



Sistema de Gestão Energética e de Controlo de uma Solução de Segurança Rodoviária

MARIA EDUARDA PINTO DE SOUSA BARBOSA

Outubro de 2021

POLITÉCNICO DO PORTO
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

Sistema de Gestão Energética e de Controlo de uma Solução de Segurança Rodoviária

Maria Eduarda Pinto Sousa Barbosa

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Automação e Sistemas



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Outubro, 2021

Esta dissertação satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Unidade Curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Área de Especialização em Automação e Sistemas.

Candidato: Maria Eduarda Pinto Sousa Barbosa, N.º 1160785,
1160785@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Veríssimo Manuel Brandão Lima Santos,
vms@isep.ipp.pt

Empresa: PAVNEXT - Technological Pavements, Lda

Orientador: Francisco Duarte, fd.pavnext@gmail.com



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
Instituto Superior de Engenharia do Porto
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto

Outubro, 2021

Agradecimentos

A presente dissertação não poderia ter sido desenvolvida sem o auxílio e o apoio de várias pessoas.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Veríssimo Manuel Brandão Lima Santos a assistência proporcionada ao longo desta dissertação.

Agradeço igualmente ao Doutor Francisco Duarte pela oportunidade de realizar o estágio curricular na empresa Pavnext.

Gostaria ainda de agradecer ao Professor Doutor Nuno Dias por toda a disponibilidade e esclarecimentos que me ofereceu.

Por fim, gostaria de agradecer à minha família e amigos por todo o apoio incondicional e paciência que tiveram para mim, durante os últimos 5 anos.

Resumo

Nos dias que correm, morrem, em média a nível mundial, 3 mil pessoas diariamente devido a acidentes rodoviários, o que os coloca na lista das 10 maiores causas de morte, segundo a Organização Mundial de Saúde.

Os atropelamentos representam, aproximadamente, 40% dos acidentes rodoviários fatais e é a partir deste valor que surge a necessidade de desenvolver soluções eficazes para promover uma maior segurança rodoviária para os peões que circulam na estrada.

Este projeto surge no âmbito de desenvolver uma solução rodoviária que promova a segurança nas travessias de peões.

Pretende-se criar uma solução capaz de evitar que os atropelamentos ocorram, através da execução de efeitos luminosos para que os condutores sejam alertados para a presença de peões na passadeira.

Para isso, pretende-se implementar sensores à entrada da travessia de peões, que sejam capazes de detetar os peões a entrar na passadeira, e atuadores, que sejam capazes de produzir efeitos luminosos, de forma a advertir os condutores para o facto de existir pessoas a atravessar a passadeira.

Além da criação da solução rodoviária, pretende-se que esta seja sustentável e para que isso aconteça, espera-se implementar um sistema capaz de alimentar a solução, mas que seja, preferencialmente, realizado através de energia limpa, isto é, através de um sistema fotovoltaico.

No entanto, quando o sistema fotovoltaico não for capaz de alimentar a solução, esta não pode ficar sem estar a funcionar e será necessário ligar o mesmo à rede pública de energia.

Palavras-Chave: Segurança Rodoviária, Sustentabilidade, Peões, Passadeira, Sensores, Atuadores, Microcontroladores, Comunicação.

Abstract

These days, an average of 3,000 people die every day as a result of road accidents, which places them in the top 10 leading causes of death, according to the World Health Organization.

Runovers represent approximately 40% of fatal road accidents and it's from this figure that urges the need to develop effective solutions to promote greater road safety for pedestrians on the road arises.

This project comes within the scope of developing a road solution that promotes safety in pedestrian crosswalks.

The aim is to create a solution capable of preventing pedestrians from being run over, through the execution of light effects so that drivers are alerted to the presence of pedestrians on the crosswalk.

During the development of this project it's intended to implement sensors at the entrance of the pedestrian crossing, to detect pedestrians entering the crossing, and actuators, to produce light effects, in order to warn drivers of the fact that there are pedestrian crossing the crosswalk.

In addition to creating the road solution, it is intended that it be sustainable and for that to happen, it is expected to implement a system capable of feeding the solution, but which is preferably carried out through clean energy, in this case, a photovoltaic system.

However, when the photovoltaic system is not capable of supplying the solution, it cannot be out of order and it will be necessary to connect the solution to the electrical grid.

Keywords: Road Safety, Sustainability, Pedestrians, Crosswalk, Sensors, Actuators, Microcontrollers, Communication.

Índice

Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Acrónimos	xv
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Apresentação da Empresa	5
1.3 Objetivos	5
1.4 Organização da Dissertação	6
1.5 Calendarização	7
2 Estado de Arte	9
2.1 Soluções Rodoviárias para Redução de Velocidade de Circulação	9
2.1.1 Pré-avisos	10
2.1.2 Lombas Redutoras de Velocidade	10
<i>Speed Humps</i>	11
<i>Speed Bumps</i>	11
<i>Speed Cushion</i>	11
2.1.3 Plataformas Pedonais Elevadas e Interseções Elevadas	12
2.1.4 Via ao Nível do Passeio	13
2.1.5 Sistemas Inovadores de Segurança Rodoviária	13
Sistema <i>Watch - Over</i>	13
Sistema <i>Aprosys</i>	14
Sistema <i>Pavement Energy Harvesting</i>	15
Sistema <i>Actibump</i>	16
Tope Inteligente	17
Sistema <i>Vivaden</i>	18
Sistema <i>Báden Inteligente de Velocidad</i>	18
Sistema <i>Flex-Drempel</i>	19
2.2 Soluções de Iluminação para Redução de Sinistralidade Rodoviária	20
2.2.1 Passadeira <i>SafetyCross</i>	20
2.2.2 Passadeira <i>CrossFlash</i>	21

2.2.3	Soluções Smart City para Sinalização e Iluminação	21
2.2.4	Sistema NEOS Zebra	22
2.2.5	Sistema Iluminação da Passadeira de Peões Inteligente	23
2.2.6	Sistema <i>AiCross</i>	24
2.2.7	Sistema Smart Pedestrian Crossing	25
2.3	<i>Technology Readiness Level</i>	26
	Índices TRL dos sistemas de segurança rodoviária apresentados	27
3	Estudo Prévio	29
3.1	Consumo Energético Associado à Sinalização da Travessia de Peões .	30
3.1.1	Consumo Energético Associado às Fitas de LEDs de Luz Branca	31
3.1.2	Consumo Energético Associado às Fitas de LEDs RGB	33
3.1.3	Consumo Energético Associado aos Marcadores Embutidos em 2 Faixas com Sentidos Opostos	35
3.1.4	Consumo Energético para Efeitos de Peão de 1 só Lado	36
3.1.5	Consumo Energético para Efeitos de Peão de Ambos os Lados	37
3.1.6	Consumo Energético Total Associado à Sinalização da Traves- sia de Peões	37
3.2	Consumo Energético Associado ao Controlo da Sinalização da Tra- vessia de Peões	38
3.3	Consumo Energético Total do Sistema	39
4	Arquitetura do Sistema	41
4.1	Painel Fotovoltaico	43
4.2	Conversor AC/DC	45
4.3	Microcontrolador	46
4.3.1	Sensor de Corrente	47
4.4	Acoplador Ótico	49
4.5	MOSFETs	50
4.6	Controlador de Carga	51
4.6.1	Controlador de Carga PWM	52
4.6.2	Controlador de Carga MPPT	52
4.7	Bateria	54
4.8	Sistema de Detecção de Peões	55
4.9	Sistema de Controlo	56
4.9.1	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART)	57
4.9.2	A interface RS-485	59
4.9.3	MAX485	61
4.10	Atuadores Localizados no Pavimento	62

5	Implementação do projeto	65
5.1	Implementação do Circuito de Potência	65
5.1.1	Hardware do Circuito de Potência	65
5.1.2	Software Desenvolvido para o Circuito de Potência	71
5.2	Implementação do Sistema de Controlo	73
5.2.1	Implementação do Sistema de detecção de Peões	74
5.2.2	Implementação do Sistema de Controlo - <i>Hardware</i>	76
5.2.3	Implementação do Sistema de Controlo - <i>Software</i>	78
5.2.4	Implementação dos atuadores Localizados no Pavimento	84
6	Validação Experimental e Resultados	87
6.1	Validação Experimental do Circuito de Potência e Resultados Respetivos	87
6.2	Validação Experimental do Sistema de Controlo e Resultados Respetivos	91
7	Conclusões	99
7.1	Trabalho Futuro	100
	Referências	101
A	Esquema Elétrico do Circuito de Potência Implementado em PCB111	
A.1	Esquemático do Circuito que Constitui a PCB do Circuito de Potência	112
B	Fluxogramas Relativos aos Efeitos LED	113
B.1	Fluxogramas Relativos ao Efeitos LED Lado 1	114
B.2	Fluxogramas Relativos ao Efeitos LED Lado 2	115
B.3	Fluxogramas Relativos ao Efeitos LED Combinado	116

Lista de Figuras

1.1	Calendarização de projeto	7
2.1	Bandas Cromáticas [13]	10
2.2	<i>Speed Hump</i> [13]	11
2.3	<i>Speed Bump</i> [15]	11
2.4	<i>Speed Cushion</i> [16]	12
2.5	Travessia Elevada [18]	12
2.6	Via a Nível do Passeio [19]	13
2.7	Sistema <i>Watch - Over</i> [21]	14
2.8	Ilustração do Sistema <i>Pavement Energy Harvesting</i> da Pavnext . . .	16
2.9	Ilustração do Funcionamento Sistema <i>Actibump</i> [25]	17
2.10	Exemplos de Posições do Sistema Tope Inteligente consoante a Velocidade [27]	18
2.11	Exemplos de Posições do Sistema <i>Vivaden</i> consoante a velocidade [28] . . .	19
2.12	Comportamento do Sistema BIV perante Diferentes Tipos de Veículos [30]	19
2.13	Comportamento do Sistema perante Diferentes Tipos de Veículos [34] . . .	20
2.14	Ilustração do Sistema <i>SafetyCross</i> [35]	21
2.15	Ilustração do Sistema <i>CrossFlash</i> [35]	21
2.16	Sistema Soluções <i>Smart City</i> para Sinalização e Iluminação [37] . . .	22
2.17	Sistema <i>NEOS Zebra</i> [38]	23
2.18	Comportamento do Sistema Iluminação da Passadeira de Peões Inteligente [40]	24
2.19	Plataforma Vibratória do Sistema <i>AiCross</i> [41]	25
2.20	Sistema <i>Smart Pedestrian Crossing</i> em Lisboa [44]	26
3.1	Código RGB da cor laranja selecionada	34
3.2	Cenário com 2 Faixas no mesmo sentido	35
3.3	Cenário com 2 Faixas de Sentidos Opostos	36
4.1	Arquitetura Geral do Sistema	42
4.2	Painel Fotovoltaico [56]	45
4.3	Conversor AC/DC [57]	46
4.4	ATMega328P e respetivos Pinos	47

4.5	Sensor Linear de Corrente ACS712 [61]	48
4.6	Optoacoplador TLP521-2 [67]	49
4.7	Dual MOSFET SQJ504EP-T1_GE3 [69]	50
4.8	Controlador de Carga PWM [75]	53
4.9	Bateria 12V 12Ah [76]	54
4.10	Descrição do Conteúdo de cada Posição do Vector que Constitui a Mensagem Enviada pelo Sensor de detecção de Peões	55
4.11	Descrição do Conteúdo de cada Posição do Vector que Constitui a Mensagem Enviada pelo Sistema de Controlo para os Atuadores	56
4.12	Development Board NUCLEO-G431KB	57
4.13	Fluxo de Dados entre UARTs [79]	58
4.14	Formato do Pacote de Dados	58
4.15	Topologia Típica <i>Half-duplex</i> do Barramento RS-485 [82]	60
4.16	<i>Transceiver</i> MAX485 [87]	61
4.17	<i>Pinout</i> MAX485 [88]	61
5.1	Excerto Relativo ao Cristal Oscilador do Esquemático do Circuito de Potência	67
5.2	Ligações do Cristal Oscilador	67
5.3	Excerto do Esquemático do Circuito de Potência	68
5.4	Divisor de Tensão	69
5.5	Excerto do Esquemático do Circuito de Potência Relativo ao Sensor de Corrente	70
5.6	Aplicação Típica do Sensor de Corrente ACS712	70
5.7	Desenho da <i>Top Layer</i> da PCB Relativa ao Circuito de Potência	71
5.8	Desenho da <i>Bottom Layer</i> da PCB Relativa ao Circuito de Potência	71
5.9	Fluxograma Relativo ao Funcionamento do Circuito de Potência	73
5.10	Distribuição dos Sensores de Pressão na Placa	74
5.11	Fluxograma Relativo ao Funcionamento do Sistema de detecção de Peões	75
5.12	Esquemático do Circuito que Constitui a PCB do Sistema de Controlo	77
5.13	PCB Desenvolvida para o Sistema de Controlo	78
5.14	Fluxograma Relativo ao Funcionamento do Sistema de Controlo	81
5.15	<i>Identifiers</i> de cada <i>Slave</i> LED por Faixa	82
5.16	Fluxograma Relativo ao Funcionamento do atuadores Localizados no Pavimento	85
6.1	Circuito de Potência em <i>Breadboard</i>	88
6.2	Circuito de Potência em Funcionamento na <i>Breadboard</i>	88
6.3	PCB Desenvolvida para o Circuito de Potência	89
6.4	Painel FV encontra-se a alimentar a Bateria por <i>default</i>	90
6.5	Painel FV alimenta a Bateria	90

6.6	Conversor AC/DC alimenta a Bateria	91
6.7	PCB Desenvolvida para o Sensor de detecção de Peões	91
6.8	PCB Desenvolvida para o Sistema de Controlo	92
6.9	PCB Desenvolvida para os atuadores Localizados no Pavimento	92
6.10	Sistema de Controlo em Fase Inicial, montado em <i>Breadboard</i>	93
6.11	Validação do Funcionamento do Sistema de Controlo em <i>Breadboard</i>	94
6.12	Fitas de LEDs acesas quando o switch é acionado	95
6.13	Fitas de LEDs acesas quando o sensor é acionado	95
6.14	Sequência de LEDs a Ligarem durante o Efeito LED Lado 1	96
6.15	Sequência de LEDs a Ligarem durante o Efeito LED Combinado	96
6.16	Sequência de LEDs a Ligarem durante o Efeito LED Lado 2	97
A.1	Esquemático do Circuito que Constitui a PCB do Circuito de Potência	112
B.1	Fluxograma Relativo ao Efeito LED Lado 1	114
B.2	Fluxograma Relativo ao Efeito LED Lado 2	115
B.3	Fluxograma Relativo ao Efeito LED Combinado	116

Lista de Tabelas

2.1	Índice TRL para as Soluções de Segurança Rodoviária	28
3.1	Principais Características da Fita de LED de Luz Branca [51]	31
3.2	Principais Características da Fita de LED RGB [52]	33
4.1	Principais Características do Pannel Fotovoltaico [56]	45
4.2	Principais Características do ATmega328P [58]	47
4.3	Principais Características do Acoplador ótico TLP521-2 [68]	49
4.4	Principais Características do Dual <i>MOSFET</i> SQJ504EP-T1_GE3 [69]	51
4.5	Principais Características do Controlador de Carga [75]	53

Lista de Acrónimos

ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
BIGRS	<i>Bloomberg Initiative for Global Road Safety</i>
BIV	Báden Inteligente de Velocidad
DE	<i>Driver Output Enable</i>
DI	<i>Driver Input</i>
DoD	<i>Depth of Discharge</i>
FET	Transistor de Efeito de Campo
FV	Fotovoltaico
IRTAD	<i>International Traffic Safety Data and Analysis Group</i>
LRV	Lombas Redutoras de Velocidade
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
NU	Nações Unidas
PEH	<i>Pavement Energy Harvesting</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RE	<i>Receiver Output Enable</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RO	<i>Receiver Output</i>
RTOS	<i>Real Time Operating System</i>
TRL	<i>Technology Readiness Level</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>
UE	União Europeia
UWB	<i>Ultrawideband</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

Atualmente, o quotidiano da maioria das pessoas exige deslocações seja para trabalho ou, simplesmente, lazer. Como tal, em paralelo com os transportes públicos, a demanda por automóveis, com o intuito de realizar essas deslocações, tem vindo a subir rapidamente nos últimos anos.

Em 2016, as viagens de carro representaram, aproximadamente, 83% dos quilómetros realizados por todas as pessoas na União Europeia (UE), sendo que Portugal foi o terceiro país que mais usa veículos ligeiros, em detrimento dos transportes públicos. [1]

De acordo com a Eurostat, em abril de 2020, Portugal encontra-se na 12^a posição na lista europeia de maior número de viaturas por 1000 habitantes. [2]

Esta lista é liderada pelo Luxemburgo com 676 automóveis por 1000 habitantes e no outro extremo da lista estão a Roménia, Letónia e Hungria com 332, 369 e 373 automóveis por 1000 habitantes, respetivamente. É de realçar que em Portugal, desde 2013 se tem verificado uma tendência de aumento do número de automóveis por 1000 habitantes, tendo-se verificado entre 2017 e 2018, um aumento de 24 veículos ligeiros por cada mil habitantes do que em 2017, o que representa uma tendência anual que se tem verificado desde 2013. [3]

Teoricamente, com o aumento substancial do uso de veículos ligeiros nas últimas décadas, o número de acidentes também deveria aumentar. No entanto, essa tendência tem sido contrariada através da implementação de medidas de prevenção que

beneficiam a segurança rodoviária.

Apesar da implementação de medidas de prevenção continuam a morrer, em todo o mundo aproximadamente, 1.35 milhões de pessoas anualmente devido a acidentes rodoviários, sendo mais de metade peões, ciclistas e motociclistas.

Da totalidade dos acidentes rodoviários mundiais, 93% ocorrem em países menos desenvolvidos, apesar destes terem apenas 60% do total de veículos.

Para além do número significativo de mortes que ocorrem todos os anos, estima-se ainda que entre 20 e 50 milhões de pessoas sofram lesões não fatais, muitas das quais ficam incapacitadas para o resto da vida, em resultado dos ferimentos causados pelos acidentes rodoviários.

As lesões causadas pelos acidentes rodoviários representam a principal causa de morte das crianças e jovens adultos, com idades compreendidas entre os 5 e os 29 anos.

Os fatores de risco que despoletam a maioria dos acidentes rodoviários são os seguintes:

- Excesso de velocidade;
- Condução sob efeito de álcool ou outras substâncias ilícitas;
- Ausência de capacete por partes dos motociclistas;
- Uso de telemóvel durante a condução;
- Não utilização de cinto de segurança;
- Falta de segurança de determinados veículos;
- Poucas medidas de acalmia de trânsito, isto é, a falta de medidas que proporcionem a circulação segura de peões, ciclistas e motociclistas;
- Atrasos na deteção de lesões e no socorro às vítimas.

Independentemente da maioria dos fatores de risco mencionados anteriormente não dependerem de mais ninguém, a não ser do próprio condutor, existe cada vez mais uma preocupação com a segurança rodoviária, ou neste caso, com a falta dela. Como tal, ao longo dos anos têm surgido diversos projetos com o intuito de a melhorar. Uma das entidades que tem priorizado este assunto é a *World Health Organization* (WHO). Esta, em parceria com diversas organizações internacionais dos mais variados sectores, criaram vários programas com o intuito de planear, implementar e avaliar políticas de segurança rodoviária, tal como a *Bloomberg Initiative for Global Road Safety* (BIGRS), *Global Plan for the Decade of Action for Road Safety*, entre outros.

O *Bloomberg Initiative for Global Road Safety* corresponde a um programa que foi implementado na Tailândia, China, Filipinas e na República Unida da Tanzânia, entre os anos 2015 e 2019. O principal objetivo deste projeto era reduzir a taxa de mortalidade e de ferimentos graves resultantes de acidentes rodoviários nesses países, através do reforço da legislação relativa à segurança rodoviária, a nível nacional, e através da implementação de medidas de segurança rodoviária nas cidades.

Em março de 2020, as Nações Unidas (NU) desenvolveram o *Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020* que teve como objetivo estabilizar e, posteriormente, reduzir o número previsto de fatalidades resultantes de acidentes rodoviários previstos para a respetiva década, através da melhoria das infraestruturas da estrada, do desenvolvimento de aspetos relacionados com a segurança nos veículos, do apelo à melhoria de comportamento na estrada e da melhoria da resposta, por partes das entidades de saúde, pós-acidente. Este plano global pretendia apoiar o desenvolvimento de planos de ações a nível local e nacional e, em simultâneo, fornecer atividades cooperativas a nível global. [4]

O motivo pelo qual este programa durou uma década deveu-se ao facto de assim existir um período de tempo suficientemente longo para os seus efeitos se sentissem, encorajando desta forma as partes envolvidas. Este programa pretendia transferir parte da responsabilidade dos utilizadores da estrada, para os responsáveis pelo sistema rodoviário, visto que apesar dos utilizadores da estrada possuírem grande parte da responsabilidade pelos acidentes, existem diferentes entidades com uma responsabilidade significativa sobre a segurança rodoviária, tal como a polícia, serviços de saúde, principais gestores dos sistema rodoviários, entre outros. [5]

Em seguimento deste projeto, em agosto de 2020, as NU apresentaram o projeto *Decade of Action for Road Safety 2021-2030*, com o ambicioso intuito de prevenir pelo menos 50% das mortes resultantes de acidentes rodoviários. [6]

Existem ainda muitas outras iniciativas que têm objetivos semelhantes às mencionadas anteriormente, sendo a mais relevante a *Vision Zero*, pelo sucesso que tem associado.

A *Vision Zero* é uma estratégia cujo principal objetivo passa por eliminar, na totalidade, as fatalidades e os ferimentos graves, causadas pelos acidentes rodoviários. Começou por ser implementada, na década de 1990, na Suécia, tem-se tornado num sucesso por toda a Europa e, nos últimos anos, tem vindo a ser aplicada nas maiores cidades da América. [7]

Esta estratégia defende que as mortes e os ferimentos graves resultantes dos acidentes rodoviários têm sido banalizados, ao serem considerados inevitáveis e ainda que é possível prevenir que esses ocorram de todo, desde que seja realizada uma abordagem preventiva, que considere a segurança rodoviária um problema de saúde pública.

A abordagem da *Vision Zero*, ao contrário da abordagem tradicional, considera que todas as fatalidades são evitáveis e que as pessoas, ocasionalmente, cometem erros e, por isso, é necessário que o sistema rodoviário seja capaz de evitar que esses erros se tornem em algo mais grave, como mortes ou ferimentos graves. Para que isto ocorra, a *Vision Zero* incentiva o seguinte [7]:

- Recolha e análise de dados acerca dos acidentes rodoviários, com o intuito de detetar padrões e o impacto que os acidentes rodoviários têm em determinadas populações;
- Priorização da igualdade e do envolvimento da comunidade;
- Monitorização de velocidade, sendo que este é um dos maiores fatores de risco no que toca a acidentes rodoviários;
- Estabelecimento de uma data para atingir a meta, fazendo que as pessoas vejam este assunto com responsabilidade e assegurar que as pessoas entendem a importância, os progressos e os desafios que a segurança rodoviária representa.

Outro aspeto muitas vezes esquecido e diretamente relacionado com a segurança rodoviária são os atropelamentos. A maioria dos jovens e idosos deslocam-se em transportes públicos e sobretudo a pé, tornando-os particularmente vulneráveis no âmbito rodoviário, visto não existir qualquer tipo de proteção para eles.

Em Portugal entre os anos 2010 e 2016, ocorreram 35738 atropelamentos, representando 16% dos acidentes rodoviários. Destes atropelamentos, 20% deles resultaram em ferimentos graves e 22.3% resultaram em vítimas mortais, sendo que mais de metade das vítimas mortais faleceram nos concelhos do Porto e de Lisboa. [8]

Na UE, só no ano de 2016, 5320 peões foram mortos em acidentes rodoviários, o que representou 21% da percentagem total de acidentes rodoviários que ocorreram naquele ano. No entanto, este número não são os piores visto que entre os anos 2007 e 2016, as mortes de peões foram reduzidas em 35%.

Durante os primeiros meses do ano de 2020, houve também uma redução de, aproximadamente 80%, do número de fatalidades causadas por acidentes rodoviários.

A razão principal que explica este declínio foi o confinamento que foi imposto na maioria dos países, em resposta à pandemia Covid-19. Como foram impostas diversas medidas para tentar impedir a propagação do vírus, como o maior policiamento para controlar deslocações desnecessárias e as pessoas, cujo trabalho o permitia, foram obrigadas a ficar em casa a realizar teletrabalho, o número de automóveis a circular e o número de peões e ciclistas reduziram significativamente, o que se pensa ter contribuído, na generalidade, para a redução de fatalidades.

De acordo com o Relatório Anual da Segurança Rodoviária de 2020, realizado pela *International Traffic Safety Data and Analysis Group* (IRTAD), apesar do panorama geral ser positivo, nos últimos anos, a taxa de redução do número de fatalidades causadas por acidentes rodoviários tem diminuindo. Os membros do IRTAD defendem que isso ocorre devido às soluções rodoviárias estarem a funcionar e dos cuidados médicos terem evoluído nos últimos anos. [9]

No entanto, continuam a ocorrer mortes devido a acidentes rodoviários indicando que as medidas implementadas não são suficientes para os extinguir. Urge necessidade de criar soluções inovadoras, que efetivamente consigam fazer a diferença e permitam cumprir o objetivo da estratégia *Vision Zero* que pretende eliminar por completo as mortes e os ferimentos graves causados por acidentes rodoviários.

1.2 Apresentação da Empresa

A Pavnext é uma empresa que tem como missão desenvolver soluções eficientes para a promoção de uma maior segurança rodoviária, que sejam simultaneamente, soluções sustentáveis, não só ao nível económico, mas também ao nível energético e ambiente.

Esta empresa ambiciona mudar o paradigma atual da segurança rodoviária através da introdução de um pavimento capaz de reduzir, de forma eficiente, a velocidade de circulação dos veículos, sem que o condutor tenha que intervir, com a vantagem de não existir qualquer impacto sobre o veículo. Esse pavimento possibilita ainda a geração de energia elétrica, a partir da energia cinética removida aos veículos.

Os principais objetivos da Pavnext são desenvolver soluções eficientes que promovam uma maior segurança rodoviária, que produzam energia elétrica "limpa", otimizar o consumo energético. Pretende ainda desenvolver soluções para tornar as cidades mais inteligentes e eficientes e utilizar materiais sustentáveis durante o processo.

1.3 Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho é desenvolver uma solução de segurança rodoviária e, posteriormente, criar um sistema capaz de controlar a mesma e geri-la a nível energético. A solução de segurança rodoviária consiste num sistema de deteção de peões nas passadeiras a aproximarem-se da mesma, através de sensores implantados no passeio e no pavimento rodoviário.

Esta solução será alimentada por uma bateria que dependendo das circunstâncias, poderá ser carregada por um sistema fotovoltaico ou diretamente da rede pública de energia.

Caso o sistema detete a presença de peões na passadeira a aproximar-se, irá ser acionado o controlo de LEDs para os diferentes cenários, promovendo uma maior segurança para os peões e alertando os condutores para a proximidade de uma travessia de peões.

De forma a cumprir todos os objetivos propostos, o desenvolvimento deste trabalho foi dividido em diversas tarefas distintas, que são as seguintes:

- Caracterização das necessidades energéticas da solução de sinalização rodoviária e dos dados a monitorizar;
- Caracterização da solução em termos de características elétricas, isto é, quais os efeitos e combinações possíveis dos LED, número e tipo de elementos do sistema, tipo de controlo a realizar, entre outras;
- Realização do Estado da arte relativo aos sistemas de monitorização e gestão elétrica e análise técnica das mesmas;
- Dimensionamento do sistema elétrico;
- Projeto da monitorização energética a realizar;
- Projeto da monitorização de tráfego e de peões;
- Realização do controlo energético da solução;
- Desenho do sistema de controlo;
- Implementação do sistema de controlo;
- Validação experimental de toda a solução, tanto em ambiente laboratorial, como em ambiente real.

1.4 Organização da Dissertação

No Capítulo 1 é realizada uma contextualização sobre o tema do projeto e sobre os motivos que levam este projeto a ser desenvolvido, são apresentados os objetivos e a empresa onde a dissertação é realizada.

No Capítulo 2 é realizado o estado de arte, onde são abordadas as soluções rodoviárias mais relevantes do mercado e no final do mesmo, é realizada uma análise de todas elas, segundo um índice, em que cada solução é avaliada, em relação a parâmetros específicos.

O Capítulo 3 consiste no estudo prévio e é o capítulo onde as necessidades energéticas da solução são caracterizadas e o dimensionamento do sistema elétrico é realizado.

No Capítulo 4 é apresentada a arquitetura do sistema, onde serão abordados todos os elementos e dispositivos que constituirão o sistema.

No Capítulo 5 é apresentada a implementação do projeto, onde se encontram todas as montagens que foram realizadas e os fluxogramas que esquematizam todo o código desenvolvido.

O Capítulo 6 consiste nos resultados e na validação experimental. Neste capítulo é possível verificar os testes que foram realizados e aos resultados a que se chegou.

Por fim, no Capítulo 7 estão representadas as conclusões que se retiraram, após a implementação do projeto.

1.5 Calendarização

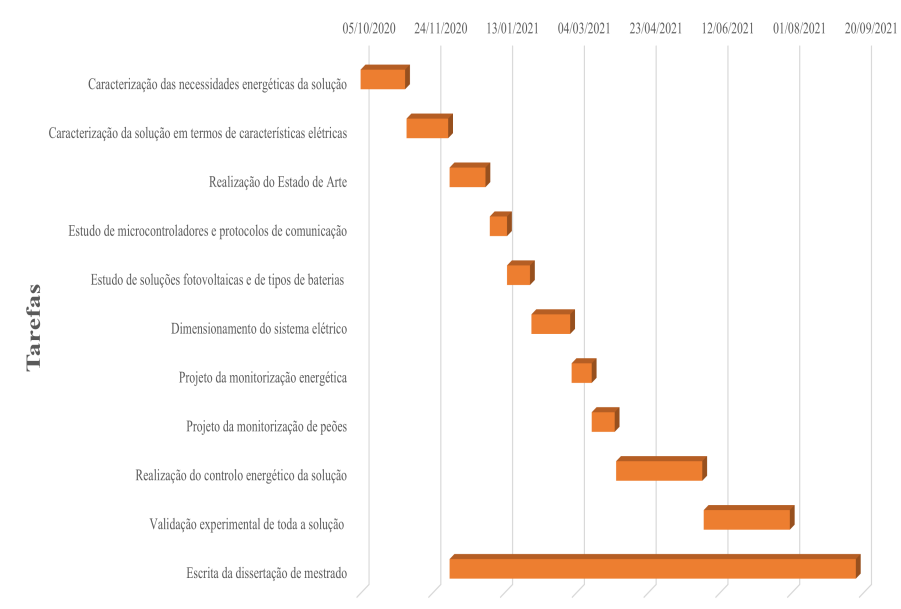


Figura 1.1: Calendarização de projeto

Capítulo 2

Estado de Arte

2.1 Soluções Rodoviárias para Redução de Velocidade de Circulação

É incontestável a forma como a criação e expansão do uso de automóveis revolucionou e continua a revolucionar a vida de todos os que habitam neste planeta, tanto em termos de mobilidade, como em termos de qualidade de vida.

No entanto, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), os acidentes rodoviários são a 8^a causa de mortalidade, a nível mundial e por esta razão, algumas pessoas conscienciosas trabalham diariamente, para melhorar segurança rodoviária e, conseqüentemente, evolua, de forma a reduzir o número assustador de fatalidades que ocorrem devido a acidentes rodoviários.

No sentido de aumentar e melhorar a segurança rodoviária, foram desenvolvidas e implementadas diversas medidas de acalmia de tráfego para reduzir os impactos negativos da circulação rodoviária através da moderação de velocidade e do desencorajamento do uso excessivo de veículos próprios, priorizando a coexistência de todos os meios de transportes, no mesmo espaço. [10]

Um dos objetivos é reduzir a velocidade de circulação e o volume de tráfego existente, de forma a reduzir, conseqüentemente, o número de acidentes rodoviários e a sua gravidade. [11] De seguida, irão ser abordadas algumas dessas medidas.

2.1.1 Pré-avisos

As bandas de pré-avisos podem ser de dois tipos, bandas sonoras e bandas cromáticas e caracterizam-se através da colocação de várias bandas ou faixas transversais à faixa de rodagem, que podem ter formas distintas, com o intuito de alertar os condutores para situações de perigo como, por exemplo, a aproximação de uma passareira ou desvio da faixa de rodagem e acentuar a necessidade do condutor circular a uma velocidade especialmente moderada, através de alertas ruidosos ou vibracionais. [12]

As bandas cromáticas, representadas na Figura 2.1, são compostas por uma camada de tinta com uma espessura de, aproximadamente, 7mm. As bandas sonoras utilizam elementos mais agressivos e possuem uma espessura que pode atingir os 30mm.

O tipo de pré-aviso mais utilizado são as bandas cromáticas, visto que as bandas sonoras, devido à sua espessura significativa, causam um maior ruído quando são atravessadas pelos veículos e, por vezes, até chegam a causar danos nos mesmos quando atravessadas a elevadas velocidades. Para além disso, as bandas sonoras apenas apresentam resultados eficientes nos primeiros tempos, após a implementação. [10]



Figura 2.1: Bandas Cromáticas [13]

2.1.2 Lombas Redutoras de Velocidade

As lombas redutoras de velocidade (LRV) são secções elevadas da faixa de rodagem que ocupam a largura total da faixa de rodagem e são a medida de acalmia de tráfego mais utilizada a nível mundial, devido ao seu custo reduzido de instalação e pelos resultados eficientes que proporcionam.

Nas situações em que os veículos atravessam as LRV a velocidades iguais ou inferiores à recomendada, as LRV não têm qualquer efeito e não provocam qualquer dano nesses veículos.

As lombas dividem-se em grupos diferenciados através do comprimento e elevação e, como tal, existem diversos tipos, sendo as principais as *Speed Humps*, as *Speed Bumps* e as *Speed Cushions*. [10, 14]

Speed Humps

As *Speed Humps* dividem-se em dois tipos diferentes: as circulares e as trapezoidais. São caracterizadas por serem lombas alongadas e por apresentarem um comprimento entre os 3 e os 12 metros e uma elevação entre os 7.5 e os 12 centímetros.

As *Speed Humps* trapezoidais são também denominadas como passagem pedonal elevada, sendo que são mais direcionadas para o atravessamento pedonal, visto que a sua altura é, aproximadamente, igual à altura do passeio e também pode ser usado em interseções. [10, 14]

Na Figura 2.2 é possível observar uma LRV do tipo *Speed Hump*.



Figura 2.2: *Speed Hump* [13]

Speed Bumps

As LRV mais curtas e altas são denominadas de *Speed Bumps* e são caracterizadas por terem uma altura entre os 5 e os 10 centímetros e um comprimento de 30 centímetros 1 metro. [14]

Este tipo de lomba, representado na Figura 2.3, possui as desvantagens de ser bastante ruidoso e de, possivelmente, provocar danos graves nos veículos, quando atravessada a velocidades elevadas. [10]



Figura 2.3: *Speed Bump* [15]

Speed Cushion

As *Speed Cushion* podem ser lombas do tipo *Speed Humps* ou do tipo *Speed Tables*, que são semelhantes às *Speed Humps*, só que possuem um maior comprimento e elevação.

As *Speed Cushion* têm como principal objetivo reduzir a velocidade de veículos leves e permitir a passagem de veículos pesados não seja afetada, em simultâneo. Isto é, caso um veículo de emergência ou um veículo pesado for a atravessar uma *Speed Cushion*, as rodas do mesmo passam ao lado da lombagem e não por cima, como acontece quando este tipo de lombas são atravessadas por veículos leves. A Figura 6.8 trata-se de uma *Speed Cushion*. [16]



Figura 2.4: *Speed Cushion* [16]

2.1.3 Plataformas Pedonais Elevadas e Intersecções Elevadas

As plataformas e as travessias elevadas são lombas alongadas de formato trapezoidal com a parte central plana e as extremidades em rampa e, por norma, possuem mais de 9 metros de comprimento, proporcionando uma utilização das vias em segurança, para peões e viaturas.

A implantação destas plataformas tem como principal objetivo aumentar a segurança dos peões, destacando a sua presença e de um travessia na via, motivando os condutores a reduzir a velocidade. [17, 14]

As intersecções elevadas são plataformas que ocupam todo o interior e os limites de uma intersecção e que possuem uma altura próxima à do passeio. O acesso a estas intersecções é realizado através de rampas localizadas à entradas das mesmas.

Através da implantação desta solução, pretende-se que haja uma redução significativa de velocidade e um aumento de atenção, por parte dos condutores, para eventuais situações de perigo. Na Figura 2.5 é possível observar uma travessia elevada. [17]



Figura 2.5: Travessia Elevada [18]

2.1.4 Via ao Nível do Passeio

Esta solução assemelha-se às soluções de plataformas e intersecções elevadas, referidas anteriormente. No entanto, nas vias a nível do passeio, não existe qualquer diferenciação de alturas entre a faixa rodoviária e o passeio, criando-se uma zona mista partilhada por peões e veículos.

Com isto, pretende-se que os condutores fiquem com a sensação que se encontram numa zona onde a prioridade é dos peões e prossigam com maior cautela e, consequentemente, com menor velocidade de circulação. Na Figura 2.6 está representada uma via a nível do passeio. [10]



Figura 2.6: Via a Nível do Passeio [19]

2.1.5 Sistemas Inovadores de Segurança Rodoviária

Sistema *Watch - Over*

A UE com o intuito de proteger os peões e diminuir a sinistralidade rodoviária financiou alguns projetos, sendo que um dos que mais se destacou foi o *Watch-Over*.

Este projeto foi iniciado no ano de 2006 e foi co-financiado pela Sociedade da Informação Tecnologias da Comissão Europeia, no objetivo estratégico "eSafety - sistemas cooperativos para os transportes rodoviários".

O principal objetivo era desenvolver um sistema de cooperação entre módulos e dispositivos inseridos no vestuário dos peões e ciclistas ou integradas nos motociclos para deteção e localização relativa de indivíduos vulneráveis, em tempo real, de forma a prevenir acidentes. Este sistema é provido de sensores de curto alcance que detetam quando um carro se encontra prestes a bater num peão, ciclista ou motociclista e alertam o condutor, permitindo que o mesmo trave ou se desvie da trajetória em que se encontra.

As tecnologias de comunicação *wireless* de curto alcance utilizadas no desenvolvimento deste sistema são sensores infravermelhos, tecnologia de sensação de visão 2D e 3D, radar de microondas, radar laser, *Radio Frequency Identification* (RFID) e *Ultrawideband* (UWB).

Estas tecnologias não são capazes de "ver" através de obstáculos e prever cada cenário. Muitas vezes, devido ao elevado tráfego rodoviário, os utilizadores mais vulneráveis estão localizados em áreas que não se encontram cobertas pelo sistema e este sistema torna-se ineficaz. [20, 21, 22]

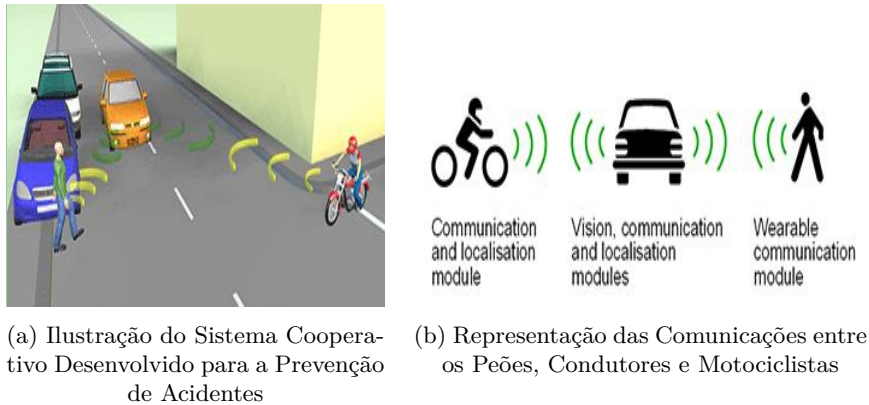


Figura 2.7: Sistema *Watch - Over* [21]

Sistema Aprosys

Outro projeto financiado pela UE que se destacou foi o *Aprosys*, iniciado em 2004 e com duração de 5 anos. Este projeto teve como objetivo geral o desenvolvimento e introdução de tecnologias críticas para o melhoramento da segurança passiva, tendo sido subdividido em 7 subprojetos (SP), 4 deles eram direcionados para os 4 tipos de acidentes diferentes e os restantes abordavam áreas tecnológicas comuns. Um outro objetivo deste projeto foi aumentar o nível de competitividade da indústria automóvel europeia. [23]

O primeiro subprojeto (SP1) foi direcionado para acidentes automóveis e consistiu no desenvolvimento de métodos de teste e avaliação que orientassem o projeto de segurança, de forma a melhorar a segurança de todos os ocupantes do veículo. Este subprojeto trata também do desenvolvimento e demonstração de tecnologias de segurança com intuito de aumentar a segurança para os ocupantes do veículo.

O segundo subprojeto (SP2) foi direcionado para veículos pesados e aborda os métodos de avaliação e sistemas avançados de proteção direcionados para veículos pesados. Desenvolveu-se ainda um Índice de Agressividade de veículos pesados e criaram-se conceitos e estratégias para conciliação entre pedestres, ciclistas e veículos pesados.

Do terceiro subprojeto (SP3) resultaram novos e inovadores métodos de avaliação, sistemas de proteção para automóveis, designados como *Multi-Purpose Vehicles* (MPVs) e sistemas de proteção para peões e ciclistas, denominados como *Sport Utility Vehicles* (SUVs).

O quarto subprojeto (SP4) foi vocacionado para os acidentes que envolvem motocicletas. Este incidiu sobre diversos métodos de avaliação e sobre sistemas avançados para proteção de motocicletas. Foi, ainda, desenhada uma estrutura de resistência ao choque de motocicletas e foram desenvolvidos sistemas de proteção avançados para motociclistas.

No quinto subprojeto (SP5) relativo à biomecânica, retrataram-se novos conhecimentos acerca de mecanismos e critérios de lesões e níveis de tolerância. Relata que se deve concentrar em possíveis ferimentos na cabeça primordialmente e determina novos critérios de lesões frontais e para impactos laterais.

O sexto subprojeto (SP6) recaiu sobre os sistemas de segurança inteligentes, onde é revelado conhecimento e ferramentas que permitam a concepção, implementação e avaliação de sistemas de segurança inteligentes, de forma a obter melhorias na segurança de colisão dos veículos. Foi ainda desenvolvido um sistema de pré-colisão com sensores, algoritmos e atuadores para impactos laterais.

O subprojeto SP7, corresponde aos ensaios virtuais, onde são abordadas ferramentas e métodos para elaboração e avaliação de sistemas avançados de proteção de acidentes, através de simulações numéricas. Neste subprojeto, desenvolve-se ainda uma tecnologia de modelação para situações críticas, modelos de simulação de acidentes e procedimentos de testes virtuais, para os novos e já existentes regulamentos. [20, 24]

Sistema *Pavement Energy Harvesting*

O sistema *Pavement Energy Harvesting* (PEH) foi desenvolvido pela empresa Pavnext e consiste no desenvolvimento de um dispositivo, implementado no pavimento rodoviário, que é capaz de extrair a energia cinética dos veículos que o atravessam, reduzindo, conseqüentemente, a velocidade de circulação, sem qualquer intervenção do condutor.

A energia cinética captada é convertida em energia elétrica, com uma elevada eficiência, e pode ser utilizada em diversas aplicações, como por exemplo, iluminar a zona da travessia de peões, alimentar dispositivos elétricos e até mesmo enviar a energia para a rede ou usá-la para carregar veículos híbridos e elétricos. Este sistema tem ainda instalado, adjacientemente, um armário elétrico que contém baterias que armazenam a energia convertida, para que esta possa ser utilizada quando necessário.

Este sistema é constituído por módulos aplicados ao nível da camada superficial do pavimento rodoviário numa caixa de betão, para que os mesmos não estejam em contacto direto com o solo, facilitando, desta forma, a drenagem e o posicionamento correto dos módulos. Na caixa de betão existe uma parte central, que é o local onde passam os cabos necessários para a geração e para realizar a recolha de dados e denomina-se como corredor central. Este corredor é também o local exato onde os motociclistas devem passar sobre o sistema.

A partir deste sistema, é expectável a recolha de dados acerca do tráfego diário, através da contagem de descidas da tampa, do peso dos veículos, através da medição da descida da tampa, da velocidade dos veículos, através da comparação de tempo de descida entre tampas e ainda acerca de possíveis congestionamentos, se um elevado número de módulos estiverem a ser atravessados.

É pretendido que este sistema seja mais eficiente que as LRV, não só em termos redução de ruído mas também em deter menos impacto sobre os veículos que passam sobre estes sistemas.

O sistema de *Pavement Energy Harvesting*, ilustrado na Figura 2.8, não trata apenas do controlo de velocidade de circulação através do pavimento, mas também da sinalização e iluminação pública inteligente, através de LEDs. A sinalização e a iluminação são alimentadas pelo próprio sistema, através da energia elétrica, que foi convertida.

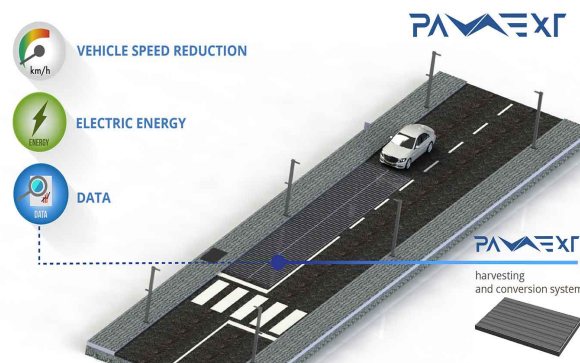


Figura 2.8: Ilustração do Sistema *Pavement Energy Harvesting* da Pavnext

Sistema *Actibump*

O sistema *Actibump*, desenvolvido pela empresa Edeva em 2009, é um sistema de segurança rodoviária inteligente implementado com o intuito de evitar o excesso de velocidade de circulação e melhorar a segurança nas estradas. O *Actibump*, ilustrado na Figura 2.9, reduz apenas a velocidade a veículos que circulem a uma velocidade superior à velocidade limite, o que significa que todos os condutores que cumpram os limites de velocidade não serão prejudicados de forma nenhuma.

Este sistema é instalado na ao nível da faixa de rodagem, num corte no pavimento, e, posteriormente, o pavimento é rematado. Existe um radar que mede a velocidade de cada veículo que se aproxima do sistema e caso, o radar detete que algum veículo circula a uma velocidade superior à velocidade limite, o sistema é ativado e um painel, colocado inicialmente ao nível da faixa de rodagem, desce uns centímetros, causando um alerta para o condutor para que este diminua a velocidade.

[25, 26]

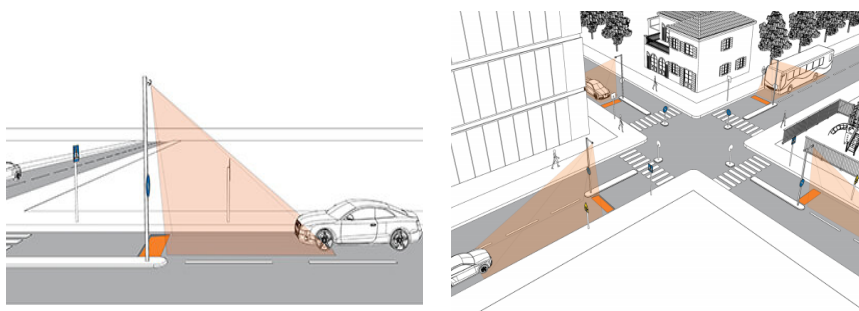


Figura 2.9: Ilustração do Funcionamento Sistema *Actibump* [25]

Tope Inteligente

Em 2011, um grupo de empreendedores de nacionalidade mexicana, juntamente com institutos governamentais e universidades, começaram a trabalhar no desenvolvimento e na conceção de um dispositivo inovador com o intuito de melhorar a segurança rodoviária. Em 2016, esta junção de esforços deu origem à empresa *Inteligencia Vial*, que desenvolveu o Sistema Inteligente Vial (SIV), mais conhecido como Tope Inteligente.

O Tope Inteligente é sistema provido de radares que medem a velocidade a que os veículos circulam e possui dispositivos que sobem e descem, consoante a velocidade de circulação.

Inicialmente, o dispositivo encontra-se elevada, os radares medem a velocidade a que o veículo se aproxima do dispositivo. Caso a velocidade de circulação seja menor ou igual ao limite de velocidade, o dispositivo desce para o nível da faixa de rodagem, como se pode observar na Figura 2.10b, sem causar nenhum incómodo ao condutor.

Caso os radares detetem que o veículo se dirige a uma velocidade superior à velocidade limite, a lombagem mantém-se elevada, como está representado na Figura 2.10a. Quando o radar detete uma infração, não adianta ao condutor reduzir a velocidade quando estiver próximo da lombagem visto que esta não voltará ao nível da faixa de rodagem.

Nas zonas escolares, as lombagens são mantidas elevadas durante o período de entrada e saída dos alunos da escola. No que resta do dia, aos fins de semana e em feriados, o sistema funciona normalmente, isto é, caso um veículo passe acima da velocidade limite, a lombagem mantém-se elevada. Caso contrário, a lombagem desce, para que o veículo possa atravessá-la, sem qualquer desconforto.

Existe também outro modo de funcionamento diferente para este sistema, que ocorre quando numa travessia de peões, algum peão carrega no botão presente no semáforo, despoletando a subida das lombagens, durante um determinado intervalo de tempo, mesmo que os veículos circulem a uma velocidade inferior à velocidade limite, proporcionando uma maior segurança ao peão, durante a travessia.

Este sistema é implementado através da colocação do dispositivo pronto e completo numa abertura, efetuada previamente, no pavimento. [27]



(a) Situações de Excesso de Velocidade (b) Situações de Velocidade Regularmentar

Figura 2.10: Exemplos de Posições do Sistema Topo Inteligente consoante a Velocidade [27]

Sistema Vivaden

Em 2012, a empresa *Movivo* pertencente ao grupo *ISASTUR* desenvolveu o sistema *Vivaden* que se baseia no conceito de lombas inteligentes e se assemelha bastante ao sistema Topo Inteligente, apresentado anteriormente.

Este sistema recorre a sensores de velocidade para detetar se os veículos circulam acima do limite de velocidade definido naquela zona. Caso o veículo se dirija à lomba dentro da velocidade limite, a lomba mantém-se ao nível da faixa de rodagem, como é mostrado na Figura 2.11b e não causa qualquer desconforto ao condutor e aos passageiros, que circulam no veículo. Caso contrário, a lomba é elevada, como se pode observar 2.11a, forçando o condutor a travar.

Este sistema possui sensores capazes de reconhecer a presença de veículos de emergência, que possuem um motivo plausível para excederem o limite de velocidade. Como tal, a lomba mantém-se paralela à faixa de rodagem.

Com o sistema *Vivaden*, a *Movivo* espera que o tráfego se torne mais fluído, poupando combustível gasto desnecessariamente em travagens e acelerações e também aumentar a segurança para peões e condutores. [28, 29]

Sistema *Báden Inteligente de Velocidad*

Em 2010, o sistema *Báden Inteligente de Velocidad* (BIV) foi desenvolvido pela empresa *Badennova* e com ele, pretende-se que haja uma melhoria significativa na segurança rodoviária.

O BIV não possui uma constituição muito complexa, nem mecanismos técnicos de difícil compreensão. Este sistema é preenchido por um fluído com características não-newtonianas e é revestido por uma membrana protetora com alta resistência e durabilidade.



(a) Situações de Excesso de Velocidade (b) Situações de Velocidade Regularizar

Figura 2.11: Exemplos de Posições do Sistema *Vivaden* consoante a velocidade [28]

O BIV comporta-se de diferentes formas, consoante a velocidade de circulação do veículo, isto é, o fluido no interior do sistema possui uma viscosidade diferente para diversos valores de pressão.

Caso os veículos respeitem o limite de velocidade de circulação definido, o fluido comporta-se como se de um líquido se tratasse, não oferecendo qualquer resistência à passagem dos veículos. No entanto, para os veículos que circulem com uma velocidade acima da velocidade máxima, o fluido solidifica, comportando-se como uma lombra normal e causando algum desconforto para o condutor e para os passageiros, alertando-os que se deve circular mais devagar. [30, 31]



(a) Veículo Ligeiro

(b) Transporte Público

Figura 2.12: Comportamento do Sistema BIV perante Diferentes Tipos de Veículos [30]

Sistema *Flex-Drempel*

O sistema *Flex-Drempel*, desenvolvido pela *Total Technical Solutions* (TTS), consiste basicamente numa lombra com altura variável, conforme o peso dos veículos que a atravessam.

No caso de veículos pesados e veículos de emergência, que está representado na Figura 2.13b, a lombra torna-se basicamente plana, enquanto se forem veículos ligeiros, esta funciona como uma LRV, perfeitamente normal, como se pode verificar

na Figura 2.13a. A instalação de sistema é realizada através da colocação do sistema dentro de uma caixa de betão, num corte profundo do pavimento.

Apesar deste sistema respeitar todas normas de ruído, existiam muitas pessoas que o desaprovavam devido ao som que este produz, ao ser atravessado. Como tal, foi desenvolvido, em 2015, o sistema Flex-Drempel 2.0, que apresenta um aumento de velocidade em situações de tráfego intenso e uma redução significativa de ruído. [32, 33]



(a) Veículo Ligeiro



(b) Veículo Pesado

Figura 2.13: Comportamento do Sistema perante Diferentes Tipos de Veículos [34]

2.2 Soluções de Iluminação para Redução de Sinistralidade Rodoviária

Um dos fatores que leva a que a segurança rodoviária seja mais precária durante a noite, é a falta de iluminação. No entanto, existem cada vez mais soluções tecnológicas que propiciam a iluminação das travessias de peões, da sinalização e até mesmo da faixa de rodagem e passeio. De seguida, irão ser apresentadas algumas soluções de iluminação que existem com objetivo de reduzir a sinistralidade rodoviária.

2.2.1 Passadeira *SafetyCross*

O sistema Passadeira *SafetyCross* foi desenvolvido para iluminação de passadeiras em situações de perigo. O sistema quando deteta um peão, ativa módulos LEDs colocados nos marcadores do pavimento antes da passadeira e no poste de sinalização de passadeira, em modo *flash*. A comunicação entre os sensores de peões e os módulos LED é *wireless* e não possui qualquer cablagem na estrada. O aviso luminoso é realizado através de módulos LED amarelos de 200mm, homologados de acordo com a EN 12352, classe L8H e possui ainda uma funcionalidade de redução automática de luminosidade luminosa para otimização de eficiência energética.

Na Figure 2.14 é ilustrado o Sistema *SafetyCross*. Como é possível observar, quando um peão entra na passadeira, os módulos LED estão ativados tanto no pavimento como no poste de sinalização. [35, 36]

Figura 2.14: Ilustração do Sistema *SafetyCross* [35]

2.2.2 Passadeira *CrossFlash*

O sistema Passadeira *CrossFlash*, ilustrado na Figura 2.15, possui módulos LED em todos os postes de sinalização e nos marcadores de pavimento, para alertar os condutores que se estão a aproximar de uma travessia de peões.

Os módulos LED localizados nos sinais funcionam de forma contínua, em modo *flash*, enquanto os marcadores de pavimento se encontram desligados durante o dia e funcionam em modo intermitente durante a noite. Os módulos LED utilizados neste sistema são os mesmos utilizados no sistema Passadeira *SafetyCross*, referido anteriormente. [35]

Figura 2.15: Ilustração do Sistema *CrossFlash* [35]

2.2.3 Soluções Smart City para Sinalização e Iluminação

O Grupo *Industrias Saludes* desenvolveu um sistema denominado como Soluções *Smart City* para Sinalização e Iluminação, que se pode ver na Figura 2.16. Este sistema tem como principal objetivo a inserção de passadeiras inteligentes no mercado. Estas passadeiras incorporam elementos de sinalização, deteção e iluminação com intuito de aumentar a segurança em cruzamentos, para os peões. Como este sistema atua apenas, quando a passadeira está a ser atravessada por peões, mantém os condutores em estado de alerta, minimizando o risco de os mesmos não prestarem atenção à sinalização pelo efeito de repetição, tornando o sistema, desta forma, indispensável em zonas com alto tráfego ou espaços urbanos que apresentem maior risco de atropelamentos, como cruzamentos e vias rápidas.

É um sistema integrado que funciona através de sinais eletrónicos, sensores de deteção e luminárias LED. Os sensores de deteção activam os sinais eletrónicos e as luminárias LED, após a deteção de um peão a atravessar a passadeira ou com intenção de o fazer.

As luminárias LED utilizadas iluminam de forma clara e uniforme as passadeiras.

O sistema de deteção de peões possui um elevado grau de fiabilidade, visto ter sido especialmente desenhado para minimizar a ocorrência de falsos alarmes e para actuar apenas quando necessário.

O sistema pode ser alimentado através de 230V AC ou através de energia solar e dispõe de alta resistência mecânica e ambiental perante condições adversas tais como abrasão, vento, químicos, entre outros. É especialmente apto para trabalhar em ambientes muito húmidos, ou áridos e possui ainda uma eletrónica de controlo protegida contra intempéries. Quando estes sistemas são alimentados através de energia solar é expectável que o sistema possua uma autonomia considerável e um tempo de recarga mínimo. [37]



Figura 2.16: Sistema Soluções *Smart City* para Sinalização e Iluminação [37]

2.2.4 Sistema NEOS Zebra

O sistema *NEOS Zebra* foi criado pela empresa *Schröder* e proporciona um solução de iluminação LED inteligente e dedicada a passadeiras com segurança otimizada.

O sistema é composto por uma coluna quadrada, revestida com riscas horizontais e pretas e por um projetor *NEOS LED*, com lentes desenhadas para garantirem níveis verticais de iluminação com as intensidades necessárias para criar um bom contraste com a iluminação circundante, e condições de visibilidade perfeita dos peões para os condutores que circulam na estrada. É de referir ainda que as cores contrastantes da coluna *ZEBRA* são fundamentais para alertar os condutores da presença de uma passadeira, mesmo durante o dia. Este sistema possui ainda o dispositivo *POHO* da *Schröder*, que permite que este seja conectado a um sensor de movimento.

Quando a passadeira não está a ser utilizada, a intensidade luminosa das luminárias é reduzida para 20% do fluxo total e sempre que o sensor de movimento deteta a aproximação de um peão, a intensidade luminosa das luminárias é colocada a 100%, garantindo que os condutores têm visibilidade perfeita sobre os peões a atravessar a

passadeira. Após 30 segundos sem que o sensor de movimento detete qualquer peão, a intensidade luminosa é reduzida, novamente, para 20% do fluxo total.

Na Figura 2.17a, vê-se como o sistema se comporta quando não existe qualquer peão a atravessar a estrada, enquanto, na Figura 2.17, é possível observar-se o sistema a ser acionado, através da presença de um peão na passadeira. [38]



Figura 2.17: Sistema *NEOS Zebra*[38]

2.2.5 Sistema Iluminação da Passadeira de Peões Inteligente

O sistema Iluminação da Passadeira de Peões Inteligente, desenvolvido pela *HABI-DOM*, tal como o nome indica, é um sistema inteligente de iluminação de passadeiras.

Detém uma enorme durabilidade e eficiência energética considerável e tem como principais objetivos iluminar a área destinada à travessia de peões e dessa forma proporcionar-lhes maior segurança.

Este sistema é constituído por LEDS de elevado desempenho da marca OSRAM, um sistema fotovoltaico, um controlador "inteligente", que gere o sistema de alimentação solar e aumenta o desempenho da luminária, e um sensor de movimento. Possui baixos custos de instalação e operação, proteção IP66 e ainda funcionalidades de redução de brilho.

A comunicação entre dispositivos é *wireless*, através de radiofrequências e o sistema possui 3 modos de funcionamento, sendo que um trata da gestão inteligente do sistema em função da carga acumulada pelas baterias durante o dia, outro funciona com os LEDS no brilho máximo durante um número de horas pré-definidas pelo utilizador e as restantes horas de funcionamento com redução de brilho também definido pelo utilizador e, por fim, outro modo que funciona com brilho máximo durante o número de horas definidas pelo utilizador.

O sistema Iluminação da Passadeira de Peões Inteligente entra em funcionamento quando o sensor de movimento deteta um peão na zona de acesso à passadeira, durante o período noturno. Quando é detetado um peão, a iluminação é ativada e mantém-se desse forma durante um período programável, como se pode constatar na Figura 2.18b. Caso não seja detetados mais peões durante esse intervalo de tempo, a iluminação é desligada e colocada em *standby*, como se encontra na Figura 2.18a. [39, 40]

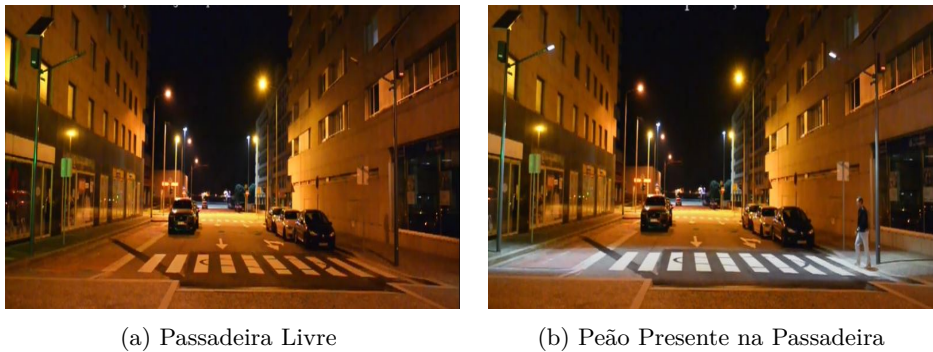


Figura 2.18: Comportamento do Sistema Iluminação da Passadeira de Peões Inteligente [40]

2.2.6 Sistema *AiCross*

O sistema *AiCross* surge de um interesse comum de um grupo de profissionais de diferentes áreas, que consiste no desenvolvimento de uma tecnologia que melhore a segurança rodoviária, através da criação de um dispositivo, integrado na infraestrutura rodoviária, capaz de prevenir lesões e promover uma circulação mais segura, tanto para os veículos como para os peões. [41]

Na atualidade, é cada vez mais comum os peões atravessarem a estrada, absor-tos nos seus próprios telemóveis, sem tomarem as devidas precauções, verificando a existência de tráfego ou se o semáforo se encontra verde ou vermelho. Estas distrações podem levar a atropelamentos com potenciais consequências graves ou mesmo fatais, motivo pelo qual este sistema foi criado.

Este sistema (Figura 2.19) utiliza uma plataforma vibratória, que é acionada sempre que, em simultâneo, o semáforo se encontra vermelho para os peões, existe um veículo a aproximar-se da passadeira e um peão está a entrar na passadeira.

A plataforma, quando acionada, vibra para que o peão seja alertado para o facto de estar a entrar na passadeira enquanto o semáforo se encontra vermelho e que um veículo se encontra a aproximar-se do mesmo e é ainda emitido um sinal acústico para pessoas invisuais.

Caso o carro esteja a aproximar-se da passadeira a uma velocidade superior a 10km/h, é projetada uma mensagem de alerta no pavimento, para que o peão possa reagir a tempo. Esta solução não beneficia apenas peões imersos no seu telemóvel, mas também pessoas de idade, que tendem a olhar o chão, à medida que caminham.

Este sistema está ainda provido de uma câmara de imagem térmica, que sempre que deteta a aproximação de um peão da passadeira, despoleta a ativação de módulos LED que iluminam a travessia, tornando os peões visíveis para os condutores, a uma distância de 50 metros. Quando o veículo se encontra a menos de 30 metros da passadeira, é ativado um sinal eletrónico que emite vários *flash*. [42]

O *AiCross* pode também ser implementado em passadeiras que não possuem qualquer semáforo associado, sendo que a única diferença é que o sistema é acionado quando um veículo é detetado a aproximar-se e um peão entra na passadeira, sem que haja um semáforo a dizer se a passagem é permitida ou não. [41]

Em termos de construção, este sistema possui vários sensores e dispositivos para a emissão de alertas acústicos e luminosos, utiliza materiais advindos da engenharia aeronáutica que lhe conferem maior resistência, rigidez e a altura ideal, para que a passagem contínua, tanto de veículos como de peões, não seja comprometida. [41]

Este sistema pode ser instalado no próprio pavimento, numa travessia pedonal elevada, no passeio ou até mesmo entre o passeio e a estrada. [41]



Figura 2.19: Plataforma Vibratória do Sistema *AiCross* [41]

2.2.7 Sistema Smart Pedestrian Crossing

O sistema *Smart Pedestrian Crossing* tem como principal objetivo reduzir o número de acidentes e, conseqüentemente, aumentar a segurança para os pedestres, em áreas de grande movimento.

Este sistema possui vários sensores que detetam sempre que alguém se aproxima da passadeira e se alguém já se encontra a atravessar a passadeira. Os painéis luminosos, localizados no chão, estão conectados aos sensores e sempre que existe um peão a entrar na passadeira, os painéis acendem, iluminando os peões e fazendo com que os condutores tenham melhor e mais rápida visibilidade sobre os peões. Para além dos painéis do piso, são simultaneamente acendidos dois painéis luminosos verticais, localizados um em cada lado da estrada. [43]

O sistema *Smart Pedestrian Crossing* é acionado, de forma automática, em simultâneo com as restantes luzes públicas, sempre que a luz natural não é suficiente para garantir uma boa visibilidade para os condutores. Este é implementado por diversas empresas em todo o mundo e tem sido utilizado à escala mundial. Por exemplo, este sistema está implementado nas cidades *Barcelona* e *Fuengirola* em Espanha, *Santa Fé* no México e ainda, na cidade Lisboa em Portugal, entre muitas outras.

A empresa responsável pela implementação deste sistema em Lisboa é a STEP-VIAL. Na Figura 2.20 pode-se observar o sistema *Smart Pedestrian Crossing* em funcionamento, em Lisboa. [44]

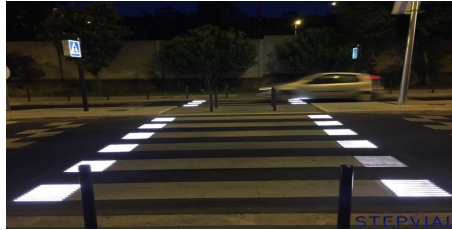


Figura 2.20: Sistema *Smart Pedestrian Crossing* em Lisboa [44]

2.3 *Technology Readiness Level*

O acrónimo TRL, significa *Technology Readiness Level*, e corresponde a um sistema pela NASA, na década de 70, com o intuito de avaliar e categorizar o nível de maturidade de determinada tecnologia.

No ano 2000 foi adotado pela Agência Espacial Europeia [45] e apesar de ser vocacionado para tecnologias de exploração espacial, tem vindo a ser utilizado em outros contextos tecnológicos [46].

Cada tecnologia é avaliada utilizando um conjunto de parâmetros, sendo-lhe atribuído um de 9 índices que indicam um maior ou menor nível de maturidade da tecnologia. Vão do TRL 1 (mais baixo) ao TRL 9 (mais alto), correspondendo cada um deles aos seguintes estados da tecnologia [47, 48, 49]:

- TRL 1 (Princípios básicos observados e relatados) - A pesquisa científica está ainda numa fase inicial e todo o conhecimento obtido é observado e documentado para ser convertido em nova investigação e desenvolvimento;
- TRL 2 (Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulada) - Este nível é atribuído quando os princípios básicos já foram estudados e consolidados e a partir deles podem ser desenvolvidas aplicações práticas. No entanto, as aplicações práticas a este nível são meramente especulativas, visto que não existe qualquer prova ou análise detalhada, que comprove as suposições;
- TRL 3 (Função crítica analítica e experimental e/ou prova característica de conceito) - Nível no qual é iniciada a pesquisa e o desenvolvimento ativo, através da realização de estudos analíticos e estudos em laboratório, de forma a obter validação física das previsões analíticas;

- TRL 4 (Validação de componentes e/ou sistemas em ambiente laboratorial) - Os componentes tecnológicos básicos são integrados com o intuito de estabelecer que as peças trabalharão em conjunto. Os testes de laboratório podem não ser apropriados para todos os sistemas;
- TRL 5 (Validação de sistema semelhante em ambiente relevante) - Os componentes tecnológicos básicos são integrados de forma que a configuração do sistema seja semelhante à aplicação final, em quase todos os aspetos;
- TRL 6 (Escala de engenharia, validação de um sistema similar "protótipo" num ambiente relevante) - Neste nível procede-se à demonstração da tecnologia, através de testes, realizados em ambiente laboratorial de alta-fidelidade ou em ambiente operacional real ou simulado, de um modelo representativo ou de modelo/protótipo do sistema;
- TRL 7 (Demonstração de protótipo de sistema/subsistema em ambiente necessário/espacial) - Este nível requer a demonstração do protótipo do sistema no espaço definido para a sua utilização. O protótipo deve ser semelhante ao caso real ou na escala do sistema operacional que foi planeado e a demonstração do mesmo deve ser também realizada no ambiente previsto;
- TRL 8 (Sistema real completo e qualificado através de teste e demonstração) - A tecnologia deve ser comprovada para trabalhar na sua forma final e nas condições expectáveis. Na maioria dos casos, este nível representa o final do desenvolvimento do sistema;
- TRL 9 (Sistema real operando em toda a gama de condições esperadas) - Representa, em quase todos os casos, a finalização dos últimos acertos no desenvolvimento do sistema. Este passo permite o melhoramento da tecnologia para que este possa ser enviado para o mercado.

Índices TRL dos sistemas de segurança rodoviária apresentados

Na Tabela 2.1 é possível observar os índices TRL dos sistemas de segurança rodoviária que foram apresentados ao longo deste capítulo.

Através da observação da Tabela 2.1, é possível concluir que a maioria dos sistemas de segurança rodoviária, mencionados neste capítulo, possuem um índice TRL 9, visto que se encontram implementados e totalmente funcionais.

O sistema *AiCross* tem um índice TRL 4 devido ao facto do sistema ainda se encontrar na fase de avaliar o desenvolvimento dos componentes, sendo que os mesmos ainda não terem sido testados fora do ambiente laboratorial.

Os sistemas *Aprosys* e *Watch-Over* têm um índice TRL 7, visto que apenas existe um protótipo que foi planeado e demonstrado, num ambiente previsto.

O sistema *Pavement Harvesting Energy* possui um índice TRL 8, porque já foi testado e comprovou-se que este trabalha corretamente e nas condições expectáveis. No entanto, ainda não se encontra presente no mercado.

Índice TRL									
Nome do Sistema	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Watch - Over</i>							×		
<i>Aprosys</i>						×			
<i>Pavement Energy Harvesting</i>								×	
<i>Actibump</i>									×
<i>Tope Inteligente</i>									×
<i>Vivaden</i>									×
<i>Baden Inteligente de Velocidad</i>									×
<i>Flex-Drempel</i>									×
<i>SafetyCross</i>									×
<i>CrossFlash</i>									×
Soluções <i>Smart City</i>									×
<i>NEOS Zebra</i>									×
Iluminação Passadeira de Peões Inteligente									×
<i>AiCross</i>				×					
<i>Smart Pedestrian Crossing</i>									×

Tabela 2.1: Índice TRL para as Soluções de Segurança Rodoviária

Capítulo 3

Estudo Prévio

Neste capítulo irá ser abordado o estudo prévio realizado que consistiu na caracterização das necessidades energéticas da solução de sinalização rodoviária e respetivos dados a monitorizar. A caracterização das necessidades energéticas da solução equivale ao cálculo do consumo energético, tendo em conta todos os elementos do sistema, que se prevê que sejam utilizados.

Este capítulo irá também incidir sobre os efeitos e combinações possíveis ao nível de alertas luminosos e ao número e tipo de elementos constituintes do sistema.

De forma a assegurar que a bateria tenha sempre carga suficiente para alimentar o sistema consideraram-se diversos cenários, com diferente número de pessoas e estações do ano, tendo sido escolhida uma bateria com capacidade suficiente para suportar consumo do pior caso.

A determinação do consumo energético é fundamental, tendo em conta que é um ponto crucial para a escolha dos materiais, que constituirão o sistema fotovoltaico.

Para este sistema pretende-se que existam dois tipos de efeitos de alerta, os efeitos onde existem peões a atravessar, vindos apenas de um lado e outro no qual existem mais do que um peão a atravessar a passadeira em lados opostos, tendo cada um destes efeitos um consumo energético distinto, facto que será analisado em maior detalhe, no decorrer deste subcapítulo.

Analisaram-se diversos cenários, para diferente número de pessoas a atravessarem a passadeira, efeitos luminosos e estações do ano.

As diferentes estações do ano são relevantes para o estudo do consumo energético, visto que no hemisfério norte, a radiação solar por norma é superior na primavera e

no verão face ao outono e inverno, o que interfere com o dimensionamento do painel fotovoltaico, visto que um dos objetivos é minimizar o consumo de energia da rede pública.

O cenário selecionado consiste na estimativa de passagem de 650 peões a atravessarem a passadeira de um só lado e de 175 peões a atravessarem a passadeira de ambos os lados, durante um dia, numa rua que possui duas faixas, uma em cada sentido.

Calcularam-se os consumos energéticos para diversos tipos de ruas, isto é, para ruas com uma só faixa de rodagem, com duas faixas num só sentido, com duas faixas em sentidos opostos, 3 faixas com o mesmo sentido e sentidos opostos e ainda para ruas com 4 faixas com o mesmo sentido e sentidos opostos.

No entanto, neste capítulo irão ser explicados em detalhe todos os passos realizados, o consumo energético da sinalização e do *hardware* numa rua de 2 faixas em sentidos opostos e estima-se que passarão 650 pessoas pela passadeira ou de um lado ou do outro e 175 pessoas de ambos os lados, em simultâneo.

3.1 Consumo Energético Associado à Sinalização da Travessia de Peões

Neste sistema, o elemento que terá o consumo energético mais significativo serão os atuadores do sistema. De forma a garantir que a travessia pedonal estará devidamente sinalizada, optou-se pela utilização de fitas de LEDs, que funcionarão como os atuadores do sistema, para que os efeitos de luzes sejam obtidos e se aumente a segurança rodoviária, como planeado.

As fitas de LEDs estarão localizadas, dentro de um marcador, na pavimentação e terão como principal propósito alertar os condutores de que se aproximam da travessia de peões e que existem peões a circular na passadeira, sempre que seja esse o caso.

Este tipo de alertas é crucial em situações que existe pouca iluminação pública sobre as passadeiras, tornando mais difícil a deteção de peões, por parte do condutor, devido a falta de visibilidade e é expectável que a inserção deste tipo de soluções tenha um impacto significativo na sinistralidade rodoviária.

Na escolha de uma fita de LED há diversos aspetos a ter em conta, como por exemplo, a tensão de alimentação, o tamanho dos *chips*, que correspondem aos díodos que emitem a luz, e a distância entre eles ao longo da fita.

O tamanho dos *chips* é importante porque quanto maior for o *chip*, maior será a intensidade de luz emitida. No entanto, caso o objetivo seja emitir uma luz intensa e homogénea, não é apenas o tamanho dos *chips* que fará isso ocorrer, mas também a distância que os separa, até porque se os *chips* estiver muito separados, dá a impressão de serem feixes de luz.

Outro aspeto a considerar na seleção de uma fita de LED é escolher se se pretende uma fita de LED de luz branca, uma RGB ou uma RGBW.

Uma fita de LED de luz branca, possui *chips* que apenas emitem luz branca, no entanto, existem fitas brancas com diferentes temperaturas de cor, isto é, a luz emitida pode ser mais azul ou mais amarela.

Uma fita de LED RGB é constituída por *chips* que emitem luz nas cores vermelha, verde e azul, que combinadas resultam noutras cores, como a cor laranja que será utilizada ao longo deste projeto.

As fitas LED RGBW representam a junção de ambas as fitas mencionadas anteriormente, ou seja, possuem tanto *chips* RGB como *chips* que emitem luz branca e possibilitam a emissão de dois tipos de luz em simultâneo. [50]

3.1.1 Consumo Energético Associado às Fitas de LEDs de Luz Branca

Neste projeto, irão ser utilizados 2 tipos de fitas de LED, fitas de LED de luz branca e fitas de LED RGB e todos os marcadores que estarão embutidos no pavimento, terão no seu interior 9 segmentos de cada uma das fitas de LED.

A fita de LED de luz branca selecionada para integrar o sistema tem as seguintes características:

Tensão de Alimentação (V)	12
Nº de LEDs	300
Comprimento da Fita (m)	5
Potência (W)	28
Tipo de LEDs	SMD5050

Tabela 3.1: Principais Características da Fita de LED de Luz Branca [51]

De forma a calcular a consumo energético associada a esta fita de LED, é necessário calcular o valor da corrente da fita e, posteriormente, a corrente consumida por cada segmento de fita e ainda, a corrente consumida por 9 segmentos de fita, que integrarão o marcador embutido no pavimento.

Na Tabela 3.1 é possível observar que a tensão de alimentação é 12V e a potência de 28W e através destes valores é possível calcular a corrente na fita de LED, através da seguinte Equação:

$$P_{fita} = U_{fita} \times I_{fita} \Leftrightarrow I_{fita} = \frac{P_{fita}}{U_{fita}} = \frac{28}{12} = 2.33A \quad (3.1)$$

O resultado obtido na Equação 3.1 corresponde ao valor de corrente consumido pela fita, com a sua luminosidade máxima. No entanto, para o cenário dimensionado supõe-se que a fita de LED não trabalhará a 100% de luminosidade durante

o dia inteiro, mas sim a 75%, em média diariamente. Este valor representa apenas uma estimativa, visto que as horas do dia com radiação solar intensa diferem significativamente, ao longo das diferentes estações do ano.

Durante o desenvolvimento de projeto, espera-se que os LEDs apresentem diferentes intensidades, de acordo com a radiação solar presente naquele momento. Esse ajuste será implementado pelo sistema de controlo, que possuirá um sensor de luminosidade, que permitirá ao mesmo enviar mensagens para os LEDs para que este aumente ou diminua a intensidade.

Por exemplo, durante o período noturno, a luz natural é praticamente nula e a luz artificial nem sempre é muito forte, ou seja, não será necessário que os LEDs se encontrem a emitir luz na sua intensidade máxima, enquanto durante os períodos em que a radiação solar é elevada, a intensidade dos LEDs deve estar no máximo para que o efeito seja visível para o condutor.

Este ajuste de luminosidade representa um aspeto crucial relativamente à sustentabilidade do sistema porque quando os LEDs estão com a intensidade máxima têm um maior consumo energético. Para além da questão da sustentabilidade, é necessário ter em consideração que os LEDs com o brilho máximo podem encandear os condutores.

Na Equação seguinte, calcula-se a corrente consumida pela fita de LED de luz branca, supondo que esta, em média, trabalhará apenas com 75% da sua intensidade máxima:

$$I_{fita75\%} = I_{fita} \times 0.75 = 1.75A \quad (3.2)$$

O resultado obtido na Equação 3.2, passará representar a corrente consumida pela fita de LED (I_{fita}) dimensionada para este sistema.

Sabendo que um segmento é constituído por 3 LEDs e que esta fita possui 300 LEDs, segundo a Tabela 3.1, sabe-se que esta fita é constituída por 100 segmentos. Posto isto, é possível obter o valor de corrente para cada segmento de fita, através do resultado da Equação 3.2 e do número de segmentos de cada fita.

$$I_{segmento} = \frac{I_{fita}}{N_{segmentos}} \Leftrightarrow I_{segmento} = \frac{1.75}{100} = 17.5mA \quad (3.3)$$

Como um marcador possui 9 segmentos de fita de LED branco e 9 segmentos de fita de LED RGB, é necessário calcular o valor de corrente de 9 segmentos de fita de LED de luz branca.

$$I_{9segmentos} = I_{segmento} \times N_{segmentos} \Leftrightarrow I_{9segmentos} = 17.5 \times 9 = 157.5mA \quad (3.4)$$

3.1.2 Consumo Energético Associado às Fitas de LEDs RGB

Tal como referido anteriormente, no interior dos marcadores que estarão embutidos no pavimento, estarão dois tipos de fitas de LED, as fitas de LED de luz branca e as fitas de LED RGB, e de forma a calcular o consumo energético que cada marcador acarreta é necessário calcular os consumos energéticos para cada tipo de fita de LED.

O consumo energético das fitas de LED de luz branca foi calculado ao longo do Subcapítulo 3.1.1 e durante este Subcapítulo será calculado o consumo energético associado às fitas de LED RGB.

O cálculo do consumo energético relativo às fitas de LED RGB será semelhante ao cálculo efetuado no Subcapítulo anterior, irá ser realizada uma breve caracterização das fitas de LED RGB e proceder-se-á ao cálculo efetivo de corrente consumida por cada segmento da fita de LED RGB.

Na Tabela 3.2, estão representadas as características principais da fita de LED RGB selecionada.

Tensão de Alimentação (V)	12
Nº de LEDs	300
Comprimento da Fita (m)	5
Potência (W)	72
Tipo de LEDs	SMD5050

Tabela 3.2: Principais Características da Fita de LED RGB [52]

Através da Tabela 3.2 é possível verificar que a fita de LED RGB selecionada é alimentada a 12V, possui uma potência de 72W e é constituída por 300 LEDs. Com estes dados é possível calcular a corrente que a fita consumirá, através da Equação seguinte:

$$P_{fita} = U_{fita} \times I_{fita} \Leftrightarrow I_{fita} = \frac{P_{fita}}{U_{fita}} = \frac{72}{12} = 6A \quad (3.5)$$

Como foi referido no Subcapítulo 3.1.1, cada segmento de LEDs é constituído por 3 LEDs. Posto isto, sabe-se que a fita de LED RGB escolhida é constituída por 100 segmentos e a corrente consumida por cada segmento, é dada pela Equação 3.6.

$$I_{segmento} = \frac{I_{fita}}{N_{segmentos}} \Leftrightarrow I_{segmento} = \frac{6}{100} = 60mA \quad (3.6)$$

Supondo que as 3 cores, que constituem o LED RGB, consomem a mesma quantidade de corrente considera-se que cada uma das cores consome 20mA.

A cor que se selecionou para integrar a sinalização do pavimento foi o laranja, visto que é a cor que as pessoas normalmente associam à precaução. Para que a fita de LED RGB produza qualquer cor é necessário combinar as 3 cores RGB. O laranja que se definiu possui o código RGB (255,140,0), e está representado na Figura 3.1.

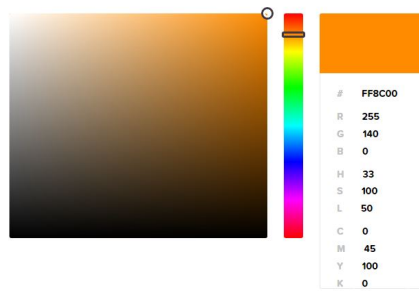


Figura 3.1: Código RGB da cor laranja selecionada

O resultado obtido na Equação 3.6 corresponde à corrente consumida caso o código RGB fosse (255,255,255), por isso é necessário calcular as correntes associadas às 3 cores que constituem o RGB.

Como o valor associado à cor vermelha (R) no código é de 255, que é o máximo, sabe-se que a corrente consumida pela cor vermelha (I_R) é de 20mA, visto que é o valor máximo de corrente para cada cor.

No caso da cor verde, o valor é de 140, logo para calcular a corrente consumida pela cor verde (I_G) pode-se recorrer a uma regra de três simples, representada na Equação 3.7.

$$I_G = \frac{140 \times 20}{255} = 10.98mA \quad (3.7)$$

Como no Código RGB, a cor azul (B) é nula, a corrente consumida pela cor azul (I_B) será, conseqüentemente, 0A.

Após determinar o valor de corrente que todas as cores consomem, é possível calcular a corrente que cada segmento laranja consome, através da soma dos 3 valores de corrente de cada cor, tal como está representado na Equação .

$$I_{\text{SegmentoLaranja}} = I_R + I_G + I_B = 20 + 10.98 + 0 = 30.98mA \quad (3.8)$$

Tal como ocorreu com a fita de LED de luz branca, o resultado obtido na Equação 3.8 corresponde ao valor que a fita de LED RGB consumiria se a intensidade estivesse constantemente a 100%. No entanto, no dimensionamento do sistema, estimou-se que a fita de LED RGB, tal como a fita de LED de luz branca, funcionaria, em média, com 75% da intensidade, por isso é necessário calcular o valor da corrente que o segmento laranja consome com apenas 75% da intensidade, através da Equação seguinte.

$$I_{\text{Segmento75\%}} = I_{\text{Segmento}} \times 0.75 = 23.23mA \quad (3.9)$$

De seguida, calcula-se a corrente consumida por 9 segmentos de LEDs de cor laranja com 75% da intensidade, através da Equação 3.10.

$$I_{9segmentos} = I_{segmento} \times N_{segmentos} \Leftrightarrow I_{9segmentos} = 23.23 \times 9 = 209.1mA \quad (3.10)$$

3.1.3 Consumo Energético Associado aos Marcadores Embutidos em 2 Faixas com Sentidos Opostos

Para cada faixa de rodagem, estarão embutidos no pavimento 6 ou 12 marcadores, dependendo se é uma rua em que as diferentes faixas possuem o mesmo sentido ou têm sentidos opostos, respetivamente.

Na Figura 3.2 está representado um cenário, no qual existem duas faixas de rodagem que têm o mesmo sentido de circulação. Através desta Figura, é possível observar que existem 12 marcadores implementados nas duas faixas, sendo que cada faixa possui 6 marcadores.

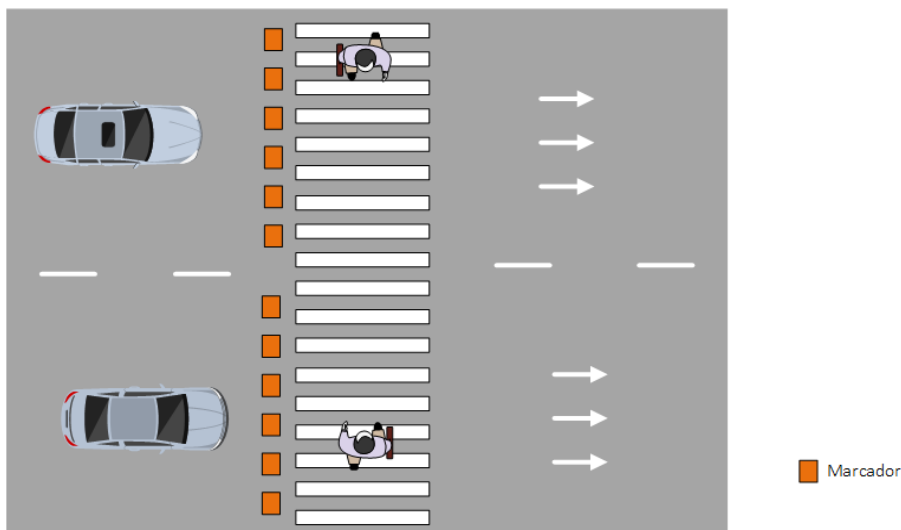


Figura 3.2: Cenário com 2 Faixas no mesmo sentido

No entanto, para um cenário que exista uma rua com 2 faixas de rodagem com sentidos opostos, como está representado na Figura 3.3, já são necessários 24 marcadores para sinalizar a sinalização da passadeira.

É de realçar ainda que o cenário representado na Figura 3.3, comparativamente ao cenário representado na Figura 3.2, possui implementado o dobro dos marcadores, embora tenha o mesmo número de faixas de rodagem. Isto ocorre, devido ao facto de a passadeira ter de estar sinalizada de uma ponta à outra e quando existem veículos a aproximarem-se da passadeira nos dois sentidos, ser necessário sinalizar a travessia de peões nos dois sentidos.

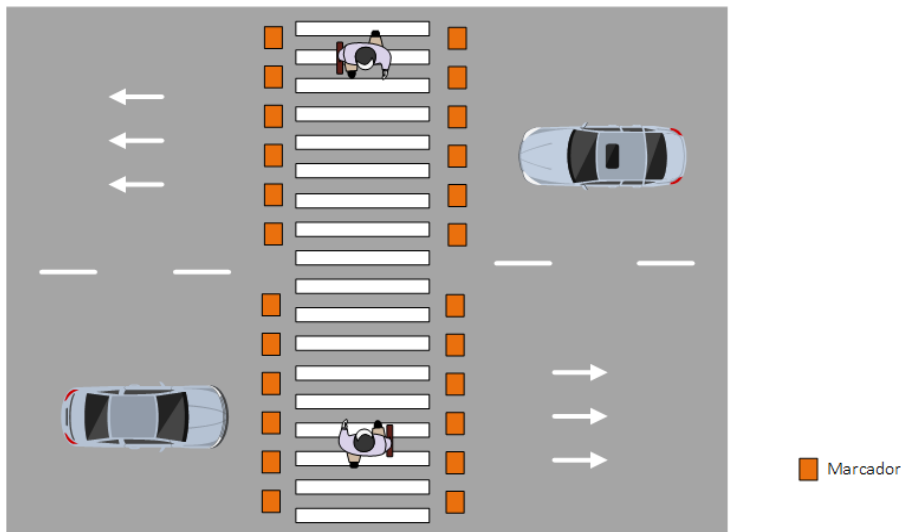


Figura 3.3: Cenário com 2 Faixas de Sentidos Opostos

Nesta secção será calculado o consumo energético associado aos marcadores embutidos em 2 faixas de rodagem, com sentidos opostos, visto que é esse o cenário escolhido para o desenvolvimento do projeto. Através da Figura 3.3, é possível reparar que é necessário implementar 24 marcadores para que os efeitos luminosos sejam realizados para 2 faixas de sentidos opostos. No entanto, antes de se obter o cálculo do consumo energético dos 24 marcadores, é necessário calcular o consumo energético para só um marcador.

Como já foi mencionado anteriormente, todos os marcadores estão embutidos no pavimento e no interior dos mesmos, estão 9 segmentos de fita de luz branca e 9 segmentos de fita de LED RGB. Posto isto, sabe-se que o cálculo do valor de corrente que cada marcador consome (I_{marcador}), resultará da soma das correntes resultantes das Equações 3.4 e 3.10, como é possível observar na Equação 3.12.

$$I_{\text{marcador}} = I_{9\text{SegmentosBranco}} + I_{9\text{SegmentosRGB}} = 157.5 + 209.1 = 366.6mA \quad (3.11)$$

Tendo em conta resultado da Equação 3.12, obtém-se o valor da corrente para os 24 marcadores que constituem as 2 faixas com sentidos opostos, através da Equação seguinte:

$$I_{24\text{marcadores}} = I_{\text{marcador}} \times 24 = 8.8A \quad (3.12)$$

3.1.4 Consumo Energético para Efeitos de Peão de 1 só Lado

Nesta secção irá ser calculado o valor de Potência e, posteriormente, de Energia consumido sempre que um peão atravessa a passadeira.

Através do resultado da Equação 3.12, sabe-se a quantidade de corrente que todos os marcadores consomem para o cenário pretendido e sabe-se ainda que o valor da tensão consumida é 12V. Como já se sabe o valor da corrente e tensão gasta durante o efeito de peão de 1 lado, é possível calcular-se a potência consumida, através da Equação seguinte:

$$P = U \times I = 12 \times 8.8 = 105.6W \quad (3.13)$$

De seguida, procede-se ao cálculo da Energia consumida, sabendo que o efeito luminoso de peão de 1 só lado dura 12 segundos. Apesar de o efeito durar em si 12 segundos, a soma do tempo em que os marcadores estão ligados é igual a 24 segundos, porque, neste caso, há marcadores dos dois lados da travessia de peões.

$$P = \frac{E_{Efeito1Lado}}{\Delta t} \Leftrightarrow E_{Efeito1Lado} = P \times \Delta t = 105.6 \times 24 = 2534.4J \quad (3.14)$$

3.1.5 Consumo Energético para Efeitos de Peão de Ambos os Lados

No efeito em que pelos menos dois peões se encontram a atravessar, provenientes dos dois lados da passadeira, a corrente consumida em cada instante vai ser o dobro, visto que para produzir este efeito luminoso, existirão sempre dois marcadores a consumir corrente em simultâneo. Posto isto, a corrente consumida ao realizar este efeito é 17.6A, como é possível verificar na Equação 3.15.

$$I = 8.8 \times 2 = 17.6A \quad (3.15)$$

Sabendo que ambas as fitas de LED são alimentadas a 12V, é possível calcular a potência, referente ao efeito de ambos os lados, através da Equação seguinte.

$$P = U \times I = 12 \times 17.6 = 211.2W \quad (3.16)$$

A energia consumida por este efeito é dada pela multiplicação da potência, obtida na Equação 3.16, pelo intervalo de tempo em que os marcadores se encontram ligados, que é igual a 24s.

$$E = P \times \Delta t = 211.2 \times 24 = 5068.8J \quad (3.17)$$

3.1.6 Consumo Energético Total Associado à Sinalização da Travessia de Peões

Nesta secção será calculado o consumo energético total associado à sinalização da travessia de peões, através da Equação, tendo em conta que para este cenário, estima-se que o efeito de peão proveniente de apenas um lado ocorre 650 vezes e o efeito de

peões de ambos os lados ocorre 175, durante um dia.

$$\begin{aligned} E_{total} &= N_{Efeito1Lado} \times E_{Efeito1Lado} + N_{Efeito2Lados} \times E_{Efeito2Lados} = \\ &= 650 \times 2534.4 + 175 \times 5068.8 = 2534400J = 704Wh \end{aligned} \quad (3.18)$$

3.2 Consumo Energético Associado ao Controlo da Sinalização da Travessia de Peões

Apesar de serem as fitas de LEDs que representam a maior percentagem de consumo energético desta parte do sistema, os microcontroladores que efetuam o controlo das mesmas também possuem um consumo energético associado, que será abordado ao longo desta secção.

Começou-se por calcular a potência consumida por cada microcontrolador, através da Equação 3.19, sabendo que os microcontroladores a utilizar são os AT-Mega328P e que estes possuem uma tensão operacional de 5V e uma corrente típica de 40mA.

$$P = U \times I = 5 \times 0.040 = 0.2W \quad (3.19)$$

De acordo com a estimativa de peões, estabelece-se que, em média, passariam na travessia de peões um total de 1000 pessoas, diariamente, e que cada peão demora 4 segundos a atravessar a passadeira. Posto isto calcula-se o período de tempo, durante o qual os microcontroladores estariam a funcionar através da Equação seguinte.

$$\Delta t = N_{pessoas} \times \Delta t_{passagem} = 1000 \times 4 = 4000s \quad (3.20)$$

Como o consumo energético deve ser sobredimensionado, supõe-se que cada microcontrolador estaria a funcionar durante 8000 segundos, o dobro do resultado obtido na Equação 3.20. É necessário ainda determinar qual a percentagem de tempo diário é que os 8000 segundos representam num dia inteiro e esse cálculo pode ser obtido pela regra de 3 simples seguinte.

$$\Delta t = \frac{8000 \times 24}{86400} = 2.22h/dia \quad (3.21)$$

Tendo em conta ainda que o efeito é realizado 2 vezes e que existirão 24 microcontroladores (um microcontrolador para cada marcador), calcula-se a energia total consumida pelos 24 microcontroladores, através da Equação 3.22.

$$E = P \times \Delta t \times N_{efeitos} \times N_{microcontroladores} = 0.2 \times 2.22 \times 2 \times 24 = 21.31Wh \quad (3.22)$$

3.3 Consumo Energético Total do Sistema

O consumo energético diário total do sistema é dado pela soma do consumo energético associado aos microcontroladores do sistema de controlo de sinalização e do consumo energético associado à sinalização da travessia de peões, obtidos nas Equações 3.22 e 3.18, respetivamente.

$$E_{total} = E_{Sinalização} + E_{microcontroladores} = 704 + 21.31 = 725.31Wh \quad (3.23)$$

Na Equação 3.23, está representado o valor total relativo ao consumo energético relativo à sinalização da travessia de peões, para o qual o sistema fotovoltaico terá de ser dimensionado para que este seja capaz de garantir as necessidades energéticas do sistema.

Capítulo 4

Arquitetura do Sistema

Neste capítulo irá ainda ser apresentada a arquitetura do sistema desenvolvido. Também neste capítulo será explicada a função de cada módulo e dos dispositivos que os constituem. Por fim irá ser feita uma abordagem teórica às interfaces série RS-485 e USART e ainda ao funcionamento de cada um dos elementos que constituem o sistema.

A arquitetura do sistema consiste, basicamente, numa representação formal do sistema, na qual estão esquematizadas todas as funcionalidades de todos os componentes que constituem o sistema, de forma organizada para facilitar a compreensão acerca das estruturas e comportamentos do sistema.

O sistema que se pretende desenvolver baseia-se em dois subsistemas distintos, o circuito de potência e o sistema de controlo, que quando interligados, formam o sistema geral. De forma a possibilitar uma melhor perceção da arquitetura geral do sistema, cada bloco será analisado em detalhe individualmente, isto é, serão abordados os funcionamentos, as funções que desempenham no sistema e as principais características de cada elemento que constitui o sistema.

A arquitetura representada na Figura 4.1, esquematiza os elementos que constituem o Circuito Potência, o Sistema de Controlo e o respetivo funcionamento. É possível observar a existência de 9 blocos brancos, que representam os 9 elementos mais importantes para o funcionamento do Circuito de Potência, e ainda na existência de 4 blocos cinzentos que retratam os dados analógicos que o microcontrolador recebe. Estes dados estão representados na arquitetura, porque caso o microcontrolador não os receba e interprete devidamente, este subsistema não funcionará.

A laranja é possível observar os 3 blocos principais que constituem o Sistema de Controlo e é possível ainda verificar que comunicam entre si, através do protocolo de comunicação RS-485.

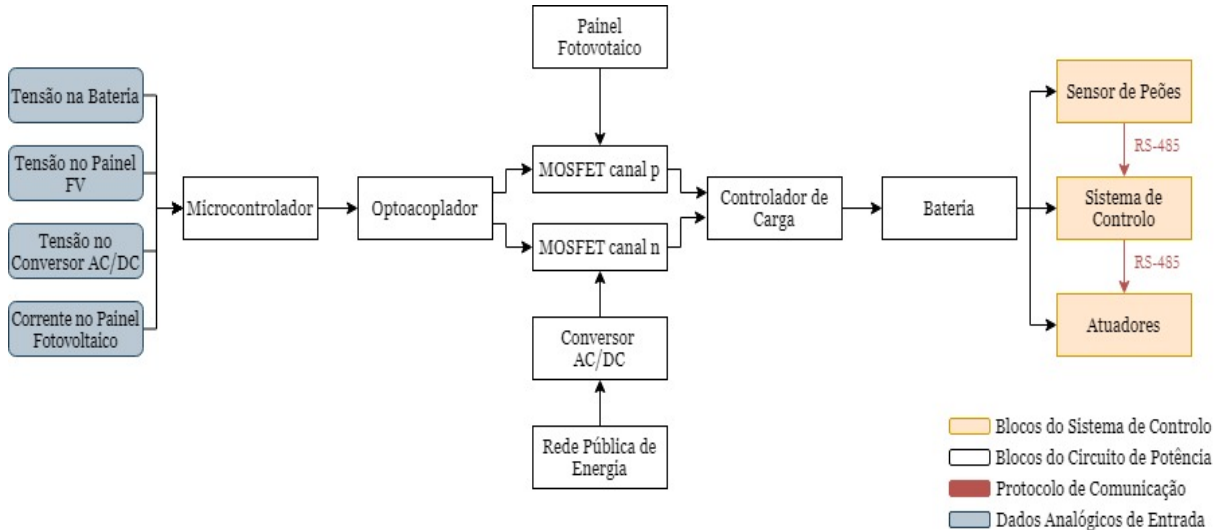


Figura 4.1: Arquitetura Geral do Sistema

O Circuito de Potência consiste no subsistema que estabelece se a bateria é alimentada pelo painel fotovoltaico ou pela rede pública de energia.

O painel fotovoltaico produz tensão DC, enquanto a rede pública de energia produz tensão AC, daí a importância de ter ligado à rede pública de energia, um Conversor AC/DC. O conversor AC/DC será o elemento do sistema que tem como função converter a tensão AC, proveniente da rede pública de energia, em tensão DC, para que seja possível alimentar a bateria.

O elemento responsável por decidir se a bateria será alimentada pelo painel FV ou pelo conversor AC/DC é o microcontrolador, através da obtenção e análise dos valores das tensões da bateria, do conversor AC/DC e do painel fotovoltaico e do valor da corrente do painel FV.

O microcontrolador está constantemente a ler os valores de tensões e corrente e, através de condições pré-definidas que dependem dos valores lidos, define qual dos dois elementos alimenta a bateria. Tal como está constantemente a ler os dados que necessita, também está constantemente a verificar as condições e a enviar dois sinais digitais de cada vez. Cada um desses dois sinais é enviado para um dos dois *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors (MOSFETs)* que constituem este sistema. Um dos *MOSFETs* é do tipo canal p e outro é do tipo canal n e neste sistema pretende-se que ambos funcionem como interruptores.

Os sinais digitais provenientes do microcontrolador fazem com que um dos *MOSFETs* se comporte como um interruptor fechado e outro como um interruptor aberto. Tendo em conta que um dos *MOSFETs* se encontra como interruptor aberto e o outro

fechado, será o que se encontra como interruptor fechado que continuará a conduzir e é desta forma que se determina se é o painel fotovoltaico ou o conversor AC/DC que alimenta a bateria.

Entre o microcontrolador e os *MOSFETs*, existe ainda um acoplador ótico, que é responsável por manter o microcontrolador isolado do restante circuito, visto que depois do acoplador ótico as correntes e as tensões são elevadas.

À saída dos *MOSFETs* encontra-se ainda ligado o controlador de carga, que é responsável por gerir a carga e a descarga das baterias, que, por sua vez, está ligado à bateria.

Resumidamente, tanto o painel FV como o conversor AC/DC estão ligados cada a um ao seu *MOSFET*. Os *MOSFETs* comportam-se como interruptores (*switches*). Caso o interruptor esteja aberto, nenhuma tensão passará para o resto do sistema. No entanto, caso esteja o interruptor esteja fechado, a tensão e a corrente fluirão pelo resto do circuito.

Quem define se os *MOSFETs* se encontram abertos ou fechados, é o microcontrolador, através do envio de sinais digitais que "fecham" ou "abrem" os *MOSFETs*. O microcontrolador só é capaz de tomar essa decisão através da leitura e interpretação dos dados analógicos da tensão da bateria, painel fotovoltaico e conversor AC/DC.

A seguir aos *MOSFETs* encontra-se o controlador de carga que estabiliza a tensão a ser enviada para a bateria, maximizando a eficiência de carga e a vida útil da bateria.

A bateria, por sua vez, representa o sistema de alimentação do sistema de controlo, ou seja, se o circuito de potência não funcionar corretamente, o sistema de controlo também não funcionará, em consequência.

O sistema de controlo, como é possível verificar na Figura 4.1, é constituído pelos sensores de peões, pelo sistema responsável por receber os dados dos sensores e enviar ordens para os atuadores. Os atuadores devem receber as mensagens, interpretá-las e atuar, de acordo com as instruções que lhe são dadas na mensagem recebida.

De seguida serão abordados, de forma individual, todos os blocos que constituem a arquitetura geral do sistema.

4.1 Painel Fotovoltaico

Um painel fotovoltaico (FV) é constituído por múltiplas células fotovoltaicas. As células fotovoltaicas convertem energia luminosa, proveniente de qualquer fonte de luz, em energia elétrica e a energia que produzem é considerada "limpa", pois não existe quase poluição nenhuma associada.

Além de ser um método de obtenção de energia extremamente ecológico, também é uma forma muito rentável, visto que a quantidade de energia recebida anualmente do Sol pela terra é superior à energia produzida num ano na Terra. [53]

Existem vários tipos de células fotovoltaicas e a diferença entre elas são os materiais que as constituem e a forma como são obtidas. As células de 1ª geração são compostas por silício policristalino e monocristalino e as células de 2ª geração são constituídas por células de película fina, como as células de silício amorfo, telureto de cádmio, cobre-índio-gálio-selênio, entre outras.

As células de silício policristalino e monocristalino representam aproximadamente 80% do mercado mundial, porque são significativamente mais eficientes que a maioria das células de película fina. Algumas das células de película fina têm apresentado maior eficiência dos que as células de 1ª geração a nível laboratorial. No entanto, continuam a ter uma eficiência reduzida em aplicações comerciais. As vantagens principais das células de 2ª geração sobre a geração anterior são a redução da quantidade de material utilizado e, conseqüentemente, desperdiçado na produção de painéis e o decréscimo significativo relativo ao custo de produção das mesmas. [54]

Ainda dentro das células de silício cristalino, existe alguma discrepância a nível de eficiência entre as células de silício monocristalino e policristalino. As células de silício monocristalino, tal como o nome indica, são constituídas por um só cristal, o que resulta numa menor ocorrência de imperfeições, conseqüentemente, tornando-as mais eficientes quando comparadas às células policristalinas. No entanto, as células policristalinas representam uma solução mais económica visto que o custo de produção é significativamente inferior e compensa, ao ponto de que mesmo que sejam preciso uma maior área de painel policristalino para produzir a mesma quantidade de energia que uma área inferior de células de silício monocristalino. [55]

Tendo em conta que este subsistema foi dimensionado para um cenário em que é necessário que o painel produza 725.31Wh durante um dia, em que o painel deve funcionar durante, aproximadamente 6 horas, calculou-se a potência que o painel deveria produzir, através da seguinte equação:

$$P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{725.31}{6} = 121.9W \quad (4.1)$$

Como é possível observar na Equação 4.1, é necessário um painel fotovoltaico ou uma associação de painéis em paralelo que possuam cerca de 120W. Devido a restrições de espaço a nível do local onde o projeto irá ser implementado, optou-se por associar, em paralelo, 2 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de 60W, visto que os painéis de 120W.

Os painéis fotovoltaicos elegidos são da *Velleman* e têm as seguintes características:

Através da Equação 4.2 é possível calcular a potência máxima dos 2 painéis associados em paralelo, sendo que o n corresponde ao número de painéis associados em paralelo, o I corresponde à corrente na potência máxima e, por fim, o U que

Dimensões (mm)	670x600x30
Potência Máxima (P_{max})	60W
Tensão em Pmax (V_{mp})	20.2V
Corrente em Pmax (I_{mp})	2.97 A
Número de Células Fotovoltaicas	36
Tipo de Células Fotovoltaicas	Silício Policristalino

Tabela 4.1: Principais Características do Painel Fotovoltaico [56]

corresponde à tensão na potência máxima. Os valores substituídos na Equação 4.2 são os dados pertencentes à Tabela 4.1.

$$P_{max} = (n \times I) \times U = (2 \times 2.97) \times 20.2 = 120W \quad (4.2)$$

Ainda na 3ª linha da Tabela 4.1, é possível observar a tensão que é entregue a uma carga, neste caso a uma bateria, na potência máxima do painel, que corresponde ao valor da tensão nominal. Como a tensão nominal é de 20.2V e a tensão máxima da bateria é de 13.6V, a margem de carga da bateria é bastante grande, o que indica que caso o painel esteja com uma tensão superior ao valor da tensão da bateria, esta irá carregar e quanto maior for a tensão do painel, menor será o intervalo de tempo que a bateria demorará a carregar completamente.

Na Figura 4.2 está representado o painel fotovoltaico escolhido para integrar o sistema, cujo as características estão descritas na Tabela 4.1.



Figura 4.2: Painel Fotovoltaico [56]

4.2 Conversor AC/DC

Em situações em que a bateria se encontra com uma carga abaixo de um determinado valor e o painel FV não possui condições atmosféricas para carregar devidamente a bateria, é necessária que esta seja carregada pela rede pública de energia. No entanto, a tensão proveniente da rede é tensão AC e é essa a razão que leva à necessidade de implementação de um conversor AC/DC.

O conversor AC/DC é o elemento responsável pela conversão da tensão AC proveniente da rede pública de energia em tensão DC, para que seja possível a bateria ser carregada pela rede, visto que a bateria é de 12V DC.



Figura 4.3: Conversor AC/DC [57]

O conversor AC/DC que se selecionou está representado na Figura 4.3. Este conversor pode ser alimentado com valores de tensão AC compreendidos entre 85 e 265V e produz uma tensão de saída de aproximadamente 12V DC, para seja possível alimentar a bateria. [57]

4.3 Microcontrolador

O microcontrolador é o elemento deste subsistema encarregue de decidir se a bateria é alimentada pelo painel FV ou pela rede pública de energia. Para tomar a decisão, o microcontrolador deve ser capaz de ler os valores das tensões da bateria, do painel FV e do conversor AC/DC e os valores de corrente, de forma a verificar as condições que determinam que elemento do sistema alimenta a bateria, e enviar sinais digitais para instruir os *MOSFETs* para o tipo de comportamento que devem ter.

O microcontrolador elegido foi o ATMega328P, fabricado pela Microchip, que possui alta *performance*, baixo consumo e é um microcontrolador de 8-bit baseado na arquitetura AVR RISC. [58]

Na Figura 4.4a, está representado o ATMega328P e na Figura 4.4b é possível observar os pinos pertencentes ao ATMega328P.

As principais características do microcontrolador, representado na Figura 4.4, estão representadas na Tabela 4.2.

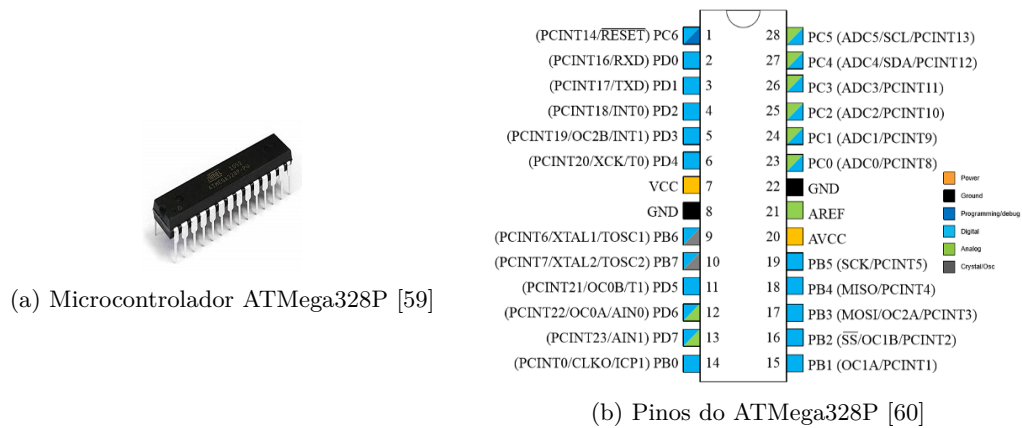


Figura 4.4: ATmega328P e respectivos Pinos

CPU	8-bit AVR
Velocidade de CPU	Até 1MHz
Número de Pinos	28
Tensão Operacional (V)	1.8 - 5.5
Protocolos de Comunicação Compatíveis	USART, SPI, I ² C
Número de Canais ADC	6 canais com 10 bits de resolução

Tabela 4.2: Principais Características do ATmega328P [58]

Através da Tabela 4.2 e da Figura 4.4b, é possível observar que este microcontrolador possui 28 pinos I/O, é compatível com os protocolos de comunicação USART, através dos pinos PD0 e PD1, com SPI, através dos pinos PB2 ao PB5, e com I²C, através dos pinos PC4 e PC5. A Tabela 4.2 e a Figura 4.4b constata ainda que existem 6 pinos que possibilitam a utilização de um *Analog to Digital Converter* (ADC), através dos pinos PC0 ao PC5.

Na escolha do microcontrolador, foi necessário ter em conta se o microcontrolador possuía pinos ADC suficientes para conseguir ler os valores de tensão e corrente necessários para verificar as condições e se sobravam pinos digitais para enviar os sinais que determinam qual o elemento que iria alimentar a bateria.

Como se prevê que este sistema só necessitará de 4 pinos ADC, os 6 pinos do ATmega328P, em princípio, serão suficientes.

4.3.1 Sensor de Corrente

Para ler os valores das tensões, utilizar-se-á divisores de tensão e para ler os valores de corrente que provém do painel fotovoltaico, utilizar-se-á um sensor de corrente. O sensor de corrente escolhido para integrar o sistema foi o ACS712ELCTR-20A-T, representado na Figura 4.5.



Figura 4.5: Sensor Linear de Corrente ACS712 [61]

O sensor ACS712 representa uma solução precisa e económica para detetar corrente AC ou DC, que pode ser utilizado em sistemas industriais, automotivos, entre outros. É de fácil implementação e consiste num sensor de corrente linear baseado no Efeito *Hall*.

Existem dois métodos de funcionamento de um sensor de corrente, o método de deteção direta e o método de deteção indireta de corrente. O método de deteção direta aplica a lei de Ohm, através da medição da queda de tensão quando o fluxo de corrente é detetado.

O método de deteção indireta, que corresponde ao método de deteção utilizado pelo sensor de corrente escolhido, calcula a corrente a fluir pelo circuito. Quando a corrente elétrica flui através de qualquer material, cria um campo magnético e através da deteção desse campo magnético gerado pela passagem de corrente, o sensor de corrente de Efeito *Hall* cria uma tensão proporcional ao campo magnético, que lhe permite medir a quantidade de corrente que flui pelo circuito. [62, 63]

A medição de corrente que provém do painel FV é meramente para detetar se o painel fotovoltaico está a produzir energia, isto é, caso o painel FV esteja a receber uma percentagem irrisória de energia luminosa, existe logo uma diferença nos níveis de tensão. No entanto, apenas quando o mesmo produz corrente é que o sistema implementado irá funcionar, porque só quando este se encontra a produzir corrente é que o painel estará preparado para carregar a bateria.

Na escolha deste sensor, a principal preocupação a ter foi selecionar um componente que fosse capaz de suportar elevadas correntes provenientes do painel fotovoltaico, daí ter sido eleito um sensor que suporta correntes até 20A. As principais características do Sensor ACS712ELCTR-20A-T encontram-se enumeradas, de seguida [64]:

- Tensão Operacional - 4.5V a 5.5V
- Temperaturas Suportadas - -40°C a 85°C
- Intervalo de Correntes a Medir - -20A a 20A
- Sensibilidade - 100mV/A

4.4 Acoplador Ótico

Um acoplador ótico (*optical coupler*) e é também conhecido como isolador ótico (*optical isolator*). É um dispositivo cujo principal objetivo é transmitir sinais elétricos através da luz.

As principais vantagens da sua utilização são as seguintes [65, 66]:

- Transmissão unilateral do sinal;
- Isolamento elétrico total entre a entrada e a saída - não existe nenhuma influência da saída sobre a entrada;
- Minimiza a suscetibilidade ao ruído e a interferências;
- Capacidade de limitar os valores de tensão de vários circuitos;
- Envio de sinal de forma estável, sem qualquer contacto e com alta eficiência de transmissão.

O acoplador ótico selecionado para integrar este projeto foi o TLP521-2 produzido pela Toshiba, representado na Figura 4.6.

Na escolha do acoplador ótico é necessário verificar o valor da tensão reversa máxima que o acoplador ótico suporta, visto que se o valor de tensão à entrada exceder o valor da tensão reversa máximo, pode danificar o equipamento.



Figura 4.6: Optoacoplador TLP521-2 [67]

As principais características do acoplador ótico, representado na Figura 4.6, estão descritas na Tabela 4.3.

Tensão Operacional (V)	5V
Corrente de Condução (I_F)	50mA
Corrente no Colector (I_C)	1mA
Tensão Reversa (V_R)	5V
Número de Canais de Isolamento Disponíveis	2

Tabela 4.3: Principais Características do Acoplador ótico TLP521-2 [68]

Através da Tabela 4.3, é possível verificar a corrente necessária à entrada, para que o acoplador ótico transmita o sinal elétrico, isto é, para que haja transmissão o sinal elétrico, no caso deste projeto do sinal digital proveniente do microcontrolador, é necessário que exista uma corrente mínima de 50mA, para que o sinal seja enviado para a saída, através da luz. Esta informação é importante, visto que, durante a implementação, será necessário ajustar o valor de uma possível resistência, dependente da tensão proveniente do microcontrolador, para que se obtenha os 50mA, através da lei de Ohm.

Na última linha desta Tabela refere que este acoplador ótico possui 2 canais de isolamento, o que permite que os dois pinos do ATmega328P que enviam o sinal digital para o acoplador ótico estejam protegidos, através do isolamento elétrico proporcionado pelo acoplador ótico. Por exemplo, caso se pretenda enviar 4 sinais digitais, será necessário trocar o acoplador ótico por outro que tenha 4 canais de isolamento ou então optar por comprar 4 acoplador óticos individuais.

4.5 MOSFETs

A palavra *MOSFET* é acrónimo para *Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor*, que traduzido para português significa Transístor de Efeito de Campo Metal-Óxido-Semicondutor, que é um tipo particular de Transístor de Efeito de Campo (FET).

Um *MOSFET* é simplesmente um transístor unipolar que pode ser utilizado como um interruptor eletrónico ou com o intuito de amplificar sinais elétricos. Os *MOSFETs* possuem três terminais, a *fonte*, a *porta* e o *dreno*.

A nível de modo operacional, os *MOSFETs* dividem-se em duas categorias, o modo de depleção e o modo de enriquecimento.

Tal como já foi referido no início deste capítulo, pretende-se que os *MOSFETs* funcionem como interruptores neste sistema, sendo que é o microcontrolador, através de sinais digitais, que irá definir o estado em que os *MOSFETs* terão.

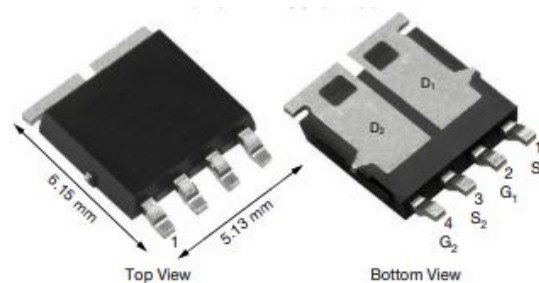


Figura 4.7: Dual MOSFET SQJ504EP-T1_GE3 [69]

O *MOSFET* selecionado foi o SQJ504EP-T1_GE3, representado na Figura 4.7. Elegeu-se este *MOSFET*, visto que no mesmo componente estão integrados dois

MOSFETs, sendo que um deles é do tipo canal n e outro do tipo canal p e ambos funcionam através do mesmo modo de operação, o modo de enriquecimento.

Quando um *MOSFET* opera em modo de enriquecimento, é necessário uma tensão entre os terminais porta e fonte (V_{GS}) superior a um determinado valor para que o interruptor se feche, isto é, os *MOSFETs* neste modo de operação comportam-se como interruptores abertos, por *default* [70].

Na Tabela seguinte, estão apresentadas algumas das características do Dual *MOSFET* selecionado para integrar este sistema:

Características	Símbolos	Canal n	Canal p
Tensão máxima entre o dreno e a fonte	V_{DS}	40V	-40V
Tensão máxima entre a porta e a fonte	V_{GS}	$\pm 20V$	$\pm 20V$
Limite típico de tensão entre a porta e a fonte	$V_{GS(th)}$	2V	-2V

Tabela 4.4: Principais Características do Dual *MOSFET* SQJ504EP-T1_GE3 [69]

Na Tabela 4.4 é possível ver as tensões máximas que o Dual *MOSFET* suporta entre determinados terminais e na 3ª linha estão apresentados os valores de tensão limite entre os terminais porta e fonte, isto é, a partir dos valores de tensão 2V e -2V para os canais n e p , respetivamente, o interruptor fecha, sendo que por definição, estes se encontram abertos.

4.6 Controlador de Carga

Os controladores de cargas, por norma, localizam-se entre o painel FV e as baterias e têm como principal objetivo controlar o estado de carga e descarga das baterias, de forma a proteger e prevenir os ciclos de vida das baterias.

Estes protegem e prolongam a vida útil das baterias porque evitam que as mesmas atinjam à *Depth of Discharge* (DoD)¹ máxima, isto é, e que ocorram eventuais sobrecargas e ainda tornam uma corrente contínua irregular proveniente dos módulos FV, numa corrente contínua regular [71, 72].

O controlador de carga analisa regularmente a tensão das baterias, de forma a detetar o momento em que estas se aproximam da sua DoD máxima. Após atingir esse ponto, o controlador de carga bloqueia a energia para que as baterias deixem de estar a carregar, até atingirem um nível baixo de tensão e ser necessário voltar a carregá-las.

A necessidade de inserção dos controladores de carga nos sistemas FV surge devido às oscilações de energia produzida pelo painel FV provocarem danos nas

¹A DoD da bateria representa a percentagem de descarga em relação à capacidade geral da bateria.

baterias. Essas oscilações ocorrem em consequência da variação da radiação solar, ao longo do dia e das estações do ano.

Um outro propósito que os controladores de carga possuem é garantir que as baterias estejam carregadas em qualquer momento, da forma mais segura e eficiente possível. Os tipos de controladores de carga mais utilizados em sistemas que possuam painéis FV são os controladores *Pulse Width Modulation* (PWM) e os controladores *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [73].

4.6.1 Controlador de Carga PWM

O controlador de carga PWM estabelece uma ligação direta entre o painel FV e a bateria e utiliza a modulação de largura de impulso para carregar as baterias, isto é, consoante o estado da bateria, o controlador de carga vai enviando pulsos de carga, a uma determinada frequência e com uma determinada duração, para carregar a bateria.

Quando uma bateria está praticamente carregada na totalidade, os pulsos enviados pelo controlador são enviados com baixa frequência e com pouca duração. No entanto, se a bateria estiver quase descarregada, envia pulsos regulares e com maior duração.

Este tipo de controladores é mais utilizado em sistemas FV isolados de baixa tensão e potência e em sistemas FV com tensão nominal de 12V, por serem uma solução mais económica.

4.6.2 Controlador de Carga MPPT

Os controladores de carga MPPT, tal como o nome indica, utilizam uma técnica que deteta o ponto onde é atingido a maior potência, através da observação e regulação da energia proveniente do painel FV que segue até às baterias. A saída do painel FV varia consoante as condições climáticas e os controladores MPPT adequam a tensão do painel com a tensão das baterias, de forma a maximizar a eficiência de carga e reduzir as perdas do sistema.

A principal diferença entre os controladores de carga PWM e MPPT encontra-se na eficiência superior, em aproximadamente 30%, dos controladores MPPT, em relação aos controladores PWM. Em contrapartida, os controladores MPPT são significativamente mais dispendiosos e em sistemas onde a eficiência não é crítica e de pequena dimensão, os controladores de carga PWM são os mais indicados, em termos de relação qualidade/preço. [74]

Para o dimensionar o controlador de carga é necessário focar em três pontos principais, o tipo de baterias com que o controlador é compatível, a corrente mínima que deve suportar e a tensão nominal com que trabalham. Para saber qual a corrente mínima que o controlador deve suportar é necessário recorrer à Equação seguinte, na

qual o $N_{modulos}$ corresponde ao número de módulos fotovoltaicos, isto é, o número de painéis fotovoltaicos utilizados e o I_{MPP} corresponde à corrente para a potência máxima do painel, representada na Tabela 4.1.

$$I_{MIN} = N_{modulos} \times I_{MPP} = 2 \times 2.97 = 5.94A \quad (4.3)$$

Através do resultado da Equação 4.3, é possível captar que o Controlador de Carga a eleger deve ter uma corrente superior a 6A. Na escolha do controlador de carga, deve-se ter ainda em consideração o tipo de bateria que terá ligada e a respetiva tensão nominal, para que possa ser compatível com a mesma.

O Controlador de Carga que se selecionou é um controlador de carga PWM da marca *Volt Polska* e está representado na Figura 4.8.



Figura 4.8: Controlador de Carga PWM [75]

As principais características do controlador de carga, representado na Figura 4.8, estão mencionadas na Tabela seguinte:

Tipo de Controlador de Carga	PWM
Dimensões (mm)	133x70x35
Tensão Nominal	12V ou 24V
Corrente Nominal	10A
Tipo de Baterias Suportadas	Gel, Chumbo, VRLA, e Lítio

Tabela 4.5: Principais Características do Controlador de Carga [75]

Através da Tabela 4.5, é possível verificar que os requisitos mencionados para a escolha do controlador de carga, foram preenchidos, visto que a controlador possui uma tensão nominal de 12V ou de 24V (deteção automática dependendo da tensão nominal da bateria com que é ligado), uma corrente nominal de 10A que é superior aos 6A calculados na Equação 4.3 e ainda é compatível com o tipo de bateria de lítio, que corresponde ao tipo de bateria utilizada para este sistema.

Na 1ª linha da Tabela 4.5 é possível ainda observar que o controlador de carga selecionado é do tipo PWM, o que é perfeitamente compreensível, visto que o sistema a implementar não é um sistema crítico e é de pequena dimensão.

4.7 Bateria

A principal função da bateria é armazenar energia suficiente para alimentar, o sistema de detecção de peões, o sistema de controlo e os atuadores, sendo que toda a energia que esta armazena provém do circuito de potência, isto é, ou da rede pública de energia ou do painel FV.

Existem diversos tipos de bateria no mercado, as mais utilizadas são as seguintes:

- Baterias de Chumbo-Ácido - que incluem as Baterias de Chumbo-Ácido Ventiladas (VLA) e as Baterias de Chumbo-Ácido Selado (VRLA), que ainda se dividem nas Baterias de AGM e nas Baterias de Gel;
- Baterias Alcalinas - que abrangem as Baterias de Níquel-Cádmio, as Baterias de Níquel-Hidretos Metálicos e ainda as Baterias de Iões de Lítio.

Para este projeto, de forma a obter o valor de energia total diário pretendido (725.31Wh), elegeu-se uma associação em paralelo de 6 baterias de 12V 12Ah. Optou-se por uma associação em paralelo, visto que se pretende obter correntes maiores e manter a tensão o mais constante possível. Caso se pretendesse optar por obter tensões maiores e manter a corrente, as baterias deviam ser associadas em série.

Na Equação 4.4, é possível observar como se obteve o valor da energia diário produzido pela associação em paralelo das 6 baterias:

$$P_{6bat} = N_{bat} \times (Tensão(V) \times Capacidade(Ah)) = 6 \times (12 \times 12) = 864Wh \quad (4.4)$$

Uma bateria produz, diariamente, 144Wh, por isso, quando se associam 6 delas obtém-se uma potência de 864Wh que é superior ao valor estimado de 725.31Wh.



Figura 4.9: Bateria 12V 12Ah [76]

Na Figura 4.9, está representada uma das baterias seleccionadas e é possível observar que as baterias são do tipo Bateria de Chumbo-Ácido Selado, utilizam a tecnologia AGM, têm uma tensão nominal de 12V e uma capacidade de 12Ah. [76]

4.8 Sistema de Detecção de Peões

O sistema de detecção de peões, tal como o nome indica, tem como principal função, detetar se os peões se encontram a entrar na travessia de peões e enviar mensagens, de forma a informar o sistema acerca dos eventos que ocorrem. Este sistema já tinha sido desenvolvido e testado pela Pavnext, encontra-se localizado no pavimento e é constituído por 4 sensores de pressão, de forma a conseguir determinar a direção em que o peão se desloca, um microcontrolador, que executa leituras analógicas e envia mensagens, um conversor de 5V, que converte os 12V provenientes da bateria em 5V para alimentar o microcontrolador e ainda um MAX485, que é um *transceiver* que permite o estabelecer comunicação com o sistema de controlo através do protocolo de comunicação RS-485. O microcontrolador utilizado neste sistema é o ATMega328P, caracterizado no Subcapítulo 4.3.

Quando um peão entra na passadeira, os sensores de pressão, que estão ligados aos pinos ADC do microcontrolador, detetam a presença do mesmo, o microcontrolador converte os dados, provenientes dos sensores, e, dados digitais, que por sua vez, são interpretados, isto é, o microcontrolador verifica se o peão se encontra a entrar ou a sair da passadeira e a velocidade à qual este se desloca e envia uma mensagem distinta consoante a direção e velocidade em que o peão se desloca para o sistema de controlo, através do MAX485.

A mensagem é um vector de 5 posições de um *byte*, cuja estrutura da mensagem está representada na Figura 4.10.

ID Sistema de Controlo	ID Sensor de Peão	Direção do Peão	Velocidade de Deslocamento	Checksum
1	2	3	4	5

Figura 4.10: Descrição do Conteúdo de cada Posição do Vector que Constitui a Mensagem Enviada pelo Sensor de detecção de Peões

Através da Figura 4.10 é possível observar o vector de dados que é enviado para o sistema de controlo. A 1^a posição do vector corresponde a ao ID do Sistema de Controlo, para que este saiba que estão a tentar estabelecer contacto com ele, a 2^a trata-se do ID do sensor de detecção de peões, para que o sistema de controlo saiba por qual dos dois lados está a entrar o peão, a 3^a representa a direção em que o peão se desloca, isto é, se o peão se encontra a entrar ou a sair da travessia de peões, a 4^a posição representa a velocidade a que o peão se desloca, que não será relevante

neste sistema e, por fim, a 5ª posição equivale a um *checksum*, que soma os valores das posições anteriores, para depois o recetor deste vector faça o mesmo cálculo e verifique se o resultado da soma dos valores das 4 posições do vector corresponde ao valor da 5ª posição. Caso isto ocorra, quer dizer que a mensagem foi recebida tal como foi enviada.

4.9 Sistema de Controlo

O sistema de controlo terá como principal propósito receber as mensagens, provenientes sistema de deteção de peões e interpretá-las devidamente. Após interpretar essa mensagem, o sistema tem de ser capaz de enviar mensagens para os atuadores que estão localizados no pavimento, em paralelo à travessia de peões, em consequência das mensagens enviadas pelo sistema de deteção de peões.

A mensagem que é enviada por este sistema de controlo para os atuadores, é constituída por um vector com 4 posições, cujo tipo de variável é o *uint8_t*, e tem a seguinte estrutura:



Figura 4.11: Descrição do Conteúdo de cada Posição do Vector que Constitui a Mensagem Enviada pelo Sistema de Controlo para os Atuadores

Através da Figura 4.11 é possível observar que a 1ª posição do vector da mensagem, enviada para os atuadores, corresponde ao ID do emissor da mensagem, que neste caso é o sistema de controlo.

Na 2ª posição encontra-se o ID do *slave*, que é apenas uma designação para o ID do atuador com que o sistema pretende comunicar, de forma a fazer o efeito de luzes pretendido e a 3ª posição do vector corresponde à ação que o sistema de controlo pretende realizar, isto é, se pretende ligar ou desligar o atuador.

Por fim, na 4ª posição de vector temos a intensidade, que corresponde ao valor de luminosidade que o sistema de controlo ordena que o atuador possua, consoante os dados recebidos por um LDR. Por exemplo, caso o sol esteja intenso, é necessário que os atuadores apresentem uma luminosidade superior do que numa situação durante a noite, em que a luz natural é mais diminuta. Esta questão é apenas para aumentar a eficiência e reduzir o consumo energético.

Este sistema deve ser capaz de receber e enviar mensagens, em simultâneo, portanto, existe a necessidade de utilizar um microcontrolador com pelo menos duas USARTs, para facilitar a receção e o envio e também evitar que as mensagens se

percam. Para isso, seleccionou-se a placa de desenvolvimento NUCLEO-G431KB, da STMicroelectronics.



Figura 4.12: Development Board NUCLEO-G431KB

Na Figura 4.12, está representado o NUCLEO-G431KB, que possui o microcontrolador STM32G431KBT6. O STM32G431KBT6 é um microcontrolador de 32-*bits* com um núcleo ARM Cortex-M4. Elegeu-se este microcontrolador porque possui uma boa relação qualidade/preço, é compatível com os protocolos de comunicação mais utilizados (3xI²C, 2xUSART, 3xSPI, 1xFDCAN), possui memórias embebidas rápidas (128KB Flash e 32KB SRAM), possui 4 canais de ADC de 12-*bits*, HAL *drivers*, pinos I/O e periféricos melhorados, 14 *timers* e ainda possui funcionalidades úteis como *FreeRTOS* e *Software Timers*. [77]

Como já foi mencionada anteriormente, este sistema recebe as mensagens do sensor de deteção de peões e envia as mensagens para os atuadores, através do protocolo de comunicação RS-485, que será abordado em detalhe, de seguida, no Subcapítulo 4.9.2.

4.9.1 Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART)

Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART) é um circuito físico de um microcontrolador ou circuito integrado individual que permite estabelecer ligações em série assíncronas, nas quais a taxa de transmissão de dados e o formato do pacote de dados são configuráveis.

A comunicação é realizada através de apenas dois fios para transmitir e receber dados entre dispositivos e os *bytes* de informação são recebidos ou enviados, de forma sequencial. Os dados circulam desde o pino TX da UART transmissora para o pino RX da UART recetora, tal como está representado na Figura 4.13. [78]

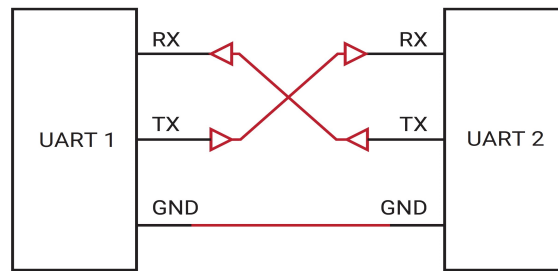


Figura 4.13: Fluxo de Dados entre UARTs [79]

Neste tipo de comunicação, os dados são transmitidos de forma assíncrona, isto é, não existe qualquer sinal de *clock* a sincronizar a saída de dados da UART que está a transmitir. Para substituir o sinal de *clock*, a UART que se encontra a transmitir, adiciona *bits* no início e no final de cada pacote de dados, para que a UART que estiver a receber os dados, saiba onde é que estes começam e acabam.

No momento que a UART recetora deteta o *start bit* (*bit* que assinala o início da mensagem a ser recebida), esta começa ler os *bits* a uma determinada frequência, também conhecida como *baud rate*, que corresponde à taxa de transmissão em que os dados são transmitidos e recebidos, por isso, ambas as UARTs devem possuir o mesmo *baud rate* para que não haja desfasamento entre o envio e a receção da mensagem, isto é, para que os dados sejam recebidos correctamente.

Durante a comunicação UART, as duas UARTs comunicam entre si. A UART que se encontra a transmitir, recebe os dados em paralelo provenientes do barramento, adiciona-lhes um *start bit*, um *bit* de paridade e ainda um *stop bit*, criando o pacote de dados que vai ser recebido pela UART recetora.

Após a criação do pacote de dados, é que os dados são realmente enviados. Como a UART estabelece comunicação em série, os dados são enviados *bit a bit*, a partir do pino TX da UART transmissora, para o pino RX da UART recetora, que os recebe também *bit a bit*. Depois de receber os *bits* todos, a UART recetora remove o *start bit*, o *bit* de paridade e o(s) *stop bit(s)*. [78]

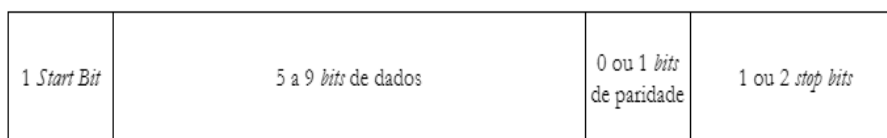


Figura 4.14: Formato do Pacote de Dados

Na Figura 4.14, está representado o formato do pacote de dados transmitido pela UART transmissora e recebido pela UART recetora.

O pacote de dados é sempre iniciado pelo *start bit*, visto que é este que determina o início da comunicação. Normalmente, quando a UART não se encontra a transmitir dados, a linha de transmissão encontra-se a nível alto. No entanto, de forma a iniciar

a transferência de dados, a UART transmissora coloca a linha de transmissão a nível baixo, durante um ciclo de *clock* e quando a UART recetora deteta a transição da linha de transmissão de nível alto para nível baixo, começa a ler os *bits* do pacote de dados, à frequência de *baud rate* pré-determinada. [80]

Após o *start bit*, seguem-se os *bits* de dados, que podem ser entre 5 e 8 *bits* de dados, caso o *bit* de paridade seja utilizado e entre 5 e 9 *bits*, caso o *bit* de paridade não seja utilizado.

Depois dos *bits* de dados, vem o *bit* de paridade, que indica à UART recetora, se existiu alguma alteração nos dados, durante a transmissão dos mesmos.

Após a UART recetora, ler todos os *bits* de dados, conta o número de *bits* que têm o valor de 1 e verifica se essa soma é par ou ímpar.

Se o *bit* de paridade tiver o valor 0, sabe-se que a soma de *bits* a 1 é um número par, enquanto se o *bit* de paridade tiver o valor 1, sabe-se que a soma de *bits* a 1 é um número ímpar.

Por fim, o pacote de dados é finalizado pelos *stop bits*. Podem existir um ou dois *stop bits* e têm como principal objetivo sinalizar o término da transmissão de dados. Os *stop bits* têm o comportamento contrário ao *start bit*, isto é, para a UART recetora saber que a transmissão de dados está terminada, existe uma transição da linha de transmissão do nível baixo para o nível alto.

4.9.2 A interface RS-485

A interface série RS-485, também referida como TIA-485 ou EIA-485, é a especificação da interface elétrica da camada física para a transmissão de dados e transmite os dados em comunicações ponto a ponto e em *half-duplex*, isto é, num sistema em que existam vários *transceivers*, apenas um transmissor pode enviar os dados de cada vez.

Uma das principais vantagens deste protocolo é que pode ter até 32 dispositivos conetados ao mesmo barramento e pode realizar transmissões de dados até 1200 metros. [81]

O *baudrate* máximo que este protocolo atinge é de 10Mbits/s, embora o valor do *baudrate* diminua quanto maior for o comprimento de cabo, isto é, para distâncias em que o comprimento de cabo necessário é menor do que 50 metros, é possível obter um *baudrate* de 10Mbits/s. No entanto para o comprimento máximo estipulado, os 1200 metros, só é possível trabalhar com um *baudrate* de 9.6kBits/s.

Caso a intenção seja utilizar comprimento de cabos superiores a 1200 metros ou até mesmo adicionar mais do que 32 *transceivers* ao barramento, é possível, mas é necessário utilizar repetidores, o que, por vezes, se torna muito dispendioso.

Este protocolo utiliza duas linhas de sinal, a linha A e a linha B, que são diferenciais e balanceadas, isto é, estas linhas partilham um cabo entrançado que possui a mesma impedância da linha, tipicamente, entre os 100Ω e os 130Ω.

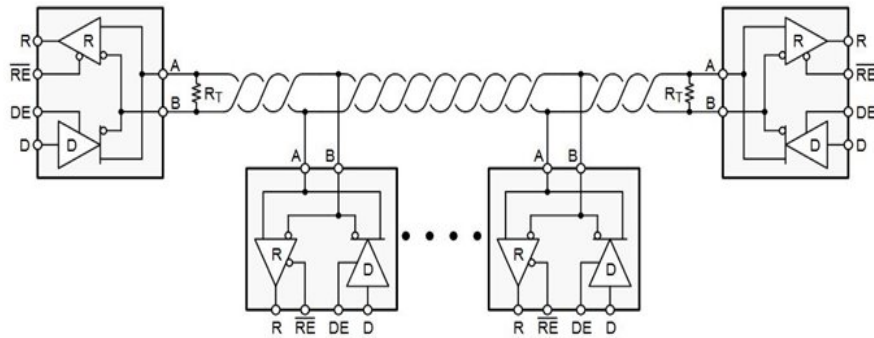


Figura 4.15: Topologia Típica *Half-duplex* do Barramento RS-485 [82]

Na Figura 4.15 está representada a topologia *half-duplex* utilizada, tipicamente, no barramento RS-485 e é possível observar que as linhas A e B estão ligadas através de um cabo trançado, que permite que o ruído seja reduzido, significativamente, durante a transmissão dos dados. Os sinais A e B são referidos como par diferencial e é através da diferença de tensão entre esses dois sinais que os dados são lidos.

Outra característica relativa a este protocolo é o uso de resistências, tipicamente de 120Ω , nas extremidades da rede, que correspondem às resistências R_T representadas na Figura 4.15. O uso destas resistências contribui para a redução de ruído durante a transmissão e recepção de dados.

Através da Figura 4.15, é possível ainda verificar que todos os *transceivers* conectados ao barramento, possuem 6 pinos, que possuem as funções seguintes:

- D - Pino transmissor, que está normalmente conectado ao pino TX do microcontrolador;
- R - Pino recetor, encontra-se, normalmente, ligado ao pino RX do microcontrolador;
- RE e DE - Correspondem aos pinos que determinam se o dispositivo se vai comportar como recetor ou emissor de dados;
- A - Pino Não Inversor;
- B - Pino Inversor;

A nível de funcionamento prática deste protocolo, este baseia-se na comparação das tensões dos sinais A e B, isto é, caso a tensão na linha B for superior à tensão na linha A, o sinal recebido tem um valor lógico de '1'. Caso contrário, o sinal recebido tem um valor lógico de '0'. [83, 84, 85]

4.9.3 MAX485

O MAX485, representado na Figura 4.16, é um *transceiver* de baixa potência que permite a implementação dos protocolos de comunicação RS-485 e RS-422.

É, tipicamente, alimentado a 5V, consome entre $120\mu\text{A}$ e $500\mu\text{A}$, possui uma taxa de transmissão até 2.5Mbps e funciona em *half-duplex*. Este dispositivo permite ainda conectar 32 dispositivos ao mesmo barramento, sem que seja necessário adicionar repetidores. [86]



Figura 4.16: *Transceiver* MAX485 [87]

Na Figura 4.17, está representado o *pinout* do MAX485 e é possível observar que este dispositivo possui 8 pinos e que este dispositivo é idêntico aos dispositivos representados na Figura 4.15.

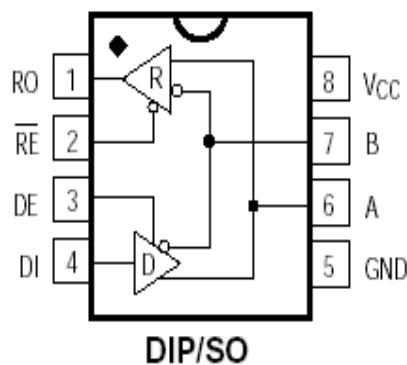


Figura 4.17: *Pinout* MAX485 [88]

As funções dos respetivos pinos do MAX485, são as seguintes [86]:

- Pino 1 - Designa-se como *Receiver Output* (RO). Caso o valor da tensão no pino A for superior à tensão na linha B em, pelo menos 200mV, este assumirá o valor lógico de '1'. Caso contrário, terá o valor lógico '0';
- Pino 2 - Corresponde a *Receiver Output Enable* (RE) e é responsável pelo nível lógico do pino RO, isto é, caso este pino esteja a '0', o pino RO estará ativado. No entanto, se o pino RE assumir o valor '1', o pino RO estará em alta impedância;

- Pino 3 - Designa-se como *Driver Output Enable* (DE). Este pino, juntamente com o pino RE, são responsáveis por determinar o tipo de comportamento que o MAX485 terá, isto é, se se comportar-se-á como recetor ou como transmissor;
- Pino 4 - Corresponde ao pino *Driver Input* (DI). Caso este pino possua um valor lógico de '0', saída do pino A terá um valor lógico baixo e a saída B terá um valor lógico alto. Caso contrário, acontecerá o oposto;
- Pino 5 - Ground;
- Pino 6 - Corresponde à saída A, que é um pino não inversor;
- Pino 7 - Corresponde à saída B, que é um pino inversor;
- Pino 8 - Equivale ao pino da tensão de alimentação, que está, tipicamente, compreendida entre os 4.75V e o 5.25V.

Os pinos A e B correspondem aos pinos que conetam os dispositivos ao barramento. Os pinos RO e DI costumam estar conetados aos pinos RX e TX do microcontrolador ao qual o MAX485 a que se encontra ligado, respetivamente, e é através deles que se dá a comunicação pelo protocolo USART.

Os pinos RE e DE são responsáveis por determinar o modo de operação, no qual o MAX485 opera, isto é, estes pinos, durante uma comunicação *half-duplex*, vão alternando os seus valores lógicos, de forma a ativar ou desativar o envio e a receção de dados. Por exemplo, caso os pinos RE e DE possuam ambos um valor lógico de '0', o MAX485 funcionará como recetor. No entanto, caso ambos os pinos tenham um valor lógico alto, o MAX485 comportar-se-á como transmissor.

4.10 Atuadores Localizados no Pavimento

Os atuadores localizados no pavimento, são várias fitas de LEDs, que são integradas em marcadores e colocados no pavimento para que os condutores que se aproximem da passadeira sejam capazes de detetar que se aproximam de uma travessia de peões e, conseqüentemente, se apercebam para os peões que se encontram a atravessar a estrada.

Para controlar os atuadores, todas as fitas de LEDs estão ligadas a uma PCB, que possui um microcontrolador e um MAX485, que são os componentes que efetivamente recebem e interpretam as mensagens, provenientes do sistema de controlo, de forma a saberem que tipo de efeito deve ser realizado.

Cada fita de LEDs possui um ID e a mensagem que estes recebem, contém o ID e a ação que devem realizar para que estas liguem e desliguem quando lhes é ordenado, para que os efeitos ocorram tal como planeado.

O RS-485 permite que 32 dispositivos estejam conectados à rede e quando um dispositivo transmite, todos os outros ficam à escuta. Posto isto, quando o sistema de controlo envia uma mensagem, todos os dispositivos conectados recebem a mesma e interpretam-na, começando por verificar qual o ID do emissor e, posteriormente, se o ID do *slave*, que vem na 2ª posição do vector, corresponde ao seu ID. Caso isso não ocorra, o dispositivo ignora a mensagem e não toma qualquer ação. Caso o ID coincida, o dispositivo deve continuar a interpretar a mensagem e executar a ação, com a intensidade devida, que foi indicada na mensagem.

Capítulo 5

Implementação do projeto

Neste capítulo irá ser abordado todo o desenvolvimento do projeto, desde a realização dos esquemáticos dos circuitos, respectivas PCBs e ainda sobre o *software/firmware* desenvolvido.

O projeto dividiu-se em duas partes, o desenvolvimento do circuito de potência e do sistema de controlo.

Para este projeto desenvolveu-se apenas esquemáticos e, conseqüentemente, PCBs para o circuito de potência e para o sistema de controlo, visto que os sistemas de deteção de peões e os atuadores localizados nos pavimentos, já tinham sido desenvolvidos e testados pela Pavnext. No entanto, apesar de já terem sido desenvolvidos, será abordados em detalhe o seu funcionamento e porque foram utilizados durante a implementação do projeto.

5.1 Implementação do Circuito de Potência

O principal objetivo, em desenvolver o circuito de potência, passa por decidir se a bateria é alimentada pela rede pública de energia ou pelo painel fotovoltaico, de acordo com determinadas condições relacionadas com a carga da bateria e os níveis de tensão no painel fotovoltaico e no conversor de AC/DC.

5.1.1 Hardware do Circuito de Potência

O circuito de potência está representado no esquemático da Figura A.1, na Secção A.1 do Anexo A, e é constituído pelos componentes seguintes:

- Terminal de Programador USBasp - Terminal onde um USBasp é conectado para atualizar o código no microcontrolador;
- Cristal Oscilador - Serve para sincronizar uma frequência periódica, neste caso, utiliza-se para sincronizar o *clock* do processador do microcontrolador;
- Regulador de Tensão de 12V - Realiza a conversão de 12V para 5V, para que certos componentes do sistema sejam alimentados, como o microcontrolador, o sensor de corrente e o programador;
- ATMega328P - Microcontrolador que verifica as condições do programa e envia sinais digitais que determinam se é o painel FV ou a rede que alimenta a bateria;
- Acoplador ótico - Proporciona isolamento elétrico entre o microcontrolador e o restante sistema;
- Dual MOSFET - Funcionam como *switches*, podendo estar abertos ou fechados, de acordo com os sinais digitais do ATMega328P;
- Sensor de corrente - Mede a corrente do painel FV para que o código saiba se este está a conduzir ou não;
- Díodos de Schottky - Controla o fluxo da corrente, isto é, permite apenas que a corrente flua num sentido. Utiliza-se este tipo de diodo devido à sua rapidez de comutação e à sua queda de tensão relativamente baixa, quando comparado com outros tipos de díodos;
- Resistências - São utilizadas diversas resistências com diferentes propósitos no esquemático deste circuito de potência, que serão abordados ao longo deste capítulo.

O ATMega328P possui um cristal oscilador interno com uma frequência máxima de 8MHz. No entanto, existem determinadas aplicações que necessitam que o programa corra a frequências superiores a essa e surge a necessidade da implementação de um cristal externo. Para este circuito, implementou-se um cristal oscilador externo de 16MHz.

Na Figura 5.1, estão representados o cristal e as ligações associadas ao mesmo para ser integrado neste circuito. É possível verificar que aos pinos 1 e 2 estão ligados condensadores de $20\mu\text{F}$ que, por sua vez, estão ligados a *ground*.

Os pinos 1 e 2, representados na Figura 5.1 estão ainda ligados aos pinos XTAL1 e XTAL2 do ATMega328P, respetivamente.

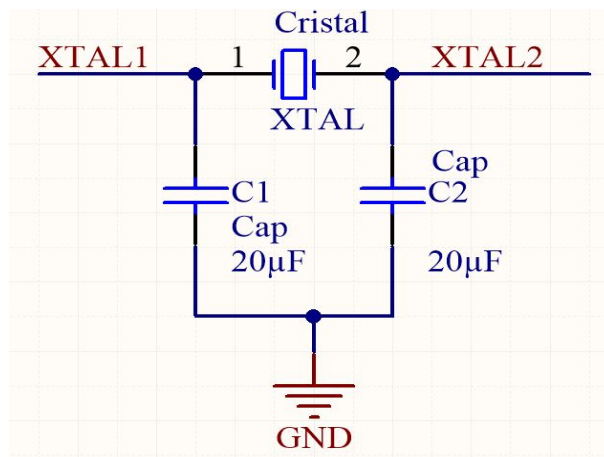


Figura 5.1: Excerto Relativo ao Cristal Oscilador do Esquemático do Circuito de Potência

As ligações do cristal oscilador, representadas na Figura 5.1, foram dispostas assim, de acordo com a Figura 5.2, que está incluída no *datasheet* do microcontrolador utilizado.

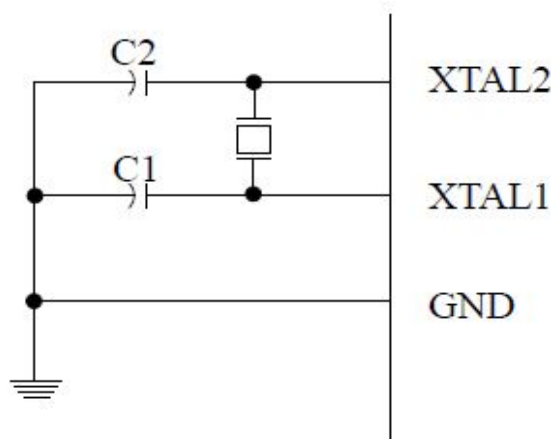


Figura 5.2: Ligações do Cristal Oscilador

É referido na Secção 4.4 que o acoplador ótico tem como principal objetivo transmitir sinais elétricos e ainda na Tabela 4.3, que a corrente de condução é de $50mA$. Esta informação é relevante para explicar a razão pela qual as resistências $R1$ e $R2$, representadas na Figura 5.3, foram selecionadas.

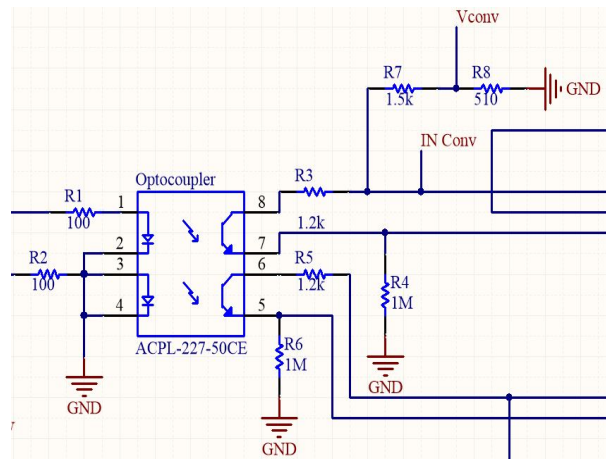


Figura 5.3: Excerto do Esquemático do Circuito de Potência

Como é possível observar na Figura A.1, estão ligados os pinos PB0 e PB1, às resistências $R1$ e $R2$, que por sua vez, são conectadas aos pinos 1 e 3 do acoplador ótico, respectivamente.

Esses pinos terão valores lógicos de '1' ou '0', ou seja, terão uma tensão de 5V ou 0V e para que acoplador ótico seja capaz de transmitir sinais elétricos é necessário que dimensionar as $R1$ e $R2$ para que a corrente de condução seja igual a $50mA$, quando os sinais digitais enviados pelos pinos tenham um valor lógico de '1' e foi, através da Equação 5.1, que corresponde à Lei de Ohm, que se dimensiona as $R1$ e $R2$.

$$U = R \times I \Leftrightarrow R_{1,2} = \frac{U}{I} = \frac{5}{0.050} = 100\Omega \quad (5.1)$$

Na Tabela 4.3, é possível verificar que a corrente no coletor é de $10mA$.

O cálculo do valor das resistências $R3$ e $R5$, está representado na Equação 5.2, que é baseada na Lei de Ohm, tal como a Equação 5.1.

Desta vez, a tensão tem um valor médio de 12V e o valor da corrente corresponde ao valor da corrente no coletor do acoplador ótico. A tensão é de, aproximadamente, 12V porque as resistências $R3$ e $R5$ se encontram ligadas às entradas do conversor AC/DC e do painel FV, respectivamente.

$$U = R \times I \Leftrightarrow R_{3,5} = \frac{U}{I_C} = \frac{12}{0.010} = 1.2k\Omega \quad (5.2)$$

Ainda na Figura 5.3, é possível observar as resistências $R7$ e $R8$, formam um divisor resistivo, em que a tensão de entrada, corresponde à tensão do Conversor AC/DC e a tensão de saída será conectada a um dos pinos ADC do microcontrolador, que está representado na Figura 5.4.

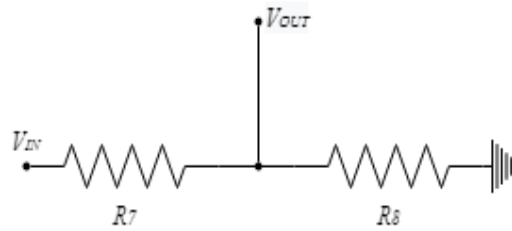


Figura 5.4: Divisor de Tensão

As resistências R_4 e R_6 são resistências *pull-down* e têm como principal objetivo garantir que o *ground*, sempre o valor lógico do microcontrolador é '0' e tem um valor significativo também para garante que quando o valor lógico do pino do microcontrolador muda para '1', o *ground* não interfere.

A Equação 5.3 corresponde à expressão matemática utilizada para se calcular os valores das resistências, consoante as tensões de entrada e saída que se pretende.

$$V_{OUT} = \frac{R_8}{R_7 + R_8} \times V_{IN} \quad (5.3)$$

A tensão do Conversor AC/DC é tipicamente 12V. No entanto, para evitar a danificação do sistema, sobredimensiona-se o divisor de tensão, assumindo que a tensão poderá atingir os 20V, caso exista algum pico de tensão. Pretende-se ainda que o valor de tensão de saída nunca ultrapasse os 5.5V, visto que os pinos do microcontrolador apenas suportam tensões até aquele valor.

Através da Figura 5.3, verifica-se que $R_7 = 1.5k\Omega$ e que $R_8 = 510\Omega$. Na Equação 5.4, é calculada a tensão de saída, sabendo os valores de tensão de entrada e das resistências R_7 e R_8 .

$$V_{OUT} = \frac{510}{510 + 1500} \times 20 = 5.07V \quad (5.4)$$

O resultado da Equação 5.4 indica o valor da tensão de saída, para a tensão máxima de entrada, que é de 5.07V, o que significa que mesmo para a tensão máxima os pinos do microcontrolador não ficarão danificados.

Este processo de cálculo é repetido para os restantes divisores de tensão constituídos pelas resistências R_9 e R_{10} e ainda pelas resistências R_{11} e R_{12} .

Na Figura 5.5 é possível observar as ligações do sensor de corrente.

É possível verificar que este é alimentado a 5V e que o pino 7 do mesmo corresponde ao sinal de saída analógico que, por sua vez, está ligado ao pino ADC4 do microcontrolador.

Os pinos 1, 2, 3 e 4 constituem os terminais nos quais a corrente é medida. Estes pinos também interligam o painel FV e o acoplador ótico, sendo que os pinos 1 e 2 ($IP+$) estão ligados um ao outro e à entrada de tensão do painel FV e os pinos 3 e 4 ($IP-$) estão conectados entre si e ao acoplador ótico.

O pino 6, designado como filtro, corresponde a um pino onde normalmente se associa um condensador externo que determina a largura de banda.

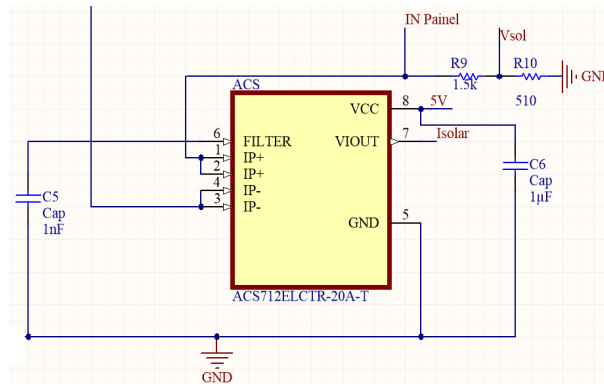


Figura 5.5: Excerto do Esquemático do Circuito de Potência Relativo ao Sensor de Corrente

Implementou-se o sensor de corrente de forma igual à típica aplicação do mesmo, que está representada na Figura 5.6. Através da comparação entre as Figuras 5.5 e 5.6 é possível observar que as ligações realizadas são iguais.

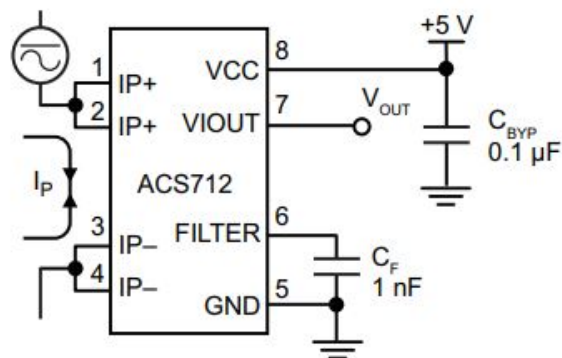


Figura 5.6: Aplicação Típica do Sensor de Corrente ACS712

Nas Figuras 5.7 e 5.8 estão representadas as 2 *layers* que constituem a PCB, desenhada a partir do Esquemático da Figura A.1, que se implementou neste projeto.

É possível ainda realçar que existem conexões com uma largura maior que outras. Isto ocorre visto que as ligações de potência, isto é, as ligações associadas ao painel FV e ao conversor AC/DC consomem correntes maiores, daí ser necessário implementar pistas mais largas, para que nenhum componente fique danificado.

Tanto o Esquemático, da Figura A.1, como a PCB, representada nas Figuras 5.7 e 5.8, foram desenvolvidos no *software* Altium Designer 17.0.

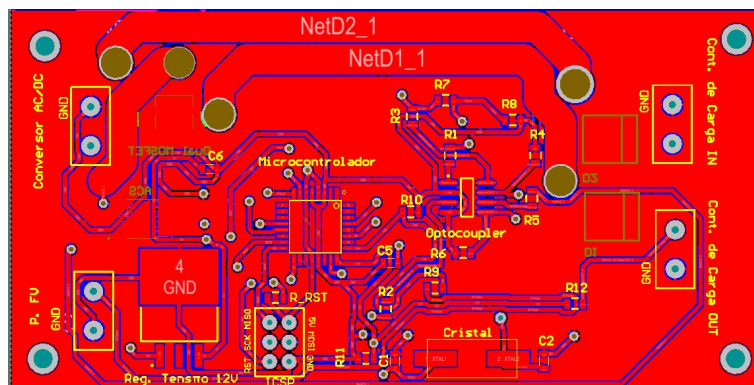


Figura 5.7: Desenho da *Top Layer* da PCB Relativa ao Circuito de Potência

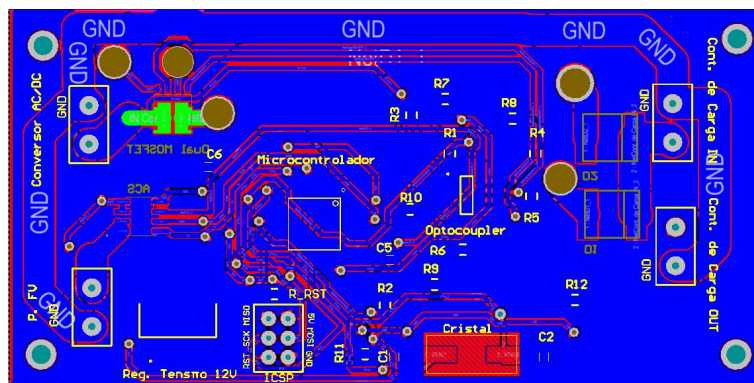


Figura 5.8: Desenho da *Bottom Layer* da PCB Relativa ao Circuito de Potência

5.1.2 Software Desenvolvido para o Circuito de Potência

Nesta secção abordar-se-á o *software* desenvolvido para a implementação do Circuito de Potência. De forma a auxiliar a compreensão do código desenvolvido, desenhou-se o Fluxograma, representado na Figura 5.9.

Através do Fluxograma, é possível verificar que o programa começa pelas inicializações da UART e do ADC. A inicialização do ADC passou a inicialização da UART consiste na configuração do *baud rate*, do *bit* de paridade e do número de *stop bits*. A comunicação através da UART não tem qualquer relevância na implementação do circuito de potência final, apenas foi implementada para realizar testes, isto é, para verificar num terminal, se os dados analógicos e digitais estavam a ser lidos de forma correta.

Após as inicializações, o programa efectua a leitura dos pinos ADC0, ADC1, ADC2 e ADC4, onde os valores analógicos da tensão do conversor AC/DC, da tensão da bateria, da tensão do painel FV e de uma tensão proporcional à corrente fornecida pelo painel FV são lidos, respetivamente.

Depois da conversão, são obtidos os valores através da Equação 5.5, onde o V_{IN} corresponde ao valor da tensão no pino ADC selecionado, o V_{REF} corresponde à tensão de referência selecionada, que neste caso é 5V, e o ADC é o valor do resultado de conversão.

$$V_{IN} = \frac{ADC \times V_{REF}}{1024} \quad (5.5)$$

Após o cálculo das tensões da bateria, do conversor AC/DC e do painel FV é ainda necessário realizar uma operação aritmética, visto que entre os pinos ADC e as entradas de tensão existem divisores de tensão, com uma relação de 1 para 4.

Os divisores de tensão têm como principal propósito garantir que a tensão que entra nos pinos ADC nunca seja superior a 5V para que estes não sejam danificados, tendo em conta que o máximo de tensão que a bateria poderá ter é 20V, sendo este valor sobredimensionado.

Por exemplo, caso o painel FV tenha uma tensão de 16V, o valor de tensão no pino do microcontrolador será de 4V.

O divisor de tensão é constituído por duas resistências, uma de $1.5k\Omega$ e outra de 500Ω . Posto isto, o cálculo do valor real das tensões será dado pela Equação 5.6:

$$V_{Real} = \frac{V_{ADC} \times (1500 + 510)}{510} \quad (5.6)$$

Depois de obter os valores reais de tensão e corrente devidos, o programa verifica se a bateria é superior a 12V, se assim for, a bateria é alimentada pelo painel FV, por defeito.

Caso a bateria tenha um valor inferior a 12V, mas o painel FV tenha uma tensão superior à da bateria, a bateria continua a ser alimentada pelo painel FV e mesmo que o painel FV tenha uma tensão inferior à da bateria, mas a tensão seja superior à do conversor AC/DC, a bateria será alimentada pelo painel FV.

No entanto, caso a tensão da bateria e a tensão do painel sejam inferiores a 12V e a tensão do conversor AC/DC for superior a ambas, coloca-se uma *flag* a 1 e a bateria é alimentada pelo conversor AC/DC.

Como a *flag* foi colocada a 1, em algum momento é necessário voltar a colocá-la a 0, por isso, o programa passa a estar constantemente a ler os valores da tensão da bateria até que esta atinja 13V, quando os 13V são atingidos, a bateria está completamente carregada, a *flag* é colocada novamente a 0 e a bateria passa a ser alimentada pelo painel FV.

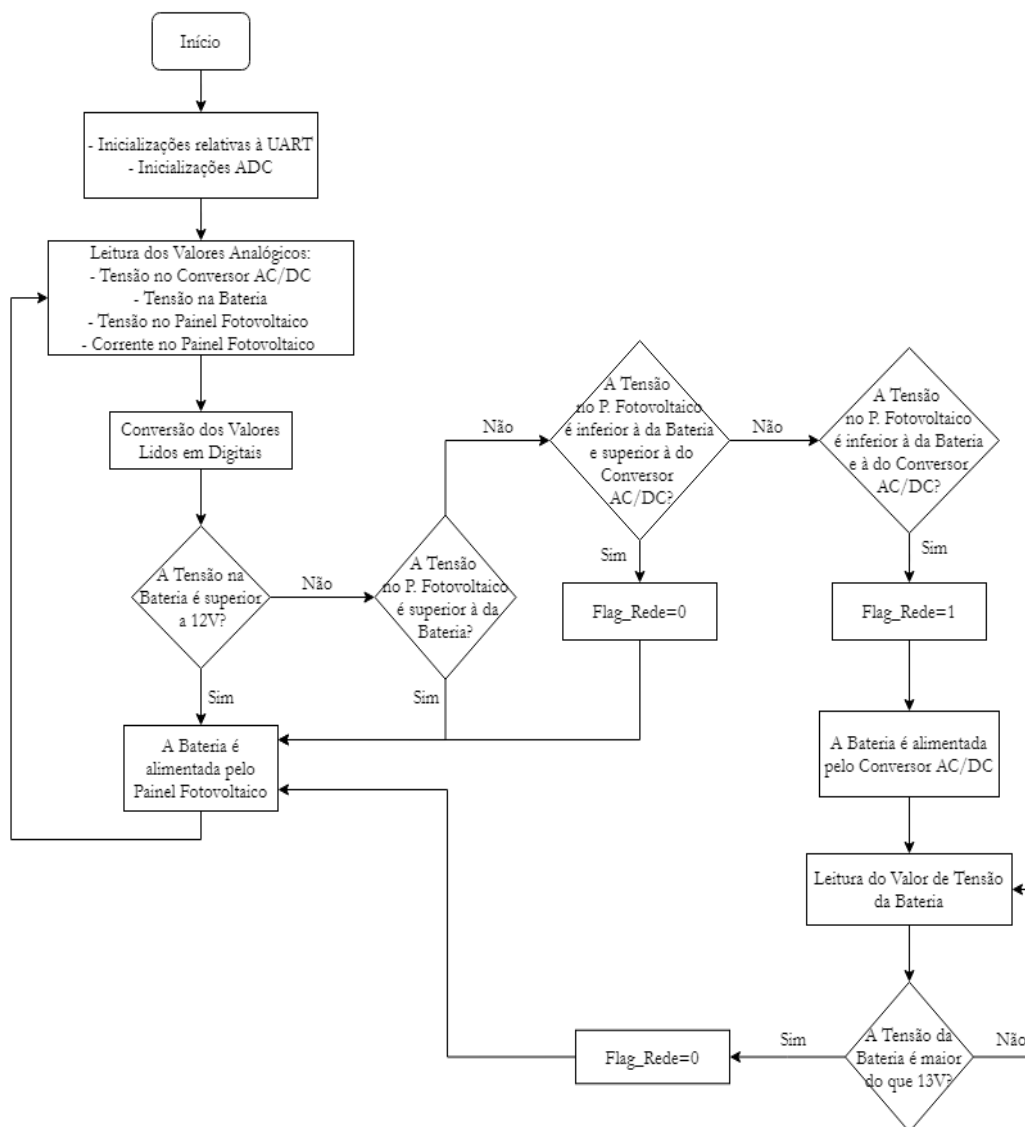


Figura 5.9: Fluxograma Relativo ao Funcionamento do Circuito de Potência

5.2 Implementação do Sistema de Controlo

Esta secção estará dividida em 3 partes, a implementação do sistema de deteção de peões, a implementação do sistema de controlo e a implementação dos atuadores localizados no pavimento.

Este sistema trata-se de uma aplicação constituída por diversos elementos que possuem diferentes funções que comunicam entre si, e que só estará funcional, se todos os elementos funcionarem tanto individual e coletivamente. Por exemplo, caso o sensor de deteção de peões não funcione devidamente, o sistema de controlo não saberá que os peões estão a atravessar a passadeira, logo os efeitos de LEDs não ocorrerão.

Neste sistema, tanto o sistema de detecção de peões como os atuadores localizados no pavimento, encontram-se em constante comunicação com o sistema de controlo, embora em direcções opostas. Isto é, o sensor de detecção de peões transmite os dados para o sistema de controlo, enquanto os atuadores simplesmente aguardam e interpretam os dados, provenientes do sistema de controlo.

5.2.1 Implementação do Sistema de detecção de Peões

O sistema de detecção de peões, tal como o nome indica, tem como principal função detetar a entrada de um ou vários peões na travessia de peões.

Este sistema encontra-se embutido numa placa, localizada na entrada da passadeira, em ambos os lados da mesma, é constituído por 4 sensores de pressão, como é referido na secção 4.8. Estes permitem ao sistema determinar não só a presença de peão(ões) mas também o seu sentido de deslocamento, isto é, se o peão se encontra a entrar ou sair da passadeira.

Após o sistema detetar a presença do peão e, posteriormente, identificar o sentido em que o mesmo se desloca, o sistema de detecção de peões comunica o evento ao sistema de controlo, caso o peão esteja a entrar na passadeira.

Na Figura 5.10 está ilustrada o posicionamento dos 4 sensores de pressão que constituem uma das placas integradas na entrada de travessia de peões, de forma a facilitar a compreensão do funcionamento do sistema.

Através das setas representadas na Figura seguinte, é possível distinguir o sentido de deslocamento de um peão quando este se encontra a entrar na passadeira. Posto isto, pode-se afirmar que os sensores 1 e 3 se encontram do lado do passeio e os sensores 2 e 4 do lado da travessia de peões.

Quando um peão entra na passadeira, estima-se que este irá pressionar o sensor 1 ou o sensor 3 e, posteriormente, irá acionar o sensor 2 e o sensor 4. Caso o peão se encontre a sair da travessia de peões, é expectável que os sensores acionados sejam os sensores 2 ou 4 e, posteriormente, os sensores 1 ou 3.

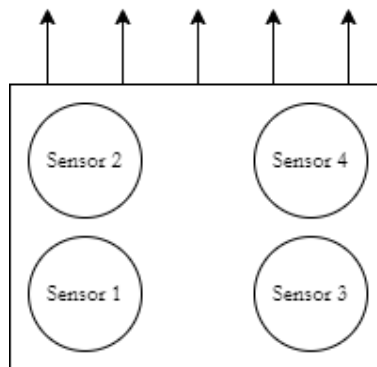


Figura 5.10: Distribuição dos Sensores de Pressão na Placa

Na Figura 5.11 está representado o fluxograma referente ao funcionamento do sistema de deteção de peões.

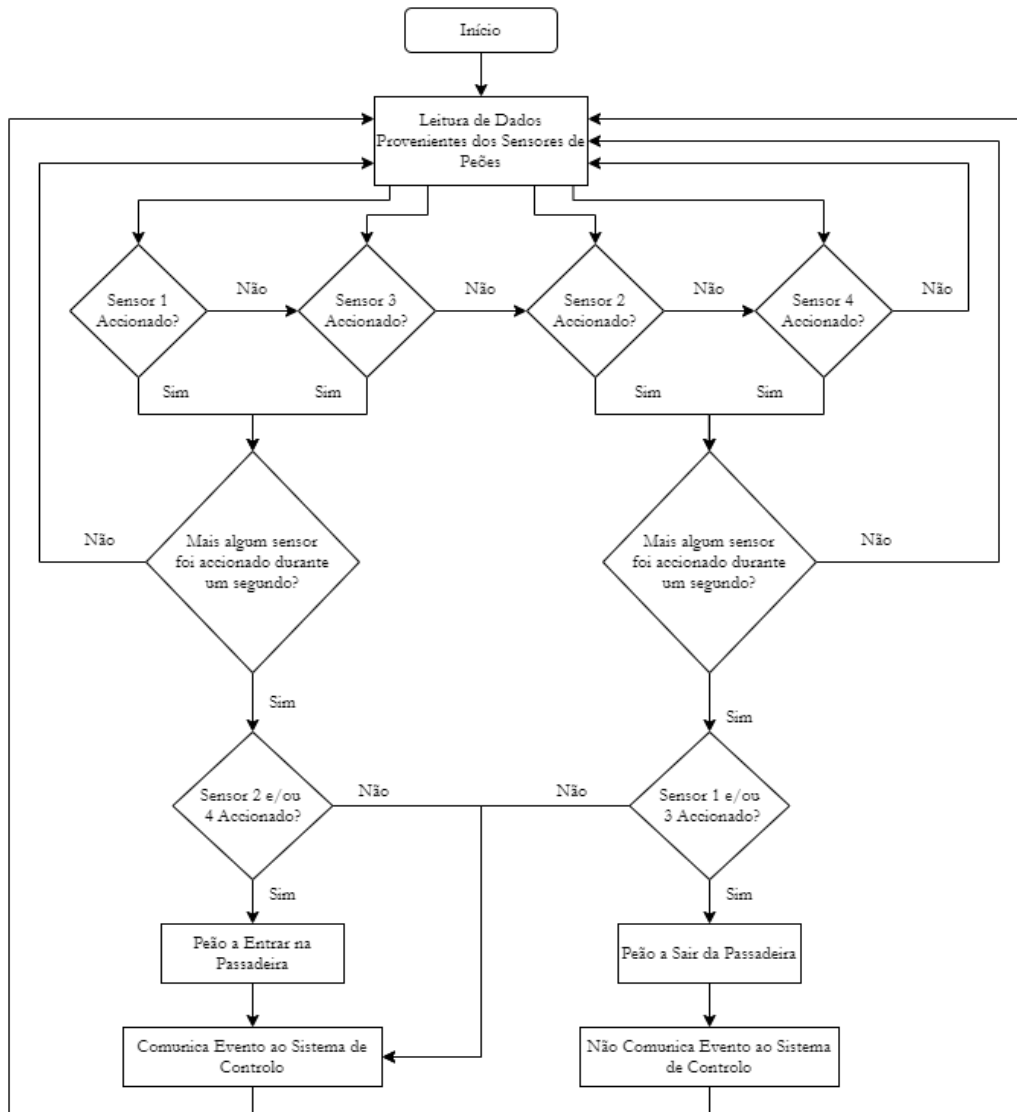


Figura 5.11: Fluxograma Relativo ao Funcionamento do Sistema de deteção de Peões

O fluxograma representa um programa em *loop*, no qual os dados provenientes dos sensores de pressão estão a ser lidos e as condições verificadas, constantemente.

O programa está ininterruptamente a verificar se algum dos 4 sensores de pressão é acionado.

Caso algum dos sensores localizados do lado do passeio (1 e 3) for acionado e, durante o segundo seguinte, for acionado um dos sensores do lado da passadeira (sensores 2 e 4), o sistema considera que um peão entrou na passadeira, comunica o evento ao sistema de controlo e procede, novamente, à leitura dos sensores.

Caso o sensor 2 ou o sensor 4, for acionado antes de serem acionados um dos sensores do lado do passeio, o sistema considera que o peão se encontra a sair da travessia.

No entanto, quando existem dois sensores a serem acionados durante o intervalo de tempo de um segundo, façam eles parte dos sensores do lado do passeio ou do lado da travessia, o sistema considera que o peão apenas calçou parte da placa, ou seja, este tanto pode estar a sair como a entrar na travessia e, por segurança, comunica o evento ao sistema de controlo de qualquer forma.

A comunicação entre o sistema de deteção de peões e o sistema de controlo é dada através de três *transceivers* MAX485 ligados em linha, numa topologia semelhante à representada na Figura 4.15, sendo que dois dos três MAX485 encontram-se conectados às placas de sensores de pressão e o terceiro se encontra ligado ao sistema de controlo.

Apesar dos MAX485 serem *transceivers*, estes podem trabalhar ou como transmissor ou como recetor. No caso do MAX485 ligado ao sistema de deteção de peões, este comporta-se como um transmissor, visto que apenas se pretende que este transmita os dados para o sistema de controlo.

O envio de mensagens é realizado pelo protocolo de comunicação USART, através da ligação dos pinos RX e TX aos pinos RO e DI do MAX485.

5.2.2 Implementação do Sistema de Controlo - *Hardware*

O sistema de controlo corresponde à parte do sistema que recebe as informações provenientes dos sensores e controla os atuadores, consoante o conteúdo das informações recebidas.

O sistema de controlo para estabelecer comunicação tanto com o sistema de deteção de dados como com os atuadores, têm dois MAX485 distintos ligados a diferentes canais de USART.

O MAX485 que se comporta como recetor, é aquele que estará ligado, através das linhas A e B, ao sistema de deteção de peões e ligado à USART1, através dos pinos RX e TX.

O MAX485 que se comporta como transmissor, é aquele que estará ligado, através das linhas A e B, aos atuadores do pavimento e ligado à USART2, através dos pinos RX e TX.

O sistema de controlo poderia ter apenas um MAX485 associado. No entanto, como estes *transceivers* funcionam apenas através de *half-duplex*, isto é, apenas um transmissor é capaz de enviar dados de cada vez, o que causaria um maior risco de perda ou má interpretação de informação.

O microcontrolador utilizado no desenvolvimento do sistema de controlo foi o STM32G431KBT6, tal como foi mencionado na secção 4.9, ao qual estão ligados ambos os MAX485.

Uma das razões pelas quais se escolheu este microcontrolador foi o facto de esta ser compatível com *FreeRTOS*, o que permitiu que tarefas, como a leitura de dados através de um canal de USART e o envio de dados através de outra USART (sem que houvesse perda de informação) fossem executadas em simultâneo.

Desenvolveu-se e implementou-se um esquemático e uma PCB para este sistema de controlo.

Este sistema é constituído pelos componentes seguintes, como é possível observar no Esquemático, representado na Figura 5.12:

- Microcontrolador STM32G431KBT6;
- Dois *transceivers* MAX485 - um que se comportará como recetor e outro como transmissor;
- Duas Resistências de Terminação - Resistências de 120Ω nas extremidades da linha de transmissão para evitar perda de dados.

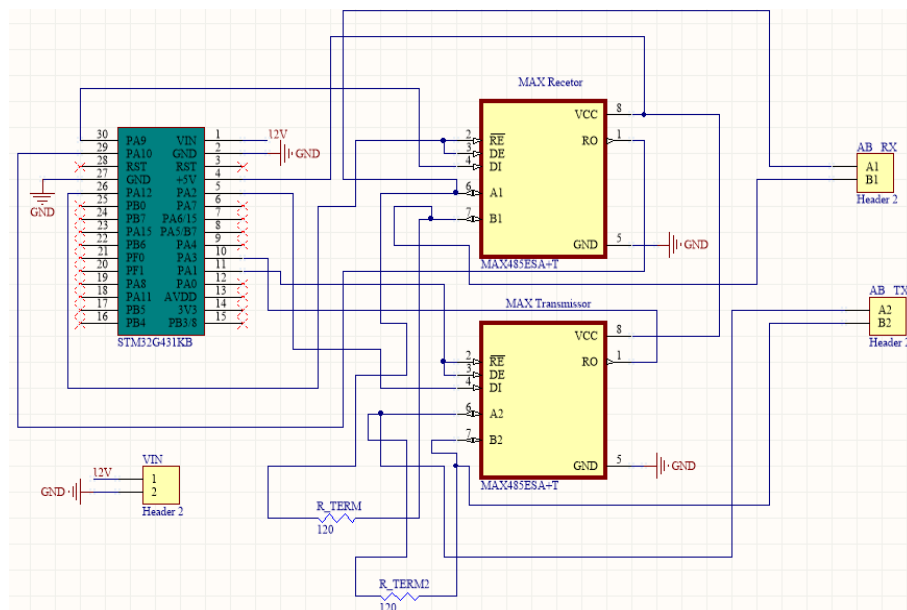


Figura 5.12: Esquemático do Circuito que Constitui a PCB do Sistema de Controlo

A PCB desenvolvida a partir do Esquemático, da Figura 5.12, está representado na Figura 5.13.

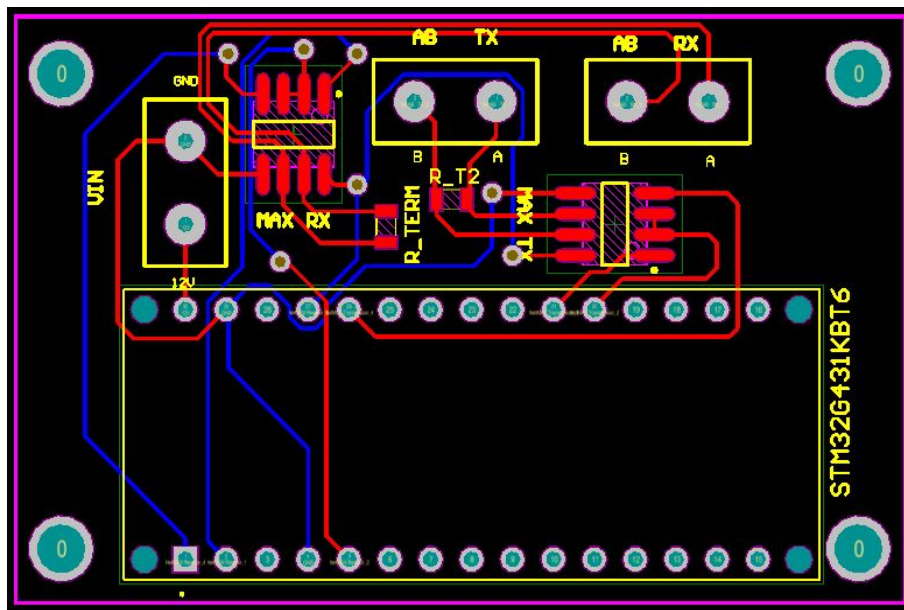


Figura 5.13: PCB Desenvolvida para o Sistema de Controlo

5.2.3 Implementação do Sistema de Controlo - *Software*

A nível de *software*, desenvolveu-se um programa, que utiliza *FreeRTOS* para executar várias tarefas em simultâneo e duas UARTs para receber e enviar.

O *FreeRTOS* é um *Real Time Operating System* (RTOS) que foi selecionado por ser *open source*, desenhado para microcontroladores, e por suportar várias arquiteturas, como ARM, AVR, PIC, entre outras. A sua utilização facilita a programação, a implementação e a gestão de sistemas embebidos de baixo consumo energético.

O *FreeRTOS* inclui um *kernel* e bibliotecas de *software* para diversos sectores e aplicações. Os microcontroladores, por norma, contêm processadores simples, com restrições de recursos, a nível de capacidade computacional e de memória, o que os restringe e faz com que apenas sejam capazes de realizar tarefas simples e funcionais, daí ter sido relevante a implementação de *FreeRTOS*, durante a execução deste projeto.

Apesar do *FreeRTOS* suportar diversas arquiteturas, para este projecto seleccionou-se um microcontrolador com uma arquitetura ARM de 32-bit, visto que são mais poderosos, relativamente aos microcontroladores com uma arquitetura AVR de 8-bit, como o ATmega328P, que foi utilizado em vários dispositivos, ao longo deste projeto.

Através da utilização do *FreeRTOS*, é possível dividir aplicações de elevada complexidade em pequenas tarefas, evitar a dificuldade que resulta da gestão temporal e de tarefas e ainda melhorar a eficiência da comunicação entre as diferentes partes do código, evitando o uso de variáveis globais.

O *FreeRTOS* proporciona ao utilizador a gestão simplificada de tarefas, através da criação e eliminação de tarefas e ainda determina automaticamente o tempo de CPU lhes deve ser atribuído. Aloca e gere, de forma dinâmica, a memória atribuída para cada tarefa, possui mecanismos de temporização como *timers* tradicionais, *software timers*, *tick counters*, entre outros. Sincroniza e permite comunicação entre diferentes tarefas, através de, por exemplo, semáforos e filas de mensagens e ainda permite executar várias tarefas num só microcontrolador, através de um escalonador ou *scheduler*.

O *FreeRTOS* fornece diferentes funcionalidades ao programador para facilitar a implementação de código, como a criação de diferentes tarefas.

As tarefas ou *tasks* são basicamente rotinas independentes que desempenham uma determinada função e cada tarefa tem uma prioridade associada. Por exemplo, uma tarefa mais prioritária, ocorrerá antes de uma tarefa menos prioritária e quem gere as diferentes tarefas, mediante as suas prioridades é o *scheduler*

Durante a implementação de *software*, determinou-se que o programa deveria ser constituído pelas 3 *tasks* seguintes:

- Leitura de Dados - *Task* onde são lidos os dados provenientes dos sensores de peões;
- Controlo de Dados - *Task* onde são interpretadas as mensagens provenientes da *task* anterior e se envia mensagens para os atuadores para indicar o efeito que os mesmos devem realizar;
- *Blinking LED* - *Task* meramente informativa, apenas acende e apaga um LED *built-in* para certificar se o *scheduler* está a funcionar como deveria.

Todas as *tasks* enumeradas acima têm a mesma prioridade e são todas alocadas, de forma dinâmica.

Na enumeração anterior, é possível verificar que a *task* responsável pelo controlo de dados, recebe informações de uma *task* diferente, a *task* responsável pela leitura de dados.

No entanto, no *FreeRTOS* a utilização de variáveis globais é desaconselhada, por isso são utilizadas filas de mensagens (ou *message queues*) para enviar os dados pretendidos de uma *task* para outra.

Durante a implementação deste projeto, criaram-se as 3 *message queues* seguintes, estaticamente alocadas:

- *QueueLado1* - Quando um peão aciona o sensor de peões do lado 1, a *task* responsável pela leitura dos dados da UART preenche a *queue* respetiva com o número de *ticks* incrementados até àquele momento e é enviada para a *task* responsável pelo controlo de dados;

- *QueueLado2* - Executa o mesmo processo que a *QueueLado1*, só que esta é preenchida com número de *ticks* incrementados até ao momento em que o sensor de peões do lado 2 é acionado;
- *QueueBrigthness* - Sempre que um dos sensores de pressão é acionado, é lido a posição do vector que contém o valor de intensidade com que os LEDs devem ser ligados e este valor é colocado nesta *queue* e é enviado para a *task* responsável pelo controlo de dados.

Na Figura 5.14, está representado o Fluxograma, que esquematiza o funcionamento do sistema de controlo.

Através do Fluxograma, é possível observar que o programa começa por realizar as inicializações relativas ao *clock* do sistema, aos GPIOs, às UARTs e ainda às *tasks* e *queues*.

O *clock* do sistema funciona a uma frequência de $16MHz$ e a configuração dos GPIOs passa pela activação dos pinos do microcontroladores. Esta funcionalidade é bastante útil para, por exemplo, definir inicialmente se os *transceivers* MAX485 funcionarão como recetores ou transmissores.

A configuração das UARTs 1 e 2, passa por estabelecer parâmetros como o *baud rate*, o número de *bits* de dados, o *bit* de paridade e ainda o número de *stop bits*.

A UART1 foi configurada com um *baud rate* de $74880bps$, 8 *bits* de dados, incluindo o *bit* de paridade e ainda com 1 *stop bit*. A configuração da UART2 é igual da UART1, exceptuando o valor do *baud rate*, que é de $57600bps$.

O *baud rate* é diferente entre as duas UARTs porque o *baud rate* deve ser igual ao *baud rate* definido pelos outros elementos do sistema com que cada UART pretende comunicar.

Como a UART1, lê os valores enviados pelos sensores de peões e estes são enviados com uma taxa de transmissão de $74880bps$, é necessário que a UART1 possua um *baud rate* igual. O mesmo ocorre com a UART2, que transmite os dados para os atuadores, com uma taxa de transmissão de $57600bps$, que é igual ao *baud rate* definido para os atuadores.

Após as inicializações anteriores serem realizadas, inicializa-se o *scheduler*, que gere o tempo de CPU que será dedicado às 3 *tasks*.

Verifica-se que todas as *tasks* são basicamente funções a correr em *loop*. A *task* de leitura de dados, está sempre à escuta de novos dados na UART1 e quando recebe os dados, interpreta-os, realiza um *checksum* para verificar se a mensagem foi recebida conforme foi enviada, deteta qual é o lado do sensor de peão que foi acionado e preenche as *messages queues* respetivas. Após enviar preencher a *queue*, volta a estar à escuta.

A *task* responsável pelo controlo de dados está ininterruptamente a verificar os valores guardados nas *queues* e sempre que é detetada alguma actualização numa das 3 *queues*, o programa verifica qual das *queues* é que foi actualizada.

Após detetar qual dos dois sensores de peão foi acionado, verifica se algum efeito já está a ocorrer naquele momento.

Se estiver a ocorrer algum efeito e corresponder ao mesmo efeito que iria ser despoletado, o contador de tempo associado a esse efeito é reiniciado e o efeito LED desse lado começa de novo.

Caso esteja um efeito a ocorrer e seja o oposto àquele que iria ser despoletado, é iniciado o efeito combinado.

Após despoletar qualquer um dos efeitos, a *task* volta a verificar se mais alguma das *queues* foi actualizada.

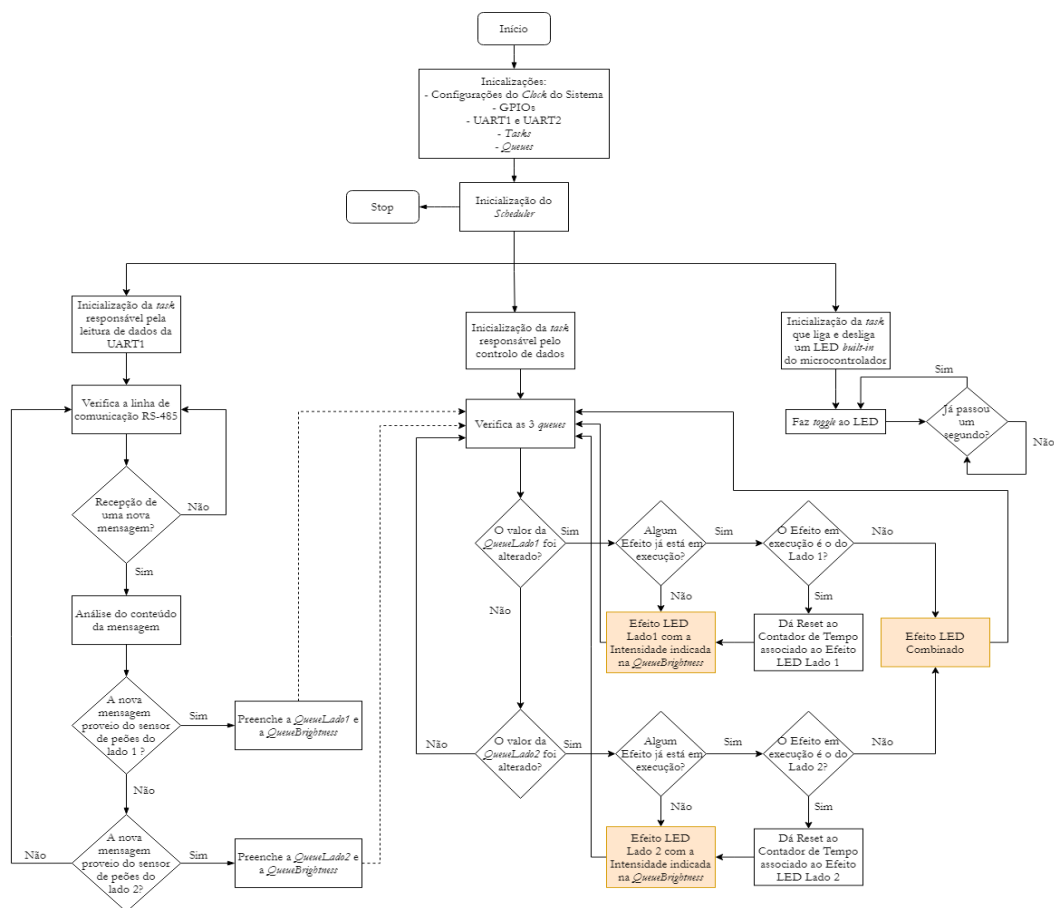


Figura 5.14: Fluxograma Relativo ao Funcionamento do Sistema de Controlo

No Fluxograma é possível observar que 3 dos blocos estão em tons laranjas. Esses blocos correspondem aos efeitos LED possíveis e, durante esta Secção, serão abordados em melhor detalhe. Não se inclui a informação relativa a esses efeitos no Fluxograma, da Figura 5.14 porque dificultaria a compreensão do mesmo.

Os Efeitos LED que podem ser despoletados pelo Sistema de Controlo, são os seguintes:

- Efeito LED Lado 1 - Ocorre quando existem peões a atravessar a travessia de peões da esquerda para a direita e despoleta uma sequência de LEDs a acender da esquerda para a direita;
- Efeito LED Lado 2 - Ocorre quando existem peões a atravessar a travessia de peões da direita para a esquerda e despoleta uma sequência de LEDs a acender da direita para a esquerda;
- Efeito LED Combinado - Ocorre quando existem peões a atravessar a passadeira de ambos os lados e despoleta um efeito em que os LEDs que acendem convergem da extremidade para o centro;

Na Figura 5.15 estão representados os IDs de cada *slave* existente, numa faixa e ainda o sentido em que os LEDs acendem para cada tipo de Efeito. É possível observar que cada *slave* possui um ID_simples e um ID_combinado.

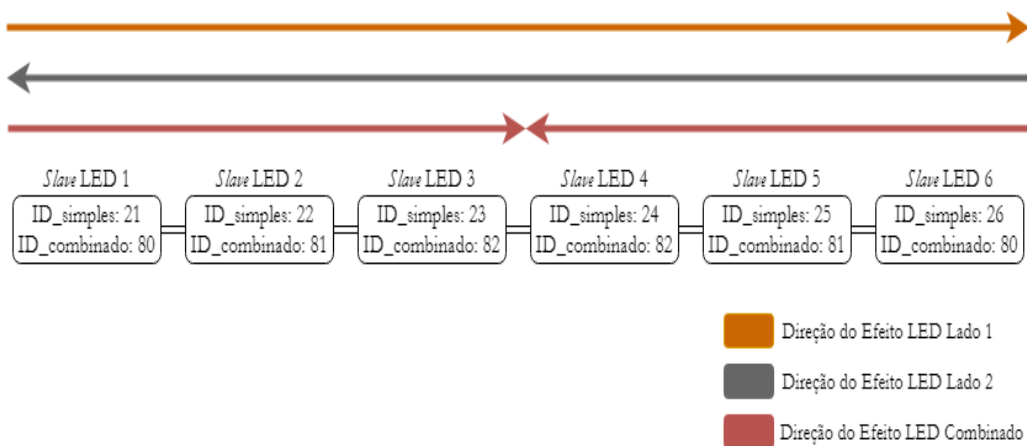


Figura 5.15: *Identifiers* de cada *Slave* LED por Faixa

Esta Figura tem como propósito facilitar a visualização dos Efeitos LED, representados nos Fluxogramas das Figuras B.1, B.2, e B.3, localizados no Anexo B.

Todos os efeitos LED foram realizados baseados no *tick counter*, que é o elemento do sistema responsável pela contagem de *ticks* desde que o *scheduler* foi iniciado, sendo que cada *tick* representa uma base de tempo conhecida.

Definiu-se no programa que o *tick rate* seria de 1000Hz. O *tick rate* define a frequência na qual os *ticks* ocorrem. Através da Equação 5.7, calcula-se o período associado a cada *tick* e conseqüentemente, a sua base de tempo.

$$f = \frac{1}{T} \Leftrightarrow T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000} = 0.001s = 1ms \quad (5.7)$$

Através do resultado da Equação 5.7, é possível afirmar que um *tick* corresponde a um *1ms*, o que permite ao programa contar o tempo. Por exemplo, quando o número de *ticks* for igual a 500, o programa saberá que passaram *500ms*, desde que o *scheduler* foi iniciado.

Sempre que um dos sensores de peões é acionado, o sistema de controlo recebe a mensagem a alertar que ocorreu um evento, o sistema determina qual foi o lado dos sensores que foi acionado, actualiza a variável que contém o tempo associado a esse lado, envia o valor do tempo actualizado, através das *queues*, e é despoletado um efeito LED.

Quando o sensor de peões do Lado 1 é acionado, o valor do tempo em que este é acionado é guardado na variável *time_lado1*. O programa deteta se existe mais algum efeito a ocorrer e caso nenhum esteja a ocorrer despoleta o Efeito LED Lado 1. Na Figura 5.15 é possível verificar que, por faixa, existem 6 *slaves* e que o sentido em que os LEDs acendem é da esquerda para a direita. Como tal, o efeito começa por acender o *slave* com o ID_simples igual a 21 e segue a acender até ao *slave* com ID_simples igual a 26.

Cada LED permanece aceso durante *500ms*, e quando esses *500ms* passam, os LEDs são apagados, portanto o efeito demorará a 3 segundos a chegar até ao final da linha de *slaves*, visto que são 6 *slaves* acesos, durante meio segundo cada um. No entanto, está estipulado que uma pessoa a atravessar a estrada demora no mínimo 4 segundos.

Como os 3 segundos do efeito são inferiores aos 4 segundos necessários para uma pessoa atravessar a estrada, o efeito é repetido mais uma vez, fazendo com o que o efeito dure no total 6 segundos.

No momento em que o efeito é iniciado, calcula-se o valor do tempo naquele preciso momento e guarda-se o mesmo na variável *time_atual*. Após esse valor estar devidamente guardado, é realizada uma operação aritmética de subtrair e verifica-se se o resultado é menor do que *500ms*. Caso seja, é enviada uma mensagem para os atuadores, ordenando o *slave* com ID_simples igual a 21 para acender os LEDs associados.

Depois verifica-se se a diferença entre o *time_atual* e o *time_lado1* está compreendido entre os *5000ms* e os *1000ms*. Se estiver, é enviada uma mensagem para igual 21 para desligar os LEDs, que a ele estão conectados, e ainda outra mensagem para o *slave* com o ID_simples 22 para que este acenda os LEDs que lhe correspondem.

Passados *500ms* de acender os LEDs associados ao *slave* com ID_simples igual a 22, é ordenado que estes sejam apagados e que acedam os LEDs associados ao *slave* com o ID igual a 23.

Após mais *500ms*, o *slave* de ID_simples igual a 23 apaga os respectivos LEDs e o *slave* com o ID_simples 24 acende os LEDs a ele associado. Ao fim de *500ms*,

os LEDs do *slave* de ID_simples 24 são apagados e acendem os associados ao *slave* de ID_simples 25.

Após os LEDs do *slave* de ID_simples estarem acesos durante mais 500ms, acende-se os LEDs respectivos ao *slave* com ID_simples igual a 26. Passado 500ms, os LEDs acesos são apagados e começa a rotina de novo, a acender e a apagar desde os *slaves* de ID_simples a 21 até ao *slave* com ID_simples igual a 26.

O efeito LED Lado 2, funciona exatamente da mesma forma que o efeito LED Lado 1, excetuando a direcção em que os LEDs acendem, visto que neste efeito, os primeiros LEDs a acender estão associados ao *slave* com ID_simples igual a 26 e os últimos são os LEDs respectivos ao *slave* de ID_simples de 21.

Em relação ao Efeito LED Combinado, este funciona de forma semelhante aos restantes efeitos, só que durante o mesmo existem sempre dois *slaves* ligados por faixa e de forma a garantir que estes acendam os LEDs em simultâneo, atribui-se o mesmo valor de ID_combinado a 2 dos *slaves* existentes por faixa.

Este efeito tem a particularidade, de as variáveis serem limpas, no início do efeito, de forma a garantir que este prossegue até ao fim e não fica incompleto.

Neste efeito, os LEDs também estão acesos durante meio segundo e a sequência de LEDs é realizada das extremidades para o centro, começando dos *slaves* com ID_combinado igual a 80 e convergindo para os *slaves* com ID_combinado igual a 82.

Apesar de serem 6 *slaves* por faixa, como nos efeitos anteriores, os LEDs estão apenas ligados durante um segundo e meio, portanto é necessário repetir o efeito LED combinado 3 vezes, para que a duração total do efeito seja superior a 4 segundos.

Os efeitos LED implementados neste projeto estão esquematizados, individualmente, nas Figuras B.1, B.2 e B.3, do Anexo B.

5.2.4 Implementação dos atuadores Localizados no Pavimento

Os atuadores integrados neste projeto têm como principal função receber e interpretar as mensagens enviadas pelo sistema de controlo e, consoante, o conteúdo das mesmas realizar os efeitos luminosos que se pretende. Estes devem ainda ser capazes de acender as fitas LEDs com a intensidade devida.

Cada atuador utilizado possui um ID, de forma a serem identificados e é através desse valor que estes sabem se a mensagem é dirigida a eles ou não.

De forma simplificada, os atuadores são dispositivos, ligados a uma linha, que estão constantemente à escuta de mensagens, provenientes do sistema de controlo.

Os atuadores estabelecem a comunicação com o sistema de controlo através de *transceivers* MAX485 que se comportam apenas como recetores.

Sempre que o sistema de controlo envia uma mensagem, todos os atuadores ligados à linha recebem a mesma e interpretam-na. Após interpretá-la, podem ou não, executar alguma ação.

A Figura 5.16 representa o fluxograma relativo aos atuadores localizados no pavimento.

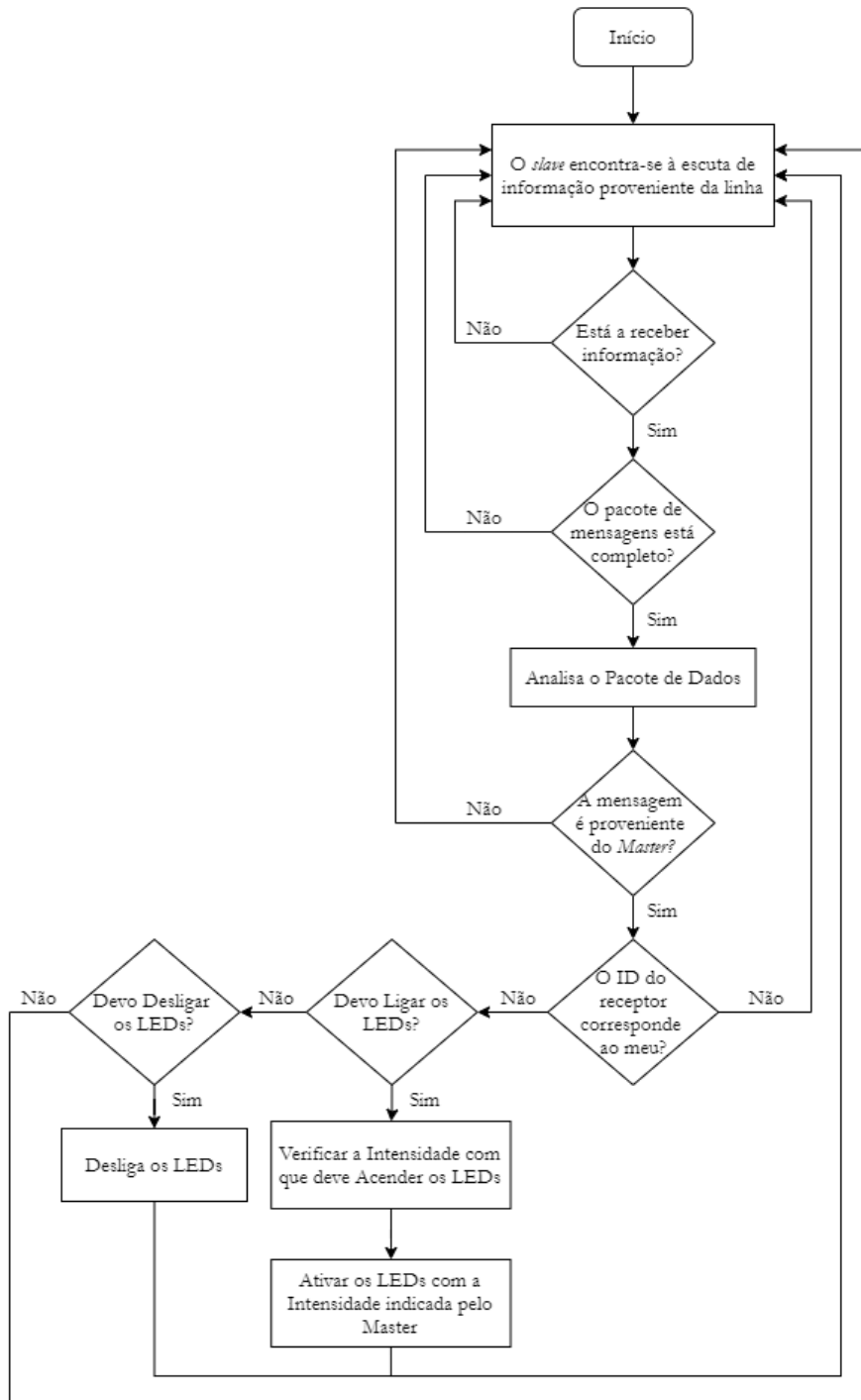


Figura 5.16: Fluxograma Relativo ao Funcionamento do atuadores Localizados no Pavimento

Através do fluxograma, é possível observar que o programa desenvolvido para cada actuador corresponde a um *loop* que inicia com todos os *slaves*, os atuadores, à

escuta de mensagens provenientes do *master*, que neste caso corresponde ao sistema de controlo. Os *slaves* estão constantemente a verificar se surge alguma mensagem e caso a recebam, a primeira coisa que fazem é verificar se a mensagem tem o tamanho previsto.

De seguida, os *slaves* analisam o pacote de dados recebido, confirmam se a mensagem é proveniente do *master*, através da análise do ID do emissor. Caso a mensagem provenha do *master*, os *slaves* passam a analisar o ID do *slave*, para o qual a mensagem se dirige.

Se o ID do *slave* não corresponder ao ID de quem está a analisar, esse *slave* voltará a estar à escuta de mais mensagens. Caso contrário, a mensagem será dirigida ao mesmo e este deve continuar a proceder à análise restante da mensagem.

Caso na mensagem, seja indicado que a fita de LEDs deve ser ligada, o *slave* deve verificar a intensidade com a qual deve acender a fita e, depois, ativar a fita de LEDs com a intensidade, respetiva.

Caso na mensagem, seja indicado que se deve desligar a fita de LED, o *slave* deve ordenar a fita de LED, à qual está conectado, que se desligue.

Capítulo 6

Validação Experimental e Resultados

Durante o desenvolvimento deste projeto, foram realizados diversos testes e validações experimentais. Todas as partes que constituem este sistema foram, inicialmente, validadas em *breadboard* e posteriormente, os circuitos foram passados para PCB e testados novamente.

Ao longo deste Capítulo, serão abordadas todas as validações experimentais realizadas, tanto em *breadboard* como em PCB, e os resultados obtidos, durante o desenvolvimento deste projeto.

6.1 Validação Experimental do Circuito de Potência e Resultados Respetivos

Na Figura 6.1, é possível observar o circuito de potência ligado numa *breadboard*.

É possível observar que esta *breadboard* possui um potenciômetro, o que não acontece na PCB.

Durante a validação do circuito de potência, em *breadboard*, não foi possível ligar o painel FV ou o conversor AC/DC, porque estes consomem imensa corrente e existia uma enorme probabilidade de se queimar a *breadboard* e os elementos do circuito. Além disso, numa fase inicial, o importante era mesmo garantir que as

ligações estavam bem colocadas, os valores eram bem lidos e as condições do código verificadas.

Para contornar o problema da corrente, utilizou-se um potenciômetro, que permite variar o valor da resistência e, conseqüentemente, ajustar determinados valores de tensão.

Apesar de os valores de tensão mais baixos, relativamente aos valores do painel e do conversor AC/DC, ajustaram-se os valores das tensões no código e conseguiu-se verificar as condições e ainda, o correto funcionamento do circuito em si.

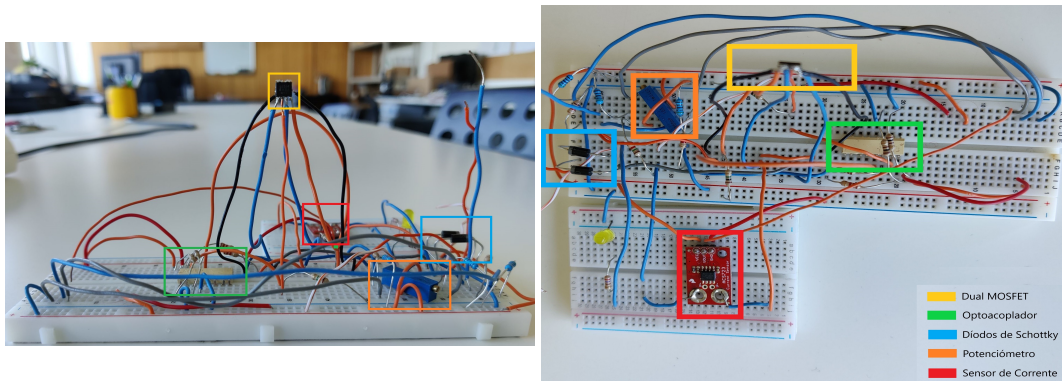
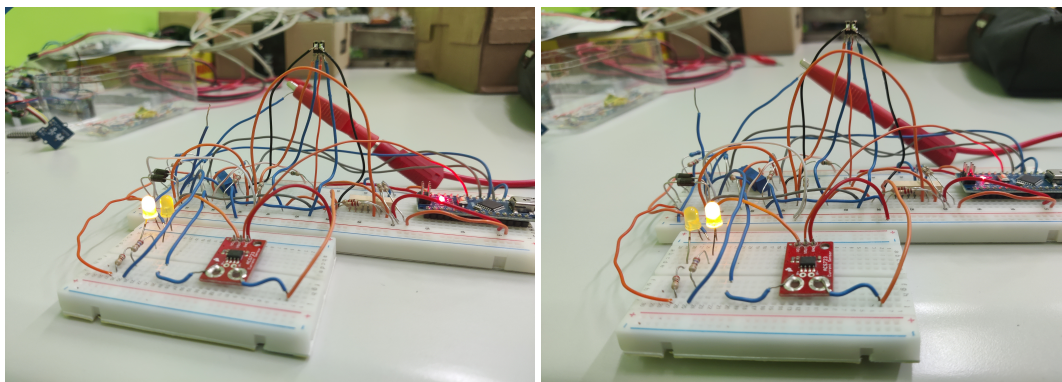


Figura 6.1: Circuito de Potência em *Breadboard*

Na Figura 6.2 é possível observar o circuito de potência, ligado na *breadboard*, em funcionamento.

Para verificar o funcionamento do mesmo, ligaram-se dois LEDs antes de cada diodo e era expectável que LED da esquerda ligue quando for o painel FV a alimentar a bateria, como ocorre na Figura 6.4, e que o LED da direita ligasse quando fosse o Conversor AC/DC a alimentar a bateria, como ocorre na Figura 4.1.



(a) Painel FV a alimentar a Bateria

(b) Conversor AC/DC a alimentar a Bateria

Figura 6.2: Circuito de Potência em Funcionamento na *Breadboard*

Na Figura 6.3, é possível observar a PCB desenvolvida, que é utilizada para realizar a validação experimental do Circuito de Potência.

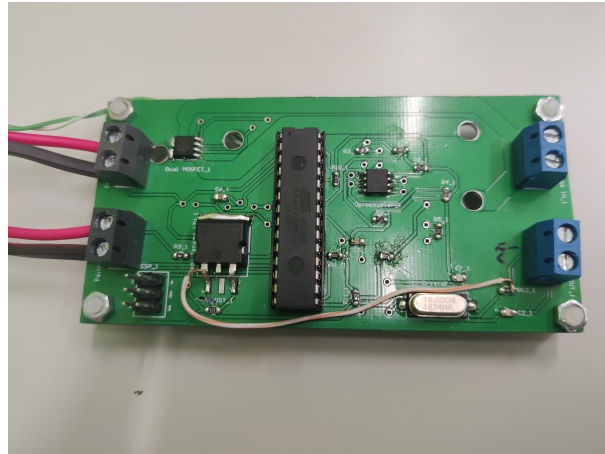


Figura 6.3: PCB Desenvolvida para o Circuito de Potência

Para testar o funcionamento do Circuito de Potência, utilizaram-se duas fontes de alimentação, de forma a ser mais fácil testar as condições aplicadas, visto que é possível ajustar a tensão do painel FV, do conversor AC/DC e da bateria. Optou-se pela validação experimental através da utilização de fontes da alimentação, porque se fosse necessário ligar diretamente ao painel FV e ao conversor AC/DC, teria de se esperar que a bateria descarregasse ou que o painel FV estivesse com uma tensão baixa, o que demoraria bastante tempo.

No Fluxograma da Figura 5.9, localizado no Capítulo 5, estão representadas todas as condições realizadas pelo Circuito de Potência, sendo que as condições principais são as seguintes, que são validadas nas Figuras 6.4, 6.5 e 6.6:

- Se a tensão na bateria for superior a 12V, o painel FV conduz por *default*;
- Se a tensão na bateria for inferior a 12V e a tensão no painel FV for superior à da bateria e à do conversor AC/DC, é o painel FV que alimenta a bateria;
- Se a tensão na bateria for inferior a 12V e a tensão no painel FV for superior à da bateria, mas inferior à do conversor AC/DC, é o conversor AC/DC que alimenta a bateria;

A forma de verificar se é o painel FV ou o conversor AC/DC a alimentar a bateria, é verificar qual dos dois consome corrente. Nas fontes de alimentação, a bateria, o painel FV e o conversor AC/DC estão identificadas, através de uma etiqueta.

Na Figura 6.4, é possível validar a primeira condição enumerada acima, visto que a tensão da bateria é superior a 12V e o painel FV encontra-se a conduzir, como era expectável.

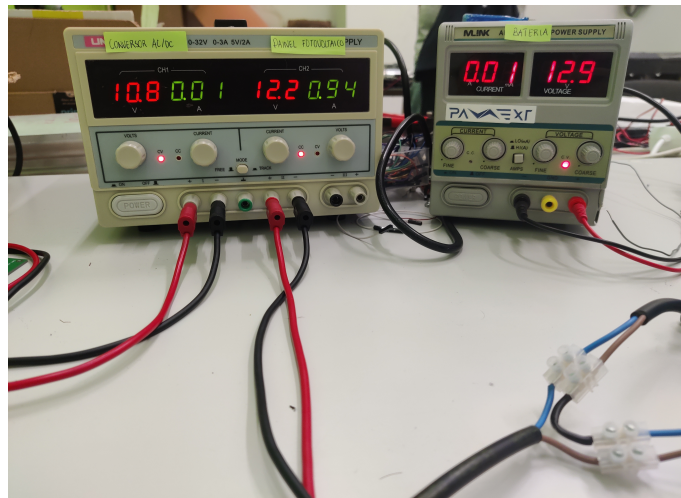


Figura 6.4: Painel FV encontra-se a alimentar a Bateria por *default*

A Figura 6.5 representa a 2ª condição enumerada anteriormente. A tensão da bateria é inferior a 12V e a tensão no painel FV é superior à da bateria e à do conversor AC/DC e é possível verificar que o painel FV, está a alimentar a bateria porque se encontra a consumir corrente.

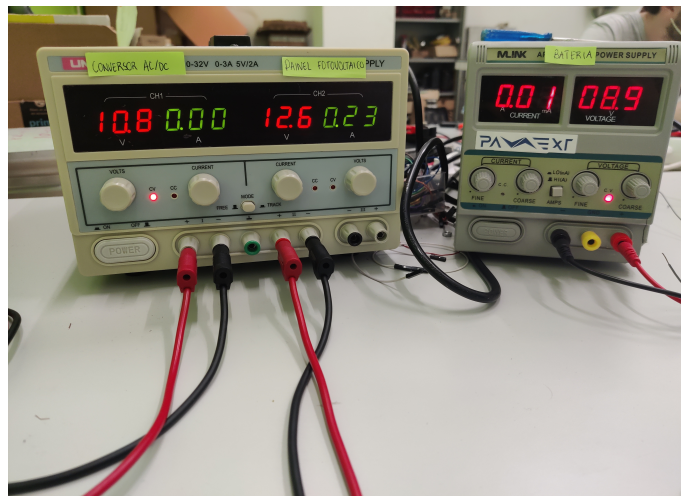


Figura 6.5: Painel FV alimenta a Bateria

Por fim, na Figura 6.6 é possível verificar que é o conversor AC/DC que está a alimentar a bateria. A 3ª condição enumerada indica que se a tensão da bateria for inferior a 12V e a tensão do painel for inferior à tensão do conversor AC/DC e é exatamente o que ocorre, como é possível verificar na Figura seguinte.

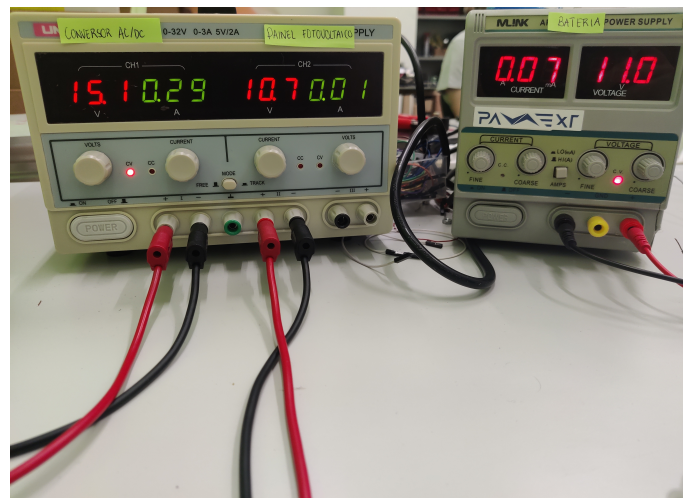


Figura 6.6: Conversor AC/DC alimenta a Bateria

6.2 Validação Experimental do Sistema de Controlo e Resultados Respetivos

O sistema de controlo é dividido em 3 componentes. A componente responsável pela deteção de peões, a componente responsável pela interpretação da mensagem vindo dos sensores e pelo envio de mensagens com comandos para os atuadores e, por fim, a componente em que são realizados os efeitos luminosos.

A PCB responsável pela deteção de peões está representada na Figura 6.7.

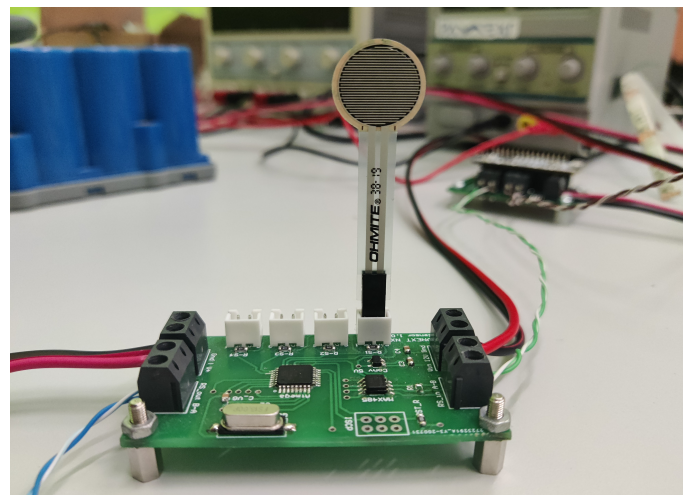


Figura 6.7: PCB Desenvolvida para o Sensor de deteção de Peões

Na Figura 6.8 está representado a PCB desenvolvida para o sistema de controlo, onde é possível observar que esta é constituída pelo microcontrolador, dois MAX485 e por duas resistências de terminação de linha.

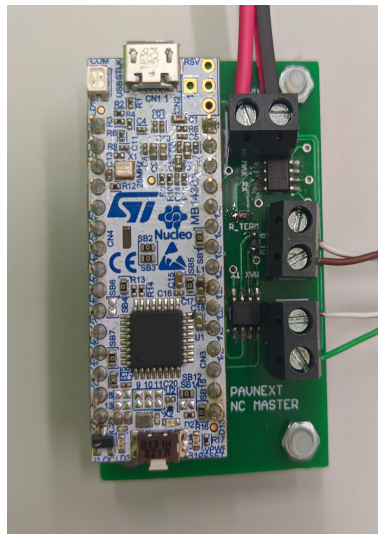


Figura 6.8: PCB Desenvolvida para o Sistema de Controlo

A PCB utilizada para os atuadores, está representada na Figura 6.9, onde é possível verificar que existe um regulador de tensão, um microcontrolador ATmega328P SMD, um MAX485, que funciona com recetor e ainda dois terminais onde são ligadas as duas fitas de LEDs. Por faixa e em cada sentido, existem 6 *slaves*, como os representados na Figura seguinte.

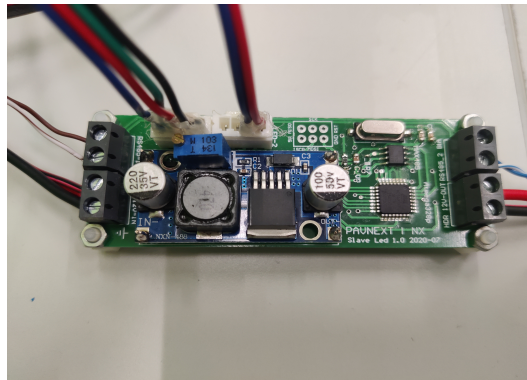


Figura 6.9: PCB Desenvolvida para os atuadores Localizados no Pavimento

Para este sistema de controlo, a única componente testada em *breadboard* foi a componente responsável pela interpretação da mensagem vindo dos sensores e pelo envio de mensagens com comandos para os atuadores, visto que as outras componentes já tinham sido validadas e utilizadas, noutros projetos da Pavnext.

Antes da PCB, representada na Figura 6.8, ser impressa, validou-se o circuito em *breadboard* e simularam-se os sensores de deteção de peões, através de *switches* mecânicos, que mandavam um pacote de dados exatamente igual aos sensores de peões.

Na Figura 6.10, é possível distinguir diversos blocos coloridos à volta dos elementos que constituem o sistema.

Nos blocos verdes, é possível observar *switches*. Cada *switch* encontra-se ligados a um dos microcontroladores, que estão inseridos no retângulo azul. Nesta fase de projeto, os *switches* simulam os sensores de pressão da PCB, representada na Figura 6.7.

Dentro do retângulo vermelho estão representados os MAX485, que funcionam como transmissores e no interior do bloco a laranja estão os MAX485 que funcionam como recetores.

A roxo, é possível observar o STM32G431KBT6 que, por sua vez está conectado a um MAX485 transmissor e outro MAX485 recetor.

A amarelo, existe outro microcontrolador, que, desta vez, simula o microcontrolador que gere os atuadores, e que está ligado a um MAX485 recetor e ainda a dois LEDs amarelos, lado a lado.

Na Figura 6.10, é possível simular as 3 partes do sistema de controlo. Os microcontroladores, dos blocos azuis, e os *switches*, dos blocos verdes, simulam o sistema de deteção de peões. O microcontrolador, no bloco roxo, simula o sistema de controlo e o microcontrolador, no bloco amarelo, simula os atuadores.

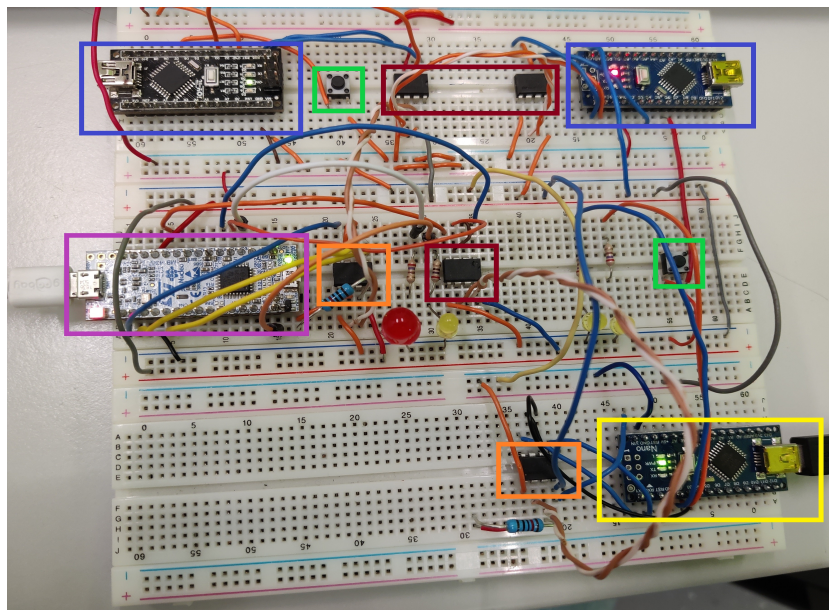


Figura 6.10: Sistema de Controlo em Fase Inicial, montado em *Breadboard*

Para validar o funcionamento desta *breadboard* e, conseqüentemente, a comunicação entre as 3 partes do sistema, pressiona-se um *switch*, que simula o sensor de pressão, como se fosse um peão a entrar na passadeira, o microcontrolador, do bloco azul, recebe a informação de que o *switch* foi acionado e envia uma mensagem para o microcontrolador, do bloco roxo, que simula o sistema de controlo.

Este recebe a mensagem, interpreta-a e envia uma mensagem para o microcontrolador, do bloco amarelo, que simula os atuadores. De acordo com a mensagem recebida, o microcontrolador acende um dos LEDs.

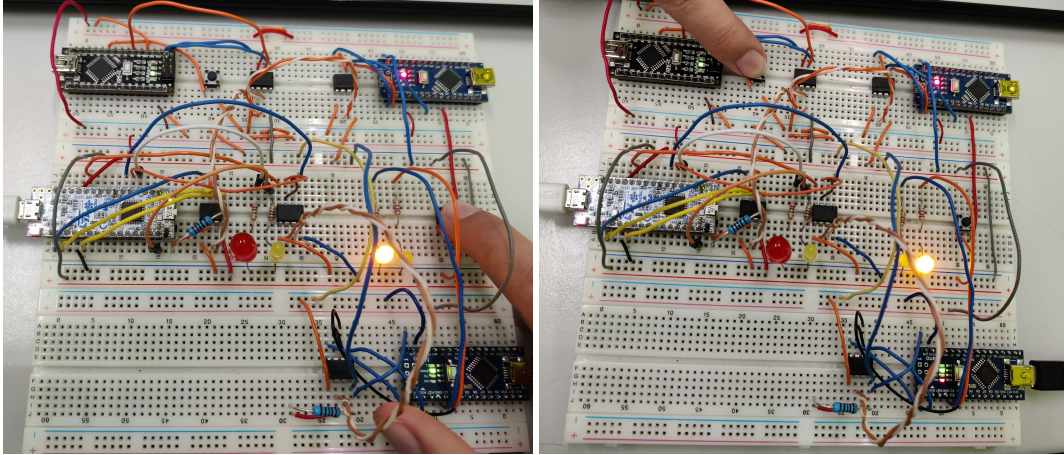


Figura 6.11: Validação do Funcionamento do Sistema de Controlo em *Breadboard*

Na Figura 6.11, é possível observar a validação do funcionamento do sistema de controlo em *breadboard*.

Na Imagem da esquerda é possível observar que o *switch* localizado à direita é acionado e o LED da esquerda é aceso. Na Imagem à direita, verifica-se que é o *switch* da esquerda que é acionado, o que faz com que o LED da direita acenda.

Isto demonstra que os microcontroladores associados aos *switches*, receberam o sinal de que os *switches* foram acionados, enviaram mensagem para o sistema de controlo que, por sua vez, recebeu a mesma, interpretou-a e, ainda, enviou uma mensagem diferente para o microcontrolador responsável para acender os LEDs, com a informação de qual dos LEDs é que deveria acender.

Após validar o funcionamento com LEDs na *breadboard*, conectou-se o STM32G431KBT6 a uma PCB igual à que está representada na Figura 6.9, de forma a validar o funcionamento direto com a PCB.

Neste ponto mais inicial, apenas se conectou ao STM32G431KBT6 uma PCB de atuadores, de forma a verificar se a mensagem estava a chegar à mesma de forma correta e sem erros de transmissão.

Na Figura 6.12 é possível observar que, no momento em que o *switch* é acionado, simulando a entrada de um peão na passadeira, as fitas de LED acendem, como expectável.

Após testar a chegada da mensagem correta a um *slave* LED, adicionaram-se mais 3 *slaves* à linha e substituiu-se os *switches*, pela PCB desenvolvida para o sensor de deteção de peões, representada na Figura 6.7.

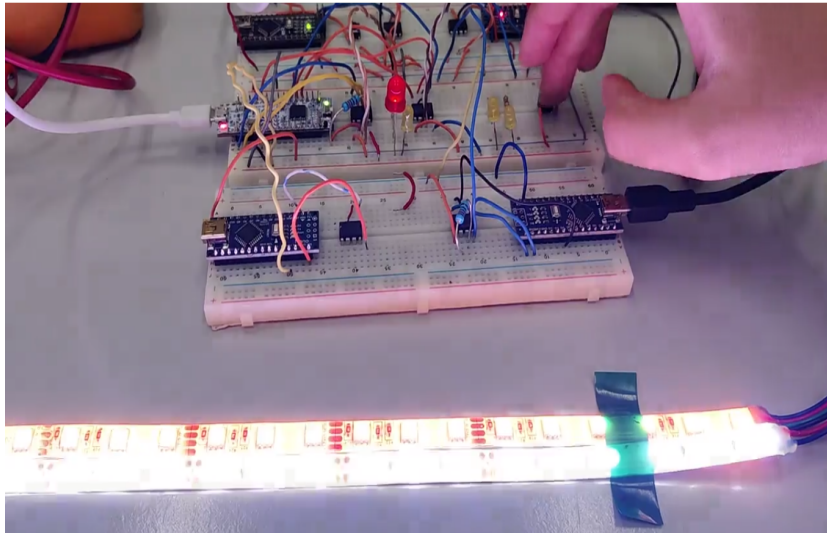


Figura 6.12: Fitas de LEDs acesas quando o switch é acionado

Na Figura 6.13, é possível observar a vermelho a PCB, representada na Figura 6.7, e a azul as PCBs, da Figura 6.9 e o efeito LED em funcionamento.

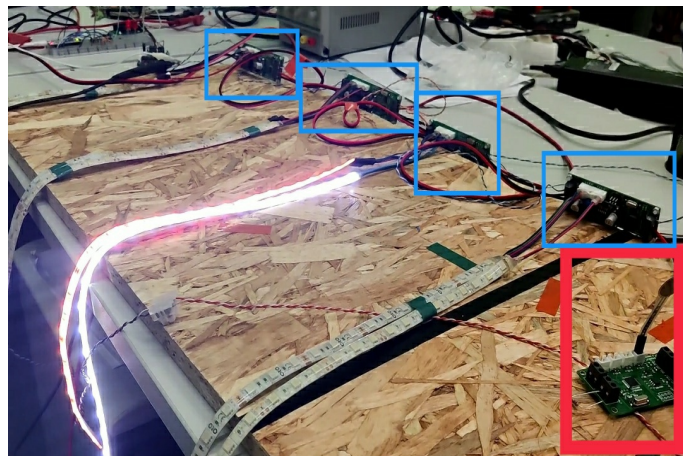


Figura 6.13: Fitas de LEDs acesas quando o sensor é acionado

Após a integração das duas PCBs, integrou-se a PCB que inclui o *master*, representada na Figura 6.8. Adicionaram-se mais duas PCBs de atuadores, para formar o número de *slaves* necessários para uma faixa, e obteve-se os efeitos, descritos em detalhe durante o Subcapítulo 5.2.3.

Na Figura 6.14 é possível verificar a sequência dos LEDs a acenderem durante o Efeito de Lado1. Esta sequência é realizada duas vezes e observa-se que esta é iniciada no *slave* LED com um ID igual a 21, e o ID vai incrementando até 26.

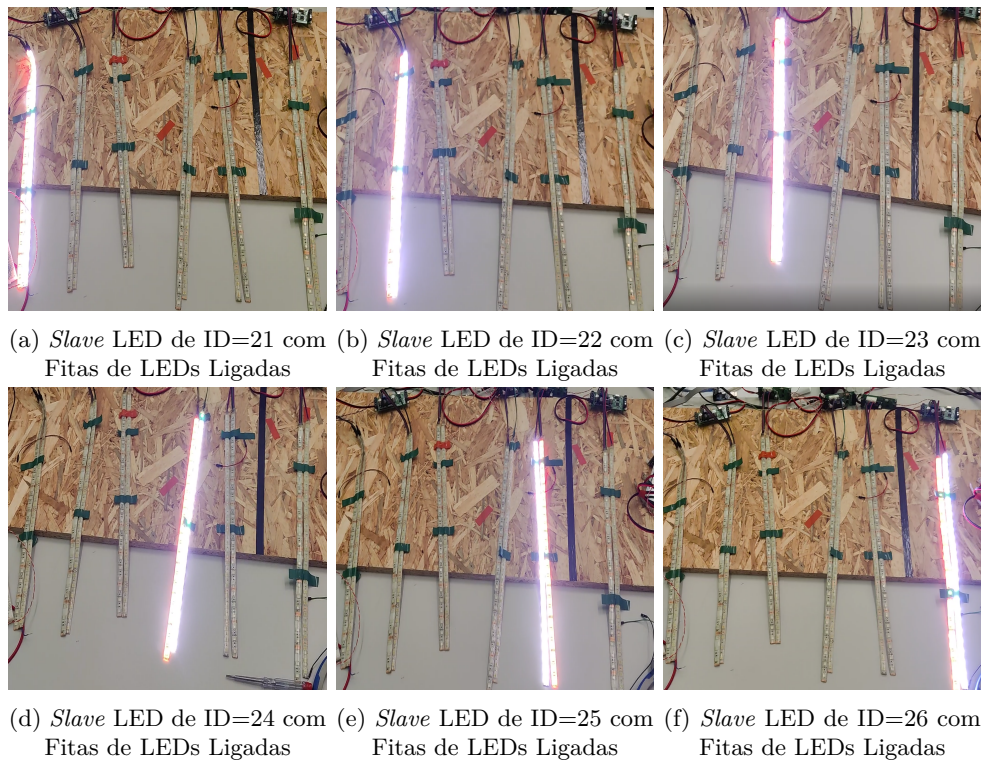


Figura 6.14: Sequência de LEDs a Ligarem durante o Efeito LED Lado 1

A Figura 6.15 apresenta a sequência em que as fitas de LED ligam durante o Efeito Combinado, que ocorre quando dois ou mais peões entram na travessia, vindos de lados opostos. Durante o Efeito Combinado a sequência representada na Figura seguinte, ocorre 3 vezes e é iniciada pelos *slaves* LED com ID igual a 80 e segue, sequencialmente, até aos *slaves* LED de ID igual a 82.

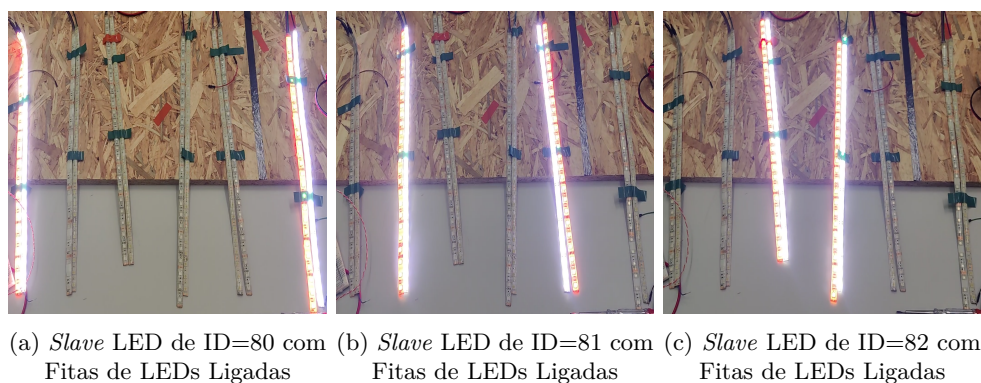


Figura 6.15: Sequência de LEDs a Ligarem durante o Efeito LED Combinado

A Figura 6.16 apresenta a sequência na qual as fitas de LED acendem durante o Efeito LED Lado 2. Neste efeito, os LEDs acendem na direção oposta do Efeito Lado 1, isto é, as primeiras fitas de LED a ligarem são as que estão associadas ao

slave LED com ID igual a 26 e vão acendendo sequencialmente até chegarem às fitas de LED que estão ligadas ao *slave* LED de ID igual a 21. Tal como ocorre no Efeito Lado 1, esta sequência é executada duas vezes durante o Efeito Lado 2.

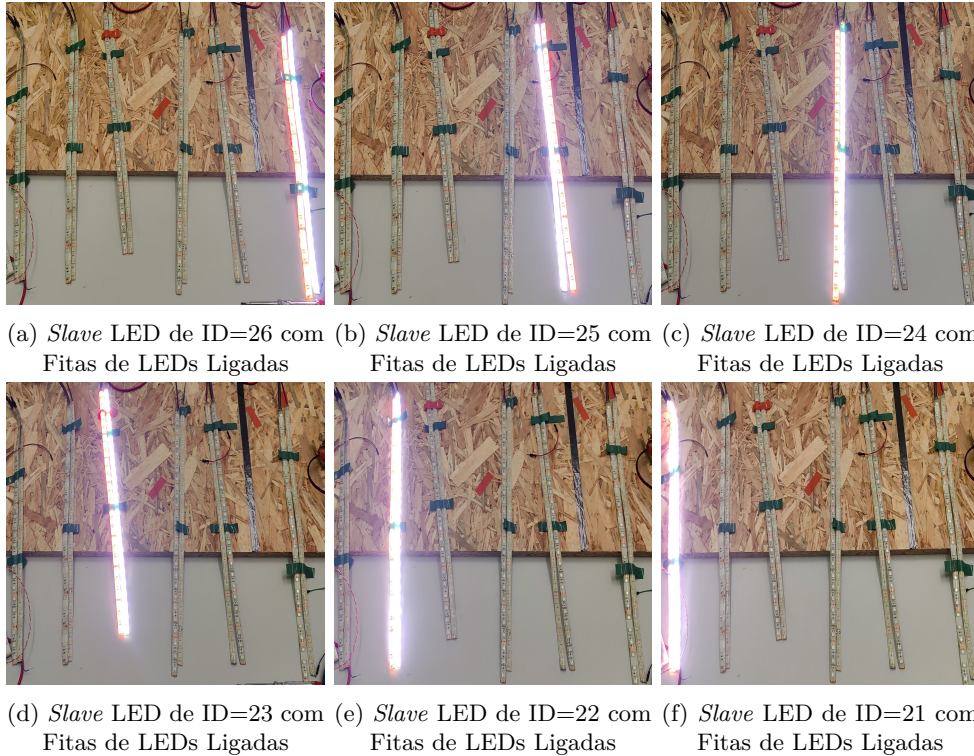


Figura 6.16: Sequência de LEDs a Ligarem durante o Efeito LED Lado 2

Capítulo 7

Conclusões

Apesar de nas últimas décadas um sem número de programas de melhoria da segurança rodoviária terem conseguido aumentá-la, reduzindo significativamente o número de mortes e lesões permanentes, os acidentes rodoviários ainda são uma das maiores causas de morte a nível mundial.

Atualmente, nos países desenvolvidos os acidentes em travessias de peões representam uma percentagem significativa de acidentes graves, o que demonstra que o impacto que a segurança rodoviária tem no quotidiano é muitas vezes menosprezado. No entanto, durante as últimas décadas têm crescido a sensibilização em relação a este aspeto e, como tal, têm surgido mais iniciativas, como projetos governamentais e tecnológicos, nos quais o principal objetivo é aumentar a segurança rodoviária e, consequentemente, reduzir o número de fatalidades que ocorrem todos os dias,

No âmbito de promover uma maior segurança rodoviária, de forma sustentável, surgiu este projeto que passa por criar um circuito de potência capaz de gerir a carga de uma bateria e a forma como esta é alimentada e ainda por desenvolver uma solução rodoviária que promovesse maior segurança para os peões quando atravessam na passadeira.

Ao longo do desenvolvimento deste projeto, foram estudadas e testadas diversas tecnologias e dispositivos. Realizaram-se estudos energéticos para os mais diversos cenários, em termos de número de pessoas que atravessam a passadeira, e a partir dos mesmos, dimensionou-se um sistema fotovoltaico que, à partida, será autossustentável. Quando o sistema fotovoltaico não for capaz de alimentar a bateria, que é o elemento responsável por fornecer energia para que a solução rodoviária funcione

devidamente, esta será alimentada pela rede pública de energia, para que a solução esteja constantemente em funcionamento.

Projetou-se a arquitetura da solução rodoviária, desde os dados a serem lidos até aos efeitos espoletados e validou-se experimentalmente, em ambiente laboratorial, toda esta solução.

Em termos gerais, todos os objetivos foram cumpridos, excetuando a validação experimental em ambiente real. No entanto, em ambiente laboratorial, o circuito de potência funcionou corretamente, a solução rodoviária detetou sempre de aproximação que um ou mais peões à zona de travessia de peões e executou os efeitos luminosos planeados, para as diferentes situações previstas.

De acordo com o mencionado no subcapítulo 2.3, pode-se afirmar que o sistema desenvolvido tem um índice TRL 7, visto ter sido validado o funcionamento e pode afirmar-se que este trabalha de forma correta e nas condições expectáveis, apesar de existirem melhorias possíveis e ainda não estar presente no mercado.

7.1 Trabalho Futuro

Durante um desenvolvimento futuro, no sentido de melhorar, poderiam ser implementados alguns aspetos como:

- Desenvolvimento de um sistema capaz de detetar a aproximação de veículos da travessia de peões e atuar, alertando os condutores da proximidade da passadeira;
- Desenho e implementação de uma base de dados, onde fossem guardados os dados relacionados com o sistema desenvolvido;
- Desenvolvimento de uma Interface Gráfica, para visualização intuitiva dos dados guardados na base de dados a ser criada.

Referências

- [1] Eurostat, “Car travel dominates eu inland passenger journeys.” Available at <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/EDN-20180917-1?inheritRedirect=true&redirect=%2Feurostat%2Fnews%2Fwhats-new>, 2018. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 1]
- [2] Eurostat, “Passenger cars in the eu.” Available at https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Passenger_cars_in_the_EU, 2020. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 1]
- [3] Idealista, “Há em portugal 514 carros por cada mil habitantes – luxemburgo no topo do ranking.” Available at <https://www.idealista.pt/news/financas/economia/2020/06/18/43688-carros-em-portugal>, 2020. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 1]
- [4] W. H. Organization, “Decade of action for road safety 2011-2020.” Available at <https://www.who.int/groups/united-nations-road-safety-collaboration/decade-of-action-for-road-safety-2011-2020>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 3]
- [5] W. H. Organization, “Global plan for the decade of action for road safety 2011-2020.” Available at https://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/plan/plan_english.pdf. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 3]
- [6] W. H. Organization, “Decade of action for road safety 2021-2030.” Available at <https://www.who.int/teams/social-determinants-of-health/safety-and-mobility/decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 3]
- [7] V. Z. Network, “What is vision zero?.” Available at <https://visionzeronetwork.org/about/what-is-vision-zero/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas 3 e 4]
- [8] PRP, “Atropelamentos sinistralidade rodoviária em portugal continental 2010-2016.” Available at https://prp.pt/wp-content/uploads/2018/06/Relatorio_PRP_Atropelamentos_2010-2016.pdf, 2018. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 4]

- [9] I. T. Forum, “Road safety annual report 2020.” Available at https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/irtad-road-safety-annual-report-2020_0.pdf, 2020. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 5]
- [10] Álvaro Jorge da Maia Seco, “Acalmia de tráfego.” Available at http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasconcelos/Documentos/ManualdeAcessibilidades/ManuaisCCDRNmiolo_AF/10Acalmia_AF.pdf, 2008. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas 9, 10, 11 e 13]
- [11] A. V. Alexandre, “A importância das medidas de acalmia de tráfego na redução da sinistralidade rodoviária,” 2010. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 9]
- [12] A. Gomes, “O que são bandas cromáticas na estrada e que características têm?” Available at <https://www.circulaseguro.pt/o-que-sao-bandas-cromaticas-na-estrada-e-que-caracteristicas-tem/>, 2018. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 10]
- [13] TSD, “Recycled rubber speed humps.” Available at <https://tsdist.com/product/traffic-calming-products/recycled-rubber-speed-humps/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix, 10 e 11]
- [14] D. N. D. S. VIEIRA, “Medidas de acalmia de tráfego em zonas residenciais.” Available at <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59165/2/Texto%20integral.pdf>, 2008. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas 10, 11 e 12]
- [15] B. Study, “Road bump.” Available at <https://brainstudy.info/images/road-bump>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix e 11]
- [16] N. A. of City Transportation Officials, “Speed cushion.” Available at <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/street-design-elements/vertical-speed-control-elements/speed-cushion/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix e 12]
- [17] IMT, “Medidas de acalmia de tráfego (vol. 1) - medidas individuais aplicadas-atravesamentos de localidades.” Available at <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/InfraestruturasRodoviaras/InovacaoNormalizacao/Paginas/DivulgacaoTecnica.aspx>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 12]

- [18] C. M. de Vila do Conde, “Av. júlio saúl dias: cruzamento com passadeiras elevadas.” Available at https://www.cm-viladoconde.pt/pages/655?news_id=4628, 2018. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix e 12]
- [19] Wikiwand, “Passeios.” Available at <https://www.wikiwand.com/pt/Passeio>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix e 13]
- [20] T. M. de Almeida Pedroso, “Segurança de peões em meios urbanos caso de estudo cidade do porto.” Available at https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/8119/1/DM_TeresaPedroso_2015_MEC.pdf, 2015. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas 14 e 15]
- [21] Watch-Over, “Technologies.” Available at <http://www.watchover-eu.org/technologies.html>, 2008. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix e 14]
- [22] E. Comission, “Mobility and transport road safety.” Available at https://ec.europa.eu/transport/road_safety/users/pedestrians_en. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 14]
- [23] E. Comission, “Transport research and innovation monitoring and information system - aprosys.” Available at https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20120313_143223_50861_Final%20APROSYS%20Report.pdf, 2009. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 14]
- [24] E. Comission, “Aprosys - advanced protection systems.” Available at <https://trimis.ec.europa.eu/project/advanced-protection-systems#tab-outline>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 15]
- [25] Edeva, “Actibump in short.” Available at https://company.intertraffic.com/Image/Download?docid=80289&dl=MIJNRAI_TOP_LIBRARY<c=MIJNRAI_LOGIN_PRIVATEFILE. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix, 16 e 17]
- [26] Actibump, “The reward: a smooth ride.” Available at <https://www.actibump.com/how-it-works/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 16]
- [27] I. Vial, “Tope inteligente.” Available at <https://inteligenciavial.mx/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix e 18]
- [28] Motor24, “Vem aí a lomba inteligente que não obriga a travar.” Available at <https://www.motor24.pt/tech/vem-ai-lomba-inteligente-nao-obriga-travar/309938/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix, 18 e 19]

- [29] ISASTUR, “Vivaden, un ejemplo del perfil innovador del grupo isastur.” Available at <https://www.isastur.com/blog/vivaden-un-ejemplo-del-perfil-innovador-del-grupo-isastur/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 18]
- [30] MotorPasión, “Badenes adaptativos a la velocidad: en boadilla ya los están probando.” Available at <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/badenes-adaptativos-a-la-velocidad-en-boadilla-ya-los-estan-probando>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix e 19]
- [31] D. G. de Tráfico, “Primer badén inteligente de España.” Available at <https://revista.dgt.es/es/noticias/nacional/2014/11NOVIEMBRE/1107baden-inteligente.shtml#.X9D0e9j7TIU>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 19]
- [32] T. Solutions, “Flex-drempel 2.0.” Available at <https://www.ttsolutions.nl/flex-drempel-2-0/>, 2015. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 20]
- [33] T. Solutions, “Flex-drempel.” Available at <https://www.ttsolutions.nl/flex-drempel/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 20]
- [34] TTM, “Flex-drempel.” Available at <https://www.ttm.nl/transport/wegen-en-verkeer/truckvriendelijke-flexdrempel/18773/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix e 20]
- [35] Soltráfego, “Passadeiras seguras.” Available at <http://www.soltrafego.pt/sites/default/files/files/Catalogo%20Passadeiras%20Seguras.pdf>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix, 20 e 21]
- [36] Soltráfego, “Fornecimento e instalação de sistema de passadeira segura - safety cross: Santo tirso.s.” Available at <http://www.opjst.cm-stirso.pt/Modulos/WMOF/Frontoffice/Public/Processos/Propostas/verAnexo.aspx?id=251>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 20]
- [37] G. I. Saludes, “Soluções smart city para sinalização e iluminação.” Available at <https://www.industriassaludes.es/pt/productos/soluc.aspx>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix e 22]
- [38] Schröder, “Passadeiras de peões em portimão com neos.” Available at <https://pt.schreder.com/pt/projetos/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix e 23]
- [39] Habidom, “Iluminação da passadeira de peões inteligente.” Available at [https://habidom.com/Client/Temp/IL%20Iluminarias%20Passadeiras%](https://habidom.com/Client/Temp/IL%20Iluminarias%20Passadeiras%20Inteligentes/)

- 20Inteligente_636989706380678031.pdf. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 23]
- [40] Habidom, “Luminária de leds para passadeira de peões.” Available at <https://habidom.com/pt-PT/produtos/3/iluminacao/5/luminaria-a-leds-passadeira-de-peoes>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix, 23 e 24]
- [41] AiCROSS, “Aicross el paso de peatones que vibra para salvarte la vida.” Available at <https://aicross.es/#quienes-somos>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix, 24 e 25]
- [42] O. T. R. Trends, “Intelligent pedestrian crossings to save cellphone addicts.” Available at <https://www.ontheroadtrends.com/intelligent-pedestrian-crossings/?lang=en>, 2020. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 24]
- [43] C. M. In, “Smart pedestrian crossing.” Available at https://countmein.eu/smart_change/smart-pedestrian-crossing/. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 25]
- [44] STEPVIAL, “Stepvial introduces its technology in portugal.” Available at <https://www.stepvial.com/en/smart-pedestrian-crossing-in-portugal>, 2018. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix e 26]
- [45] Esa, “Technology readiness levels handbook for space applications.” Available at https://artes.esa.int/sites/default/files/TRL_Handbook.pdf. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 26]
- [46] Z. Juan, “Research on technology transfer readiness level and its application in university technology innovation management.” Available at <https://ieeexplore.ieee.org/document/5592775>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 26]
- [47] NASA, “Technology readiness level.” Available at https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level, 2012. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 26]
- [48] E. Moresi, “Análise de níveis de prontidão: uma proposta para empresas nascentes.” Available at <https://proceedings.ciaiq.org/index.php/ciaiq2017/article/view/1127>, 2017. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 26]
- [49] E. Moresi, “Modelos para analisar níveis de prontidão de inovação.” Available at <https://www.iiis.org/CDs2017/CD2017Spring/papers/CB417CP.pdf>, 2017. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 26]

- [50] Bluelux, “Tipos de fita led: conheça as diferenças.” Available at <https://www.bluelux.com.br/tipos-de-fita-led-conheca-as-diferencas/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 31]
- [51] MAUSER, “Fita de 300 leds smd5050.” Available at https://mauser.pt/catalog/product_info.php?cPath=735_751_2902_2012&products_id=306-4112. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas xiii e 31]
- [52] MAUSER, “Fita de 300 leds rgb smd5050.” Available at https://mauser.pt/catalog/product_info.php?cPath=735_751_2916_1371&products_id=306-2203. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas xiii e 33]
- [53] C. Energia, “CÉlulas fotovoltaicas.” Available at <https://ccbs-energia.pt/content/23-celulas-fotovoltaicas>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 43]
- [54] E. D. R. B. Proença, “A energia solar fotovoltaica em portugal.” Available at <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137487931/>, 2007. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 44]
- [55] P. Energia, “Principais tipos de células fotovoltaicas.” Available at <https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>, 2017. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 44]
- [56] C. Electrónica, “Painel fotovoltaico silicio monocristalino 60w / 12v.” Available at <https://www.castroelectronica.pt/product/painel-fotovoltaico-silicio-policristalino-60w-12v--velleman>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix, xiii e 45]
- [57] C. Electrónica, “Fonte alimentação comutada 12vdc 600w 50a - closed frame.” Available at <https://www.castroelectronica.pt/product/fonte-alimentacao-comutada-12vdc-600w-50a--closed-frame>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas ix e 46]
- [58] C. 101, “Atmega328p microcontroller.” Available at <https://components101.com/microcontrollers/atmega328p-pinout-features-datasheet>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas xiii, 46 e 47]
- [59] iElectrony, “Atmega328p-u pdip-28 microcontroller.” Available at <https://ielectrony.com/en/shop/atmega328p-pu-original/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 47]

- [60] I. NCB, “Conhecendo o cerne do microcontrolador atmega328p.” Available at <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/microcontrolador/138-atmel/14863-conhecendo-o-cerne-do-microcontrolador-atmega328p-arduino-uno-mic165>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 47]
- [61] Farnell, “Acs712elctr-20a-t.” Available at <https://pt.farnell.com/allegro-microsystems/acs712elctr-20a-t/sensor-current-20a-soic8/dp/1329624?st=acs712elctr-20a-t>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas x e 48]
- [62] SeedStudio, “Acs712 current sensor: Features, how it works.” Available at <https://www.seeedstudio.com/blog/2020/02/15/acs712-current-sensor-features-how-it-works-arduino-guide/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 48]
- [63] RS, “The guide to hall effect sensors.” Available at <https://ie.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideas-and-advice/hall-effect-sensors-guide>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 48]
- [64] Farnell, “Acs712.” Available at <https://www.farnell.com/datasheets/1759100.pdf>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 48]
- [65] S. Sensing, “The main advantages of the optocoupler.” Available at <https://www.senbasensor.com/the-main-advantages-of-the-optocoupler.html>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 49]
- [66] S. Power, “Optoisolator.” Available at <https://www.sunpower-uk.com/glossary/what-is-an-optoisolator/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 49]
- [67] Octopart, “Tlp521-2.” Available at <https://octopart.com/tlp521-2gb-toshiba-2173525>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas x e 49]
- [68] Toshiba, “Tlp521-2.” Available at <https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=16772&prodName=TLP521-2>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas xiii e 49]
- [69] Vishay, “Automotive n- and p-channel 40 v (d-s) 175 °c mosfet.” Available at <https://www.vishay.com/docs/76029/sqj504ep.pdf>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas x, xiii, 50 e 51]

- [70] ElectronicsForu, “What is a mosfet? | basics for beginners.” Available at <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/learn-electronics/mosfet-basics-working-applications>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 51]
- [71] CleanEnergyREviews, “Mppt solar charge controllers explained.” Available at <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/mppt-solar-charge-controllers>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 51]
- [72] F. Baterias, “What is depth of discharge and why is it so important?.” Available at <https://federalbatteries.com.au/news/what-depth-discharge-and-why-it-so-important>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 51]
- [73] J. L. Morais, ed., *Sistemas Fotovoltaicos, da Teoria à Prática*. Portugal: PUBLINDUSTRIA, 2009. [Citado na página 52]
- [74] L. Equipment, “What is the difference between pwm and mppt charge controllers?.” Available at <https://lightingequipmentsales.com/what-is-the-difference-between-pwm-and-mppt-charge-controllers.html>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 52]
- [75] MAUSER, “Controlador de carga solar pwm (3 etapas) com lcd c/ saidas usb - 12/24vdc 10a - volt polska 3ipssolu10.” Available at https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-8005. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas x, xiii e 53]
- [76] INNPO, “Bateria de chumbo 12v 12ah.” Available at https://innpo.pt/baterias-de-chumbo-12v/bateria-de-chumbo-12v-12ah-leoch-baterias-de-chumbo-12v.html?gclid=Cj0KCQjw1dGJBhD4ARIsANb60dkyn3PZhKZ7rCI_iyEeTv_B32iPbPC3XtKyZ5TeTtp6cLnxQq1N4GgaAgytEALw_wcB. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas x, 54 e 55]
- [77] KAMAMI, “Stm32g431kbt6 - 32-bit microcontroller with arm cortex-m4 core.” Available at <https://kamami.pl/en/arm-microcontrollers/575466-stm32g431kbt6-32-bit-microcontroller-with-arm-cortex-m4-core-128kb-flash-lqfp32.html>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 57]
- [78] FEUP, “Uart.” Available at <https://mobile.sites.google.com/site/myfeup/avr/avr-gcc/usart>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas 57 e 58]

- [79] Vectornav, “Asynchronous serial communication.” Available at <https://www.vectornav.com/resources/inertial-navigation-primer/hardware/asynccomm>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas x e 58]
- [80] C. Basics, “Basics of uart communication.” Available at <https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 59]
- [81] E. Team, “Modbus vs rs485.” Available at <https://www.virtual-serial-port.org/pt/articles/modbus-vs-rs485/#half-duplex>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 59]
- [82] T. Instruments, “Get connected: How to operate your rs-485 links without termination.” Available at <https://www.virtual-serial-port.org/pt/articles/modbus-vs-rs485/#half-duplex>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas x e 60]
- [83] C. Devices, “Rs-485 serial interface explained.” Available at <https://www.cuidevices.com/blog/rs-485-serial-interface-explained>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 60]
- [84] Analog, “Rs485 quick guide.” Available at <https://www.virtual-serial-port.org/pt/articles/modbus-vs-rs485/#half-duplex>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 60]
- [85] M. Projetado, “Rs-485.” Available at <https://mundoprojetado.com.br/rs-485/>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 60]
- [86] M. Integrated, “Max481/max483/max485/ max487–max491/max1487.” Available at https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1487-MAX491.pdf?__cf_chl_captcha_tk__=pmd_8oYdoDU7neGKa3xnYz8Jo_VagosiUZZNCRR.Z_3KGPI-1633192645-0-gqNtZGzNAXCjcnBsZQfR. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado na página 61]
- [87] Amazon, “Generic 50pcs maxim max485cpa max485 dip-8 rs-485/rs-422 transceiver ic new.” Available at <https://www.amazon.in/Generic-MAX485CPA-MAX485-RS-485-Transceiver/dp/B071XTHMMM>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas x e 61]
- [88] Futurlec, “Max485cpa - max485 rs-485/rs-422 transceivers technical data.” Available at <https://www.futurlec.com/Maxim/MAX485.shtml>. (Last accessed in 21/09/2021). [Citado nas páginas x e 61]

Anexo A

Esquema Elétrico do Circuito de Potência Implementado em PCB

A.1 Esquemático do Circuito que Constitui a PCB do Circuito de Potência

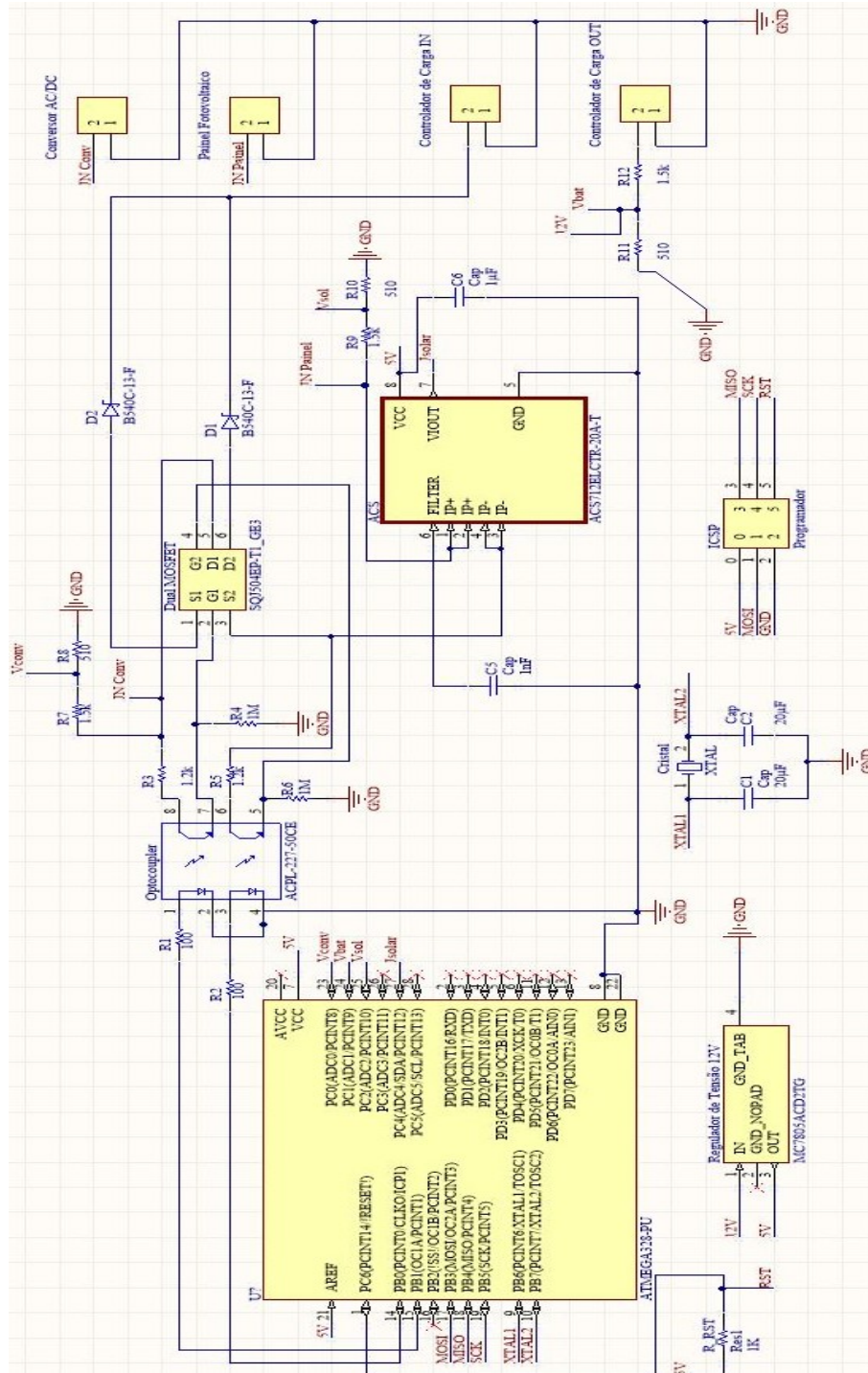


Figura A.1: Esquemático do Circuito que Constitui a PCB do Circuito de Potência

Anexo B

Fluxogramas Relativos aos Efeitos LED

B.1 Fluxogramas Relativos ao Efeitos LED Lado 1

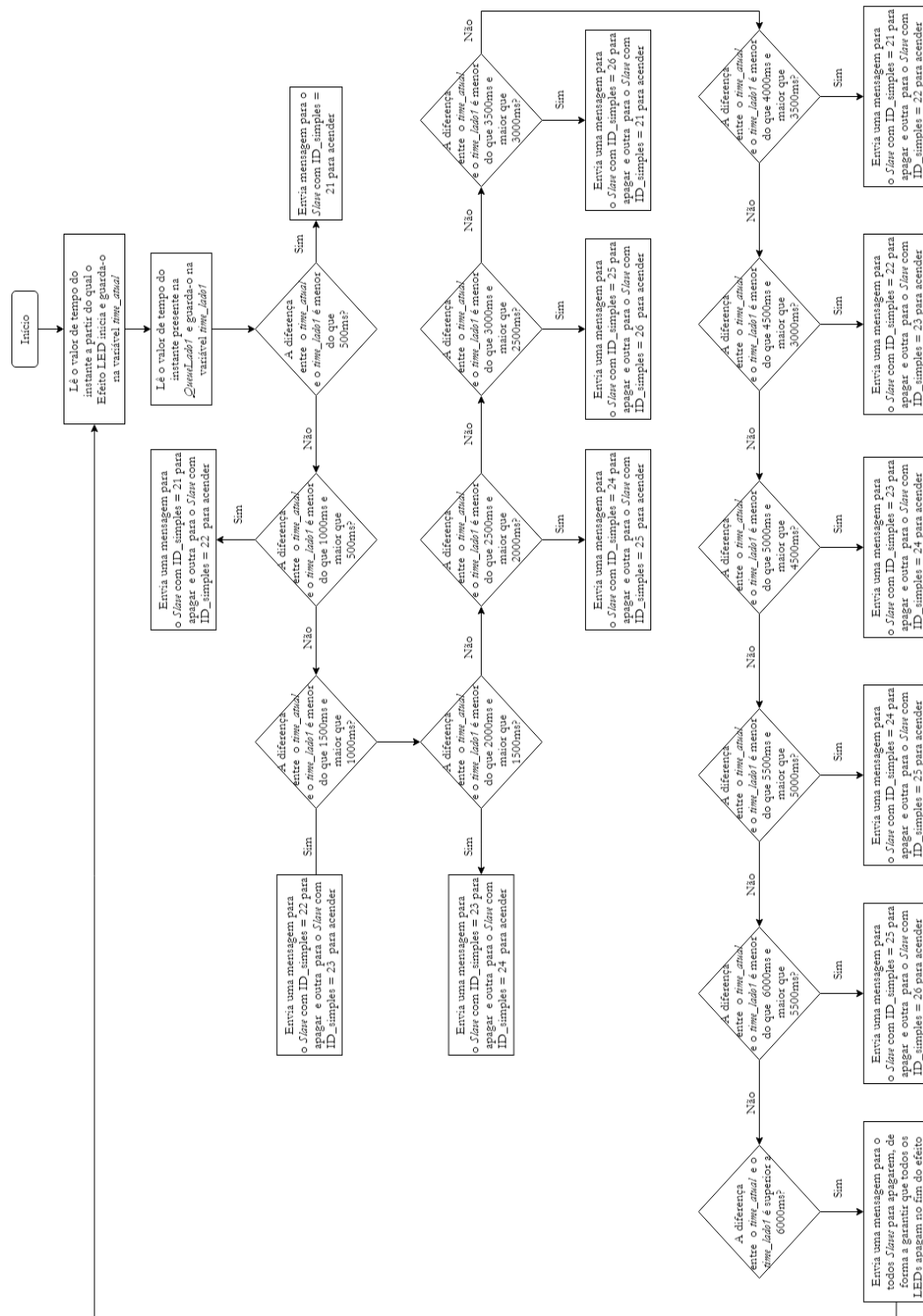


Figura B.1: Fluxograma Relativo ao Efeito LED Lado 1

B.2 Fluxogramas Relativos ao Efeitos LED Lado 2

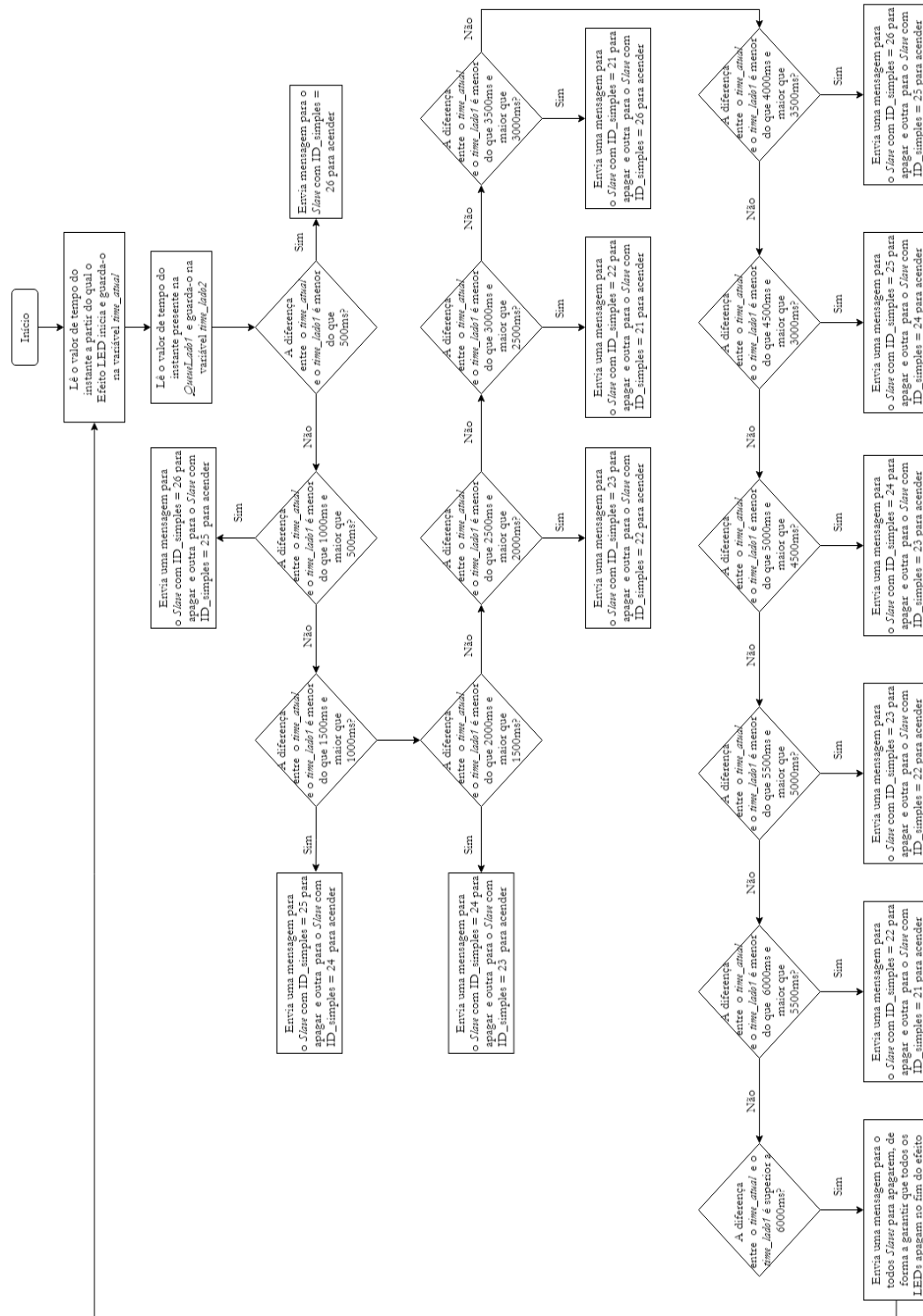


Figura B.2: Fluxograma Relativo ao Efeito LED Lado 2

B.3 Fluxogramas Relativos ao Efeitos LED Combinado

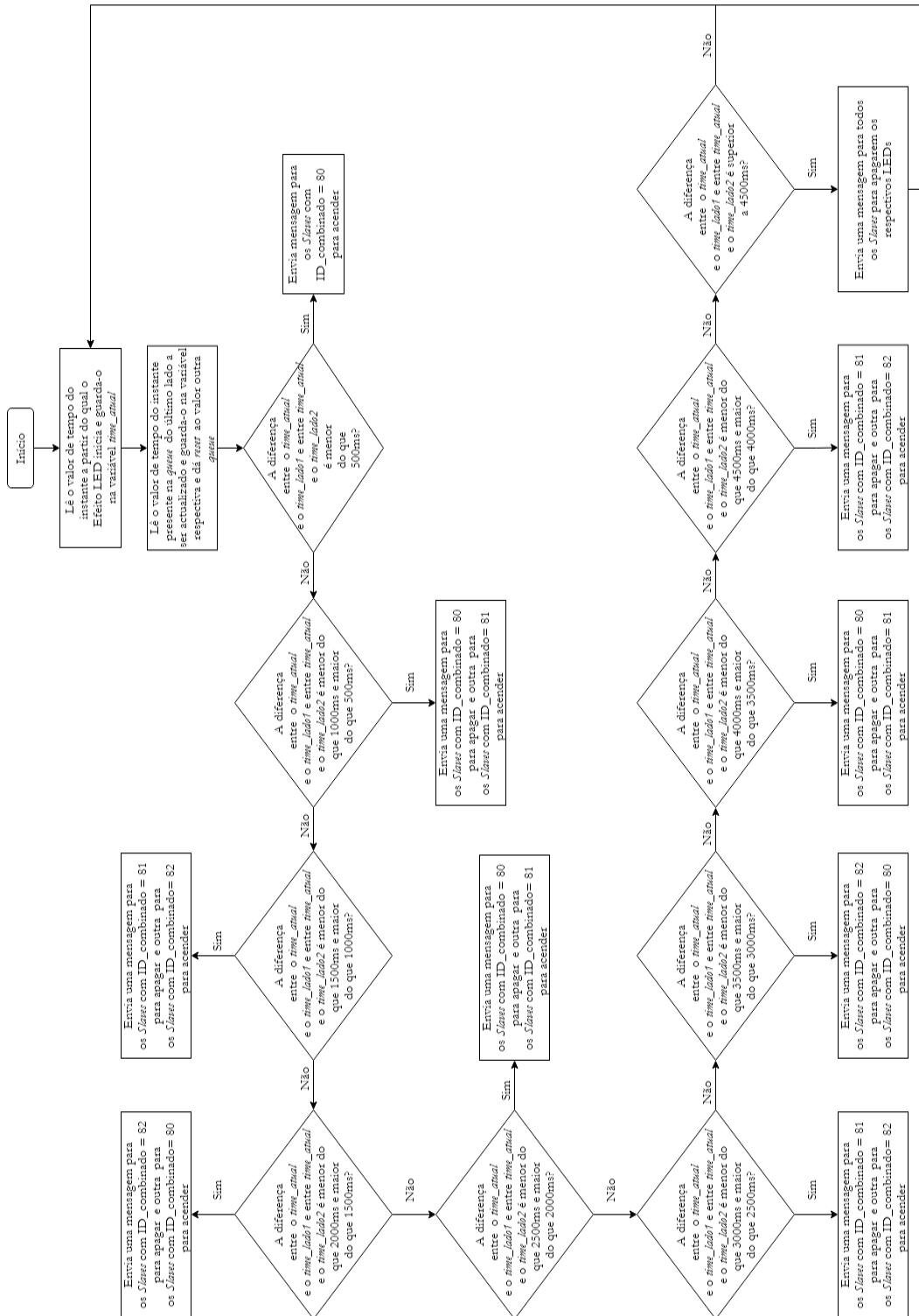


Figura B.3: Fluxograma Relativo ao Efeito LED Combinado