atual, seria fazer o uso do microcomputador para seguir uma linha preta, através do *array* de sensores [19] e implementar as funcionalidades referidas no capítulo anterior.

Neste subcapítulo apenas foram apresentadas algumas possibilidades, sem idealizar a sua implementação ou grau de complexidade. Assim, no próximo semestre, na unidade curricular de LPI II, será avaliada a viabilidade de todas as ideias acima referidas.

Referências

[1] SNS - Serviço Nacional de Saúde, “Covid-19 | Pandemia,” 11 março 2020. [Online]. Available: https://www.sns.gov.pt/noticias/2020/03/11/covid-19-pandemia/. [Acedido em 16 dezembro 2020].

[2] “Conheça Jaci: o robô de desinfecção que auxilia no combate a Covid-19,” Tecnopuc, 29 abril 2020. [Online]. Available: https://www.pucrs.br/tecnopuc/2020/04/29/conheca-jaci-o-robo-de-desinfeccao-que-auxilia-no-combate-covid-19/. [Acedido em 8 fevereiro 2021].

[3] E. L. Brand Talk, “Pandemic and the Smarter World: A Future of Robots?” 5 maio 2020. [Online]. Available: https://www8.gsb.columbia.edu/articles/brand-talk/pandemic-and-smarter-world-future-robots. [Acedido em 10 fevereiro 2021].

[4] R. K. Erico Guizzo, “How Robots Became Essential Workers in the COVID-19 Response,” IEEE SPECTRUM, 30 setembro 2020. [Online]. Available: https://spectrum.ieee.org/robotics/medical-robots/how-robots-became-essential-workers-in-the-covid19-response. [Acedido em 10 fevereiro 2021].

[5] J. D'Onfro, “Robots To The Rescue: How High-Tech Machines Are Being Used To Contain The Wuhan Coronavirus,” 2 fevereiro 2020. [Online]. Available: https://www.forbes.com/sites/jilliandonfro/2020/02/02/robots-to-the-rescue-how-high-tech-machines-are-being-used-to-contain-the-wuhan-coronavirus/?sh=73364f201779. [Acedido em 16 dezembro 2020].

[6] P. Semiconductors, “74HCT14 Hex inverting Schmitt trigger”. 74HCT14 datasheet, 26 agosto 1997 [revisto a 30 outubro 2003].

[7] T. Instruments, “TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circui”. TL494 datasheet, janeiro 1983 [revisto a março de 2017].

[8] STMicroelectronics, “DUAL FULL-BRIDGE DRIVER”. L298 datasheet, janeiro 2000.

[9] Texas Instruments, “SN54/74HCT CMOS Logic Family Applications and Restrictions,” maio 1996. [Online]. Available: https://www.ti.com/lit/an/scla011/scla011.pdf?ts=1612201599681&ref\_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FCD74HCT251. [Acedido em 2 fevereiro 2021].

[10] T. Corporation, “TENERGY 18650 2200 mAh Li-Ion Cell”. Tenergy 18650 datasheet.

[11] “BMS PARA PROTECÇÃO BATERIAS 18650 3S 12,6V 20A,” [Online]. Available: https://www.botnroll.com/pt/acessorios/2558-bms-para-protec-o-baterias-18650-3s-12-6v-20a.html. [Acedido em 10 fevereiro 2021].

[12] Z. Electromotor. ZGB37RG datasheet.

[13] T. Instruments, “LM340, LM340A and LM78xx Wide VIN 1.5-A Fixed Voltage Regulators”. LM7805 datasheet, setembro 2000 [revisto a julho de 2016].

[14] P. Carvalhal, “Fiabilidade e boas práticas de projeto,” 2014. [Online]. Available: https://elearning.uminho.pt/bbcswebdav/pid-1045855-dt-content-rid-3987823\_1/courses/2021.9305O4\_1/FiabilidadeBoasPraticasProjeto\_PCarvalhal.pdf. [Acedido em 3 fevereiro 2021].

[15] “Electrostatic-sensitive device,” Wikipedia, [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrostatic-sensitive\_device. [Acedido em 8 fevereiro 2021].

[16] TUR CERT, “O que é o certificado CE?” [Online]. Available: https://www.ceisaret.com/pt/ce-sertifikasi-nedir/. [Acedido em 2 fevereiro 2021].

[17] Jornal Oficial da União Europeia, “DIRETIVA 2014/35/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO,” 29 março 2014. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0035&from=EN. [Acedido em 8 fevereiro 2021].

[18] A. G. e. I. Cardoso, “Fecha tudo. Escolas e universidades em casa a partir de sexta-feira.,” Jornal de Notícias, 21 janeiro 2021. [Online]. Available: https://www.jn.pt/nacional/fecha-tudo-escolas-e-universidade-em-casa-a-partir-de-sexta-feira-13256762.html. [Acedido em 3 fevereiro 2021].

[19] P. Corporation, “pololu.com,” 2001-2014. [Online]. Available: https://www.pololu.com/docs/pdf/0J12/QTR-8x.pdf. [Acedido em 3 fevereiro 2021].

[20] G. Bocock, “Electrolytic Capacitors Determine The Lifetime Of A Power Supply,” XP Power, [Online]. Available: https://www.xppower.com/resources/blog/electrolytic-capacitor-lifetime-in-power-supplies. [Acedido em 11 fevereiro 2021].

[21] “How can I estimate the life of ceramic capacitors?” Taiyo Yuden, [Online]. Available: https://www.yuden.co.jp/eu/product/support/faq/q020.html. [Acedido em 11 fevereiro 2021].

[22] “How to Prolong the Life of an 18650 Battery,” instructables ciruits, [Online]. Available: https://www.instructables.com/How-to-Prolong-the-Life-of-an-18650-Battery/. [Acedido em 11 fevereiro 2021].

[23] A. Perzan, “Brushed vs. brushless DC motors,” drive.tech, [Online]. Available: https://drive.tech/en/stream-content/brushed-vs-brushless-dc-motors. [Acedido em 11 fevereiro 2021].

[24] T. Instruments, “Calculating Useful Lifetimes of Embedded Processors,” 2014. [Online]. Available: https://www.ti.com/lit/an/sprabx4b/sprabx4b.pdf?ts=1612984192026. [Acedido em 11 fevereiro 2021].