Universidade Politécnica
Castelo Branco
Escola Superior de Tecnologia

Candeeiro Inteligente a LED

Abigail Ialdine da Silva Benício, nº 20190175

Singuifur Imbundé, nº 20220105

Orientador

Prof. Doutor José António Barros Vieira

Trabalho de Projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia da Universidade Politécnica de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e das Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor José António Barros Vieira, da Universidade Politécnica de Castelo Branco.

Setembro 2026

Composição do júri

Presidente do júri

Doutora, Paula Cristina Alves Pereira

Professora Adjunta da Unidade Técnico-Científica de Engenharia Eletrotécnica e Industrial

Orientador

Doutor, José António Barros Vieira

Professor Adjunto da Unidade Técnico-Científica de Engenharia Eletrotécnica e Industrial

Arguente

Doutor, António José Cerejo da Silva

Professor Adjunto da Unidade Técnico-Científica de Engenharia Eletrotécnica e Industrial

Dedicatória

Abigail Benício

É com enorme carinho que dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio incondicional desde o início e por me ensinarem a nunca desistir. Aos meus familiares, amigos, e ao corpo docente, pela partilha de conhecimento que me possibilitaram estar hoje aqui, neste momento tão importante do meu percurso académico.

Singuifur Imbundé

Dedico este trabalho à minha família que, apesar da distância, esteve sempre presente em pensamento: ao meu pai, à minha mãe, aos meus irmãos e à minha tia. E à minha madrinha, que aqui em Portugal me tem acompanhado de perto nesta caminhada.

Dedico também aos colegas que encontrei em Castelo Branco, que se tornaram a minha família por perto durante este percurso. Este trabalho é tanto meu quanto vosso.

Agradecimentos

A Deus, por nos dar força e saúde para concluir mais esta etapa.

Ao Professor José António Barros Vieira, nosso orientador, pela disponibilidade, paciência e conhecimento transmitido ao longo deste trabalho.

À família, pelo apoio incondicional em todos os momentos.

Aos colegas e amigos, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Reconhecimento do uso de tecnologias e ferramentas de Inteligência Artifical (IA) generativa, softwares e outras ferramentas de apoio

Reconheço a utilização do LanguageTool (https://languagetool.org/pt) e do Claude (https://claude.ai/) para melhorar a clareza e a fluidez da minha escrita

Resumo

O presente relatório descreve o desenvolvimento, no âmbito do Projeto Final de Curso da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e das Telecomunicações da Universidade Politécnica de Castelo Branco, de um candeeiro inteligente a LED. O sistema, baseado no microcontrolador PIC18F4431, permite controlar a intensidade luminosa de duas tramas de LEDs de forma manual ou automática, através de uma aplicação Android ligada por Bluetooth ao módulo HC-05.

A regulação da luz é feita por Modulação por Largura de Impulso (PWM), aplicada a um conversor SEPIC responsável por alimentar os LEDs de forma eficiente. O sistema integra ainda um sensor de luminosidade (LDR) e um sensor de movimento (PIR), que permitem um modo de funcionamento totalmente automático, e um visor LCD, onde é apresentado o estado do sistema em tempo real.

Os testes realizados confirmaram o correto funcionamento de todos os modos implementados, tendo os objetivos propostos sido integralmente alcançados.

Palavras-chave

DC-DC

SEPIC

Bluetooth

Relé

Abstract

This report describes the development, within the scope of the Final Course Project of the Bachelor's Degree in Electrical and Telecommunications Engineering at the Polytechnic University of Castelo Branco, of a smart LED lamp. The system, based on the PIC18F4431 microcontroller, allows the light intensity of two LED strings to be controlled either manually or automatically, through an Android application connected via Bluetooth to the HC-05 module.

Light regulation is achieved through Pulse Width Modulation (PWM), applied to a SEPIC converter responsible for efficiently powering the LEDs. The system also integrates a light sensor (LDR) and a motion sensor (PIR), enabling a fully automatic operating mode, as well as an LCD display showing the system status in real time.

The tests carried out confirmed the correct operation of all implemented modes, and the proposed objectives were fully achieved.

Keywords

DC-DC

SEPIC

Bluetooth

Relay

Índice Geral

Capítulo 1 - Introdução 1
1.1 Contexto e Enquadramento 1
1.2 Motivação 1
1.3 Objetivos 2
1.4 Diagrama de Funcionamento do Sistema 2
1.5 Estrutura do Documento 4
Capítulo 2 - Estado da Arte 5
2.1 Introdução ao Capítulo 5
2.2 Iluminação Inteligente e Eficiência Energética 5
2.3 Microcontroladores Aplicados a Sistemas Embutidos 6
2.3.1 Principais Características 6
2.3.2 Função no Projeto 7
2.4 Comunicação Sem Fios em Sistemas Embutidos: Bluetooth e o Módulo HC-05 7
2.5 Controlo de Intensidade Luminosa e Conversão de Potência 9
2.5.1 Modulação por Largura de Impulso (PWM) 9
2.5.2 Conversores DC-DC: SEPIC 10
2.5.3 Funcionamento do Conversor SEPIC 11
2.6 Componentes de Eletrónica de Potência para Comutação de Cargas 12
2.6.1 Transístores Bipolares NPN 12
2.6.2 Transístores MOSFET de Canal N 13
2.6.3 MOSFET 13
2.6.4 Atuação do Driver MOSFET 14
2.6.5 Relé Eletromecânico 14
2.6.6 Importância do Relé 15
2.6.7 Estrutura 15
2.6.8 Funcionamento 16
2.6.9 Díodo Schottky 16
2.6.10 Condensadores e Bobinas 16
2.7 Sensores de Luminosidade (LDR) e de Movimento (PIR) 17
2.7.1 Sensor de Luminosidade (LDR) 17
..... 18

2.7.2 Funcionamento 18
2.7.3 Aplicação no Projeto 18
2.7.4 Sensor de Movimento (PIR) 18
2.7.5 Princípio de Funcionamento 19
2.7.6 Aplicação no Projeto 19
2.8 Díodos Emissores de Luz (LEDs) 20
2.8.1 Características do LED utilizado 20
2.8.2 Funcionamento 21
2.9. Visor LCD 16×2 21
2.9.1. Princípio de funcionamento 22
2.10 Síntese do Capítulo 22
Capítulo 3 – Arquitetura do Sistema 23
3.1 Visão Geral da Arquitetura 23
3.2 Alimentação e Reguladores de Tensão 24
3.3 Placa de Potência: Driver de Corrente e Conversor SEPIC 25
3.3.1 Configuração das Tramas de LEDs 27
3.4 Placa de Controlo e Sensores 28
3.4.1 Sensor de Luminosidade (LDR) 29
3.4.2 Módulo Bluetooth HC-05 30
3.4.3 Sensor de Movimento (PIR) 30
3.4.4 Acionamento da Segunda Trama de LEDs 31
3.5 Microcontrolador PIC18F4431 e Visor LCD 31
3.5.1 Características do Microcontrolador PIC18F4431 31
3.5.2 Interface com o Visor LCD 32
3.6 Aplicação Android 33
Capítulo 4 – Implementação do Sistema e Resultados 35
4.1 Ambientes e Feramentas de Desenvolvimento 35
4.2 Implementação do Código de Controlo 36
4.2.1 Inicialização e Configuração dos Periféricos 36
4.2.2 Comunicação Série e Receção de Comandos 36
4.2.3 Gestão do Visor LCD 38
4.2.4 Modos de Funcionamento 39
4.2.5 Limitação do Duty Cycle Consoante o Número de Tramas Ativas 41

4.2.6 Modo Automático: Leitura de LDR e PIR 42
4.3 Testes e Resultados 43
4.3.1 Metodologia de Teste 43
4.3.2 Resultados por Modo de Funcionamento 43
4.3.3 Registo Visual 44
4.4 Dificuldades e Problemas Encontrados Durante o Desenvolvimento 44
4.5 Síntese do Capítulo 45
Capítulo 5 – Conclusões 47
5.1 Avaliação dos Objetivos 47
5.2 Trabalho Futuro 47
5.3 Considerações Finais 48
Bibliografia 49
Anexos 53

Índice de Figuras

Figura 1 - Diagrama de funcionamento do Sistema 3
Figura 2 - Módulo Bluetooth 8
Figura 3 - Esquema Elétrico do Conversor SEPIC 10
Figura 4 - Disposição física dos componentes do conversor SEPIC na *protoboard* 12
Figura 5 - Transistor Bipolar NPN 13
Figura 6 - Transistor Mosfet de Canal N 13
Figura 7 - Encapsulamento e identificação dos pinos do MOSFET 14
Figura 8 - Relé 15
Figura 9 - Estrutura do Relé 15
Figura 10 - Diodo Schottky de Potência MBR 760 16
Figura 11 - Bobine 17
Figura 12 - Condensador 17
Figura 13 - Sensor LDR 18
Figura 14 - Sensor de Movimento HC-SR501 19
Figura 15 - LED OSRAM LUW W5AM-KXLY-5F8G-ZN 20
Figura 16 - Visor LCD 16×2 21
Figura 17 - Diagrama de blocos geral do sistema 24
Figura 18 - Fontes de Alimentação AC/DC 25
Figura 19 - Esquema Elétrico do Driver de Corrente 26
Figura 20 - Esquema elétrico do SEPIC 27
Figura 21 - Esquema elétrico da matriz de LEDs em configuração série-paralelo 27
Figura 22 - Circuito do Sensor LDR 29
Figura 23 - Circuito do Módulo Bluetooth 30
Figura 24 - Circuito do Sensor de Movimento 30
Figura 25 - Esquema elétrico do Relé e consequente ativação 31
Figura 26 - Aplicação Android em funcionamento 34
Figura 27 - Programador PICKIT 2 35
Figura 28 - Visor LCD em funcionamento 44
Figura 29 - Esquema Elétrico do Candeeiro Inteligente 53
Figura 30 - Fluxograma Geral do Sistema 54
Figura 31 - Fluxograma da interrupção de receção Bluetooth 55
Figura 32 - Fluxograma do Controlo Automático (LDR & PIR) 56
Figura 33 - Fluxograma dos Estados de funcionamento de 0-5 57
Figura 34 - Esquema elétrico da Placa de Desenvolvimento 58

Índice de símbolos

A — Ampere (unidade de corrente elétrica)

Hz — Hertz (unidade de frequência)

kHz — quilohertz *(*unidade de frequência)

MHz — megahertz (unidade de frequência)

K — Kelvin (unidade de temperatura de cor)

kΩ — quilo-ohm (múltiplo da unidade de resistência elétrica)

MΩ — mega-ohm (múltiplo da unidade de resistência elétrica)

mA — miliampere

% — percentagem

V — Volt (unidade de tensão elétrica)

W — Watt (unidade de potência)

Ω — Ohm (unidade de resistência elétrica)

μF — microfarad (unidade de capacidade)

μs — microssegundo (unidade de tempo)

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características do PIC 18F4431 7
Tabela 2 - Descrição dos pinos do Módulo Bluetooth 9
Tabela 3 - Componentes do Conversor SEPIC 11
Tabela 4 - Principais características do LED utilizado 21
Tabela 5 - Limites de corrente e valores de PWM para diferentes tramas ativas 28
Tabela 6 - Comportamento elétrico do sensor LDR em função da luminosidade e das leituras analógicas do PIC 29
Tabela 7 - Funções dos pinos do LCD 33
Tabela 8 - Modo de funcionamento do sistema 39

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

AC — *Alternating Current* (Corrente Alternada)

ADC — *Analog-to-Digital Converter* (Conversor Analógico-Digital)

CCP — *Capture/Compare/PWM* (módulo do microcontrolador)

DC — *Direct Current* (Corrente Contínua)

EDR — *Enhanced Data Rate*

FSE — Fundo Social Europeu

GND — *Ground* (Terra)

I²C — *Inter-Integrated Circuit*

IDE — *Integrated Development Environment* (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)

LCD — *Liquid Crystal Display* (Visor de Cristais Líquidos)

LDR — *Light Dependent Resistor* (Resistor Dependente de Luz)

LED — *Light Emitting Diode* (Díodo Emissor de Luz)

MOSFET — *Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor*

NC — *Normally Closed* (Normalmente Fechado)

NO — *Normally Open* (Normalmente Aberto)

NPN — designação do tipo de transístor bipolar (camadas Negativo-Positivo-Negativo)

PIC — *Peripheral Interface Controller* (família de microcontroladores da Microchip)

PIR — *Passive Infrared* (Infravermelho Passivo)

PWM — *Pulse Width Modulation* (Modulação por Largura de Impulso)

RX — *Receive* (Receção)

SEPIC — *Single-Ended Primary-Inductor Converter*

SMD — *Surface Mounted Device* (Dispositivo de Montagem Superficial)

SPI — *Serial Peripheral Interface*

SPP — *Serial Port Profile*

TX — *Transmit (*Transmissão)

UART — *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*

USART — *Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter*

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Contexto e Enquadramento

A iluminação artificial representa uma parcela significativa do consumo energético em ambientes domésticos e comerciais, sendo comum que as lâmpadas funcionem à intensidade máxima independentemente das reais necessidades de luminosidade do espaço ou da presença de pessoas no local. Este cenário contribui para o desperdício de energia elétrica, além de reduzir o conforto do utilizador, que frequentemente não dispõe de controlo prático sobre a intensidade luminosa.

Neste contexto, surge a proposta de desenvolver um candeeiro inteligente a LED, capaz de ajustar a sua intensidade luminosa de forma manual ou automática, através de comunicação sem fios com um dispositivo móvel, e de integrar sensores de luminosidade (LDR) e de movimento (PIR) para uma gestão mais eficiente e autónoma da iluminação.

O presente trabalho insere-se no âmbito do Projeto Final de Curso da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e das Telecomunicações, da Universidade Politécnica de Castelo Branco, sob orientação do Professor Doutor José António Barros Vieira, no ano letivo de 2025/2026.

1.2 Motivação

A realização deste projeto constituiu uma oportunidade de consolidar e aprofundar competências fundamentais da Engenharia Eletrotécnica e das Telecomunicações, nomeadamente ao nível da programação de microcontroladores. A programação do PIC18F4431 exigiu um estudo do seu funcionamento, obrigando à consulta constante da documentação técnica (*datasheet*) para compreender corretamente o comportamento de cada periférico utilizado.

Em particular, destaca-se a programação do módulo Bluetooth HC-05 para receção de caracteres enviados por um dispositivo móvel, bem como a utilização do módulo PWM (*Pulse Width Modulation*) do PIC para controlo da intensidade luminosa, através da variação do tempo em que o sinal se mantém no estado alto (*duty cycle*). Foi também trabalhada a interligação entre *hardware* e *software*, através da leitura de sinais analógicos (sensor LDR) e digitais (sensor PIR, botões), o que permitiu compreender na prática a diferença entre estes dois tipos de entrada e a forma de as processar no microcontrolador.

Do ponto de vista técnico, um dos maiores desafios do projeto foi a calibração do sensor LDR, de forma que a resposta do sistema se ajustasse corretamente às condições reais de luminosidade do ambiente. Este processo exigiu diversas iterações de teste e ajuste até se alcançar um comportamento satisfatório.

1.3 Objetivos

Tendo em conta o contexto e a motivação apresentados, definiu-se como objetivo geral deste trabalho desenvolver um sistema de candeeiro inteligente a LED, controlado remotamente via Bluetooth, capaz de ajustar a sua intensidade luminosa de forma manual e automática.

Para alcançar este objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Programar o microcontrolador PIC18F4431 para controlo da intensidade luminosa por PWM;
- Estabelecer comunicação sem fios entre o microcontrolador e um dispositivo móvel através do módulo Bluetooth HC-05;
- Configurar uma aplicação Android para o envio dos comandos de controlo;
- Implementar um modo de ajuste manual da intensidade luminosa, em incrementos e decrementos de 5%;
- Implementar um modo de ajuste automático da intensidade luminosa (máximo ou mínimo num só toque);
- Integrar os sensores LDR e PIR para ajuste automático da luminosidade em função da luz ambiente e da deteção de movimento;
- Apresentar o estado do sistema (modo de funcionamento, valor de PWM e percentagem de intensidade) num visor LCD.

1.4 Diagrama de Funcionamento do Sistema

O diagrama de blocos apresentado na Figura 1 representa a arquitetura geral do sistema de controlo de iluminação desenvolvido neste projeto. O sistema é constituído por vários módulos eletrónicos que trabalham de forma integrada, tendo como unidade central o microcontrolador PIC18F4431, responsável pela aquisição dos sinais dos sensores, pelo processamento da informação e pelo controlo dos dispositivos de atuação.

A alimentação do circuito é assegurada por uma fonte de alimentação e por um conversor DC-DC do tipo SEPIC, responsável por fornecer uma tensão estabilizada aos diferentes módulos do sistema.

A luminosidade ambiente é monitorizada através de um sensor LDR, cujo sinal analógico é convertido pelo conversor ADC do microcontrolador. Com base no valor obtido, o PIC18F4431 gera um sinal PWM, aplicado ao Driver MOSFET, permitindo regular automaticamente a intensidade luminosa do sistema de iluminação.

O sistema integra ainda um sensor de movimento PIR, utilizado para detetar a presença de pessoas e complementar o funcionamento automático da iluminação, de acordo com a lógica implementada no programa.

A comunicação entre o utilizador e o sistema é realizada através do módulo Bluetooth HC-05, possibilitando o envio de comandos por um dispositivo móvel para selecionar o modo de funcionamento e controlar a iluminação.

As informações de funcionamento são apresentadas num visor LCD 16×2, onde são mostrados o modo de operação, os valores lidos pelo conversor ADC e outros parâmetros relevantes do sistema.

O sistema dispõe ainda de um relé AXICOM de 5 V, utilizado para a comutação do segundo ramal de LEDs. Desta forma, o Driver MOSFET é responsável pela regulação da intensidade luminosa através do sinal PWM, enquanto o relé efetua a comutação do segundo ramal, garantindo o funcionamento previsto nos diferentes modos de operação implementados.

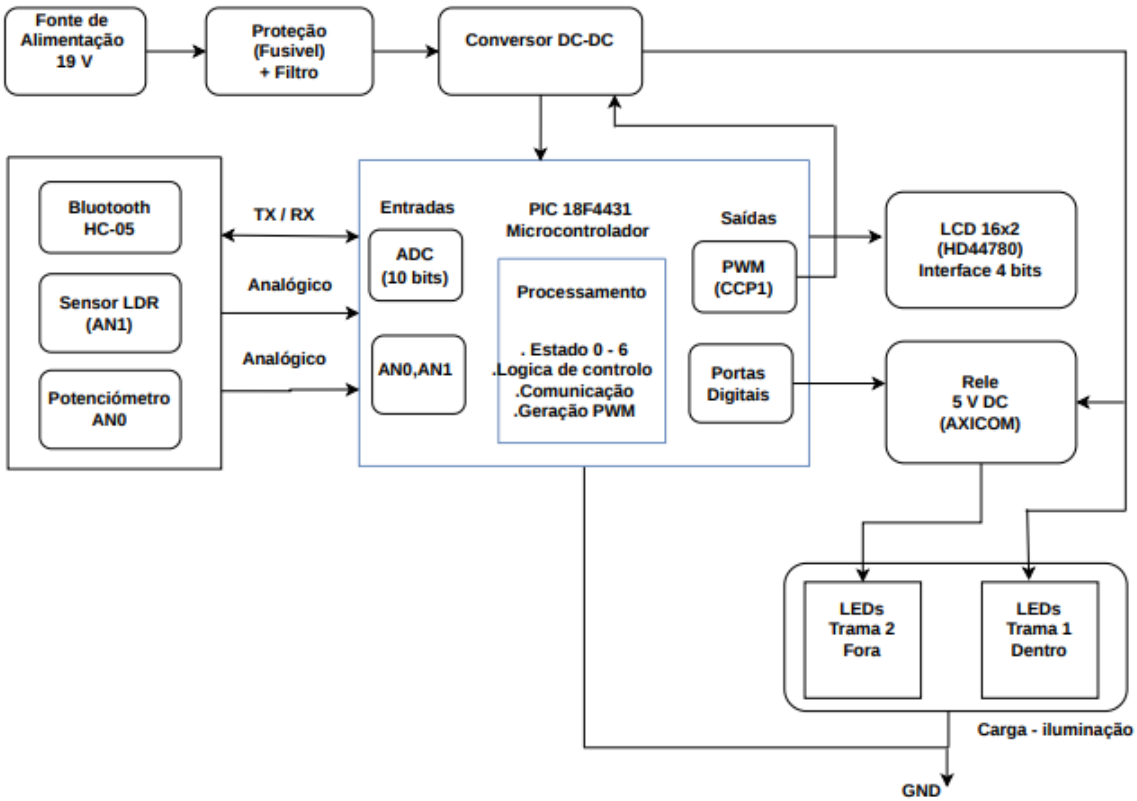


Figura 1 *- Diagrama de funcionamento do Sistema*

1.5 Estrutura do Documento

O presente documento encontra-se organizado em cinco capítulos.

O Capítulo 1 apresenta o contexto e o enquadramento do projeto, a motivação para o seu desenvolvimento, os objetivos definidos e a estrutura do presente documento.

O Capítulo 2 apresenta o estado da arte, contextualizando o projeto face a soluções e conceitos existentes na área da iluminação inteligente, controlo de intensidade luminosa e sensores associados.

O Capítulo 3 descreve a arquitetura do sistema desenvolvido, incluindo o hardware utilizado, a comunicação entre os diferentes módulos e a aplicação Android de controlo.

O Capítulo 4 detalha a implementação do sistema, apresentando o código desenvolvido, os testes realizados e os resultados obtidos.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho, avaliando o cumprimento dos objetivos propostos e identificando possíveis desenvolvimentos futuros.

Capítulo 2 - Estado da Arte

2.1 Introdução ao Capítulo

Neste capítulo apresenta-se o enquadramento teórico e tecnológico necessário à compreensão das soluções adotadas no desenvolvimento do candeeiro inteligente. Aborda-se, num primeiro momento, o contexto da iluminação inteligente e da eficiência energética. Em seguida, discutem-se os microcontroladores aplicados a sistemas embutidos, a comunicação sem fios por Bluetooth, o controlo de intensidade luminosa por modulação por largura de impulso (PWM), os principais componentes de eletrónica de potência utilizados na comutação de cargas, e, por fim, os sensores de luminosidade (LDR) e de movimento (PIR). O capítulo termina com uma síntese que relaciona estes conceitos com as opções tomadas no presente projeto.

2.2 Iluminação Inteligente e Eficiência Energética

A eficiência energética tem vindo a assumir um papel central nas políticas europeias, no âmbito dos objetivos de descarbonização e redução da dependência energética. O Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia acordaram, em 2023, uma meta de eficiência energética de 11,7% a atingir até 2030 [1], meta essa que se aplica de forma transversal a diversos setores de consumo, incluindo o setor residencial.

Dentro deste setor, a iluminação tem um peso relevante no consumo total de eletricidade. De acordo com a Direção-Geral de Energia e Geologia, na União Europeia a iluminação representa mais de 12% do consumo elétrico do setor residencial, podendo corresponder a cerca de 20% da fatura de eletricidade de uma habitação [2]. Este cenário evidencia um potencial significativo de poupança energética através de soluções que ajustem a iluminação às necessidades reais do utilizador, em vez de a manterem permanentemente à intensidade máxima.

É neste contexto que surgem os sistemas de iluminação inteligente, que permitem controlar e automatizar a iluminação doméstica através de dispositivos como sensores, interruptores inteligentes e aplicações móveis. Estes sistemas podem incluir sensores de presença, movimento e luminosidade, que permitem realizar ações automáticas, como acender ou apagar luzes consoante a presença de pessoas ou as condições de luz natural [3]. Além da automação por horários e cenários, o uso de sensores de movimento garante que a iluminação apenas está ativa quando necessário, contribuindo diretamente para a redução do consumo energético [4].

Ao nível da comunicação entre os dispositivos de iluminação e o utilizador, existem diferentes protocolos e tecnologias sem fios, como Zigbee, baseado na norma IEEE 802.15.4 e caracterizado pelo baixo consumo energético, ou o Wi-Fi, que permite uma integração mais simples com a rede doméstica e controlo remoto através de aplicações móveis [5]. O Bluetooth, tecnologia utilizada no

presente projeto, constitui uma alternativa igualmente comum para comunicação de curto alcance entre dispositivos móveis e sistemas embutidos, sendo aprofundada na secção 2.4 deste capítulo.

Os sistemas de iluminação inteligente para uso residencial dividem-se geralmente em dois tipos de abordagem: soluções profissionais, instaladas e configuradas por empresas especializadas, e soluções de montagem própria, mais acessíveis e frequentemente baseadas em microcontroladores e módulos eletrónicos de baixo custo — categoria em que se insere o candeeiro inteligente desenvolvido no presente trabalho.

2.3 Microcontroladores Aplicados a Sistemas Embutidos

Um microcontrolador é um circuito integrado que reúne, num único chip, uma unidade central de processamento, memória e periféricos de entrada/saída programáveis, permitindo controlar processos eletrónicos de forma autónoma, sem necessidade de componentes externos adicionais para funções básicas. Esta característica torna os microcontroladores particularmente adequados para sistemas embutidos, onde se pretende um controlo dedicado, compacto e de baixo custo.

Os microcontroladores PIC, fabricados pela Microchip Technology, têm origem num projeto de arquitetura de memória desenvolvido na Universidade de Harvard, tendo essa arquitetura sido posteriormente adotada como base do controlador de interface de periféricos que deu nome à família PIC [6]. Esta família processa dados de 8, 16 e, mais recentemente, 32 bits, estando disponível numa ampla variedade de modelos e periféricos internos [7]. A característica fundamental da arquitetura Harvard é a separação entre o acesso à memória de dados e à memória de programa, o que permite a leitura de uma instrução em simultâneo com a execução de outra — mecanismo designado por *pipeline* — contribuindo para uma maior velocidade de processamento [6]. Os microcontroladores PIC são amplamente utilizados em sistemas embutidos devido ao seu baixo custo, baixo consumo de energia e elevada fiabilidade, sendo comuns em eletrodomésticos, automação industrial e sistemas automóveis [8].

No presente projeto, foi usado o microcontrolador PIC18F4431, integrado numa placa de desenvolvimento. Para além da familiaridade com esta arquitetura, a escolha revelou-se adequada às necessidades do projeto, dado que o PIC18F4431 disponibiliza os periféricos internos necessários à aplicação — nomeadamente múltiplos canais PWM, módulo de comunicação série (USART) e conversor analógico-digital.

2.3.1 Principais Características

O PIC18F4431 apresenta um conjunto de características que o tornam adequado para aplicações de controlo e automação. As principais especificações utilizadas neste projeto encontram-se resumidas na Tabela.

Tabela 1 - Características do PIC 18F4431

Característica	Descrição
Fabricante	*Microchip Technology*
Arquitetura	PIC18 de 8 bits
Memória Flash	16 KBytes
Memória RAM	768 Bytes
Conversor ADC	10 bits
Módulos PWM	Integrados
Interfaces de comunicação	USART, SPI e I²C
Alimentação	5 V

2.3.2 Função no Projeto

No presente projeto, o PIC18F4431 constitui a unidade central de processamento, sendo responsável pela coordenação de todas as funcionalidades implementadas.

O microcontrolador efetua a leitura da luminosidade ambiente através do sensor LDR, recebe o estado do sensor PIR, comunica com o módulo Bluetooth HC-05, atualiza a informação apresentada no visor LCD 16×2 e gera o sinal PWM utilizado no controlo da intensidade luminosa dos LEDs através do Driver MOSFET. Além disso, controla o acionamento do relé AXICOM, permitindo a comutação do segundo ramal de LEDs de acordo com a lógica implementada no programa.

2.4 Comunicação Sem Fios em Sistemas Embutidos: Bluetooth e o Módulo HC-05

A comunicação sem fios é um requisito comum em sistemas embutidos que necessitam de interação remota com o utilizador, permitindo o controlo de dispositivos sem a necessidade de ligações físicas. Entre as tecnologias disponíveis para comunicação de curto alcance, o Bluetooth destaca-se pela sua simplicidade de implementação, baixo custo e ampla compatibilidade com dispositivos móveis.

O módulo HC-05 é um dispositivo de comunicação Bluetooth baseado no chip CSR BC417, que suporta o perfil Bluetooth 2.0+EDR e utiliza uma interface série (UART) para comunicação com outros dispositivos, podendo operar em modo mestre (*master*) ou escravo (*slave*) [9]. A sua taxa de transmissão padrão é de 9600 bps para comunicação de dados, sendo este valor amplamente utilizado por defeito em projetos com microcontroladores [10]. A ligação entre o módulo e o microcontrolador é efetuada através de quatro pinos principais — alimentação

(VCC), terra (GND), receção (RX) e transmissão (TX) — sendo o pino RX do módulo ligado ao pino TX do microcontrolador, e vice-versa.

A comunicação série assíncrona entre o módulo Bluetooth e o microcontrolador é gerida através de um UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*), circuito responsável por controlar a interface entre o microcontrolador e os dispositivos série a ele ligados, não constituindo em si um protocolo de comunicação, mas sim o mecanismo que o implementa [11]. No caso do PIC18F4431, este módulo está disponível através do periférico USART interno, permitindo a receção de caracteres enviados pelo dispositivo móvel através de uma interrupção dedicada, sem necessidade de verificação contínua (*polling*) do estado da receção.

Esta abordagem — envio de caracteres identificadores de comandos através de uma ligação série sem fios — é comum em projetos de controlo remoto de baixo custo [12], permitindo associar, do lado da aplicação móvel, um conjunto de botões a comandos específicos interpretados pelo microcontrolador, tal como implementado no presente projeto.



Figura 2 - Módulo Bluetooth

Tabela 2 - Descrição dos pinos do Módulo Bluetooth

Pinos	Função
GND	Terra *(GND)*
TX	Transmissão de Dados
RX	Receção de Dados (UART)
STATE	Indica o estado do Bluetooth (ON/OFF)
EN	Modo de configuração
VCC	Alimentação (3,3V a 5V)

2.5 Controlo de Intensidade Luminosa e Conversão de Potência

O controlo eficiente da intensidade luminosa de um LED de potência não se resume à geração de um sinal de comando — envolve também a forma como esse sinal é convertido em corrente e tensão adequadas à carga. Nesta secção aborda-se, num primeiro momento, o princípio da modulação por largura de impulso (PWM), utilizada para gerar o sinal de controlo, e, em seguida, as topologias de conversão DC-DC responsáveis por converter esse sinal na energia efetivamente entregue aos LEDs.

2.5.1 Modulação por Largura de Impulso (PWM)

A Modulação por Largura de Impulso (PWM, do inglês *Pulse Width Modulation*) é uma técnica digital que permite variar a potência entregue a uma carga elétrica, sendo amplamente utilizada no controlo de motores, ecrãs e sistemas de iluminação. O seu princípio de funcionamento consiste em ligar e desligar um sinal digital repetidamente a uma frequência fixa, variando apenas o tempo em que este permanece no estado ativo dentro de cada ciclo — período designado por *duty cycle* ou ciclo de trabalho [13]. Quanto maior a percentagem de tempo em que o sinal se mantém ativo, maior a potência média entregue à carga e, consequentemente, maior a intensidade luminosa percebida no caso de um LED.

Esta abordagem apresenta vantagens claras face a métodos analógicos tradicionais de controlo de brilho, como a utilização de resistências variáveis (potenciómetros). Uma resistência variável fixa não se adapta corretamente quando a carga elétrica se altera, além de dissipar energia sob a forma de calor, o que a torna pouco eficiente, sobretudo em cargas de maior potência [14]. O PWM, por sua vez, ao atuar por comutação (ligado/desligado) em vez de dissipação resistiva, resulta numa solução mais eficiente do ponto de vista energético, particularmente relevante num projeto cujo objetivo passa precisamente por reduzir o desperdício de energia associado à iluminação.

Nos microcontroladores da família PIC, o sinal PWM é gerado por hardware dedicado — módulo CCP (*Capture*/*Compare*/*PWM*) —, permitindo definir a frequência do sinal através de um temporizador (timer) interno e ajustar o *duty cycle* através de software, sem necessidade de intervenção contínua do processador principal [15]. Esta característica torna o controlo de intensidade luminosa simultaneamente preciso, eficiente e de fácil implementação, sendo a solução adotada no candeeiro desenvolvido no presente trabalho para o controlo do brilho dos LEDs.

2.5.2 Conversores DC-DC: SEPIC

Um conversor DC-DC é um circuito eletrónico que converte uma tensão contínua de determinado valor noutra tensão contínua de valor diferente, sendo amplamente utilizado sempre que a tensão de alimentação disponível não corresponde à tensão necessária para alimentar corretamente uma determinada carga — como é o caso de uma fileira de LEDs de potência ligados em série [16].

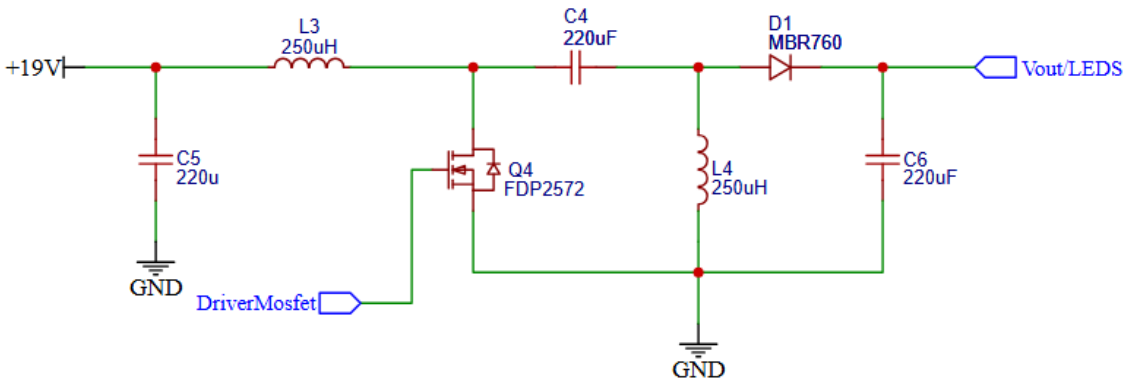


Figura 3 - Esquema Elétrico do Conversor SEPIC

A topologia mais simples de conversor DC-DC comutado é o conversor *buck* (redutor), constituído essencialmente por um comutador (tipicamente um transístor MOSFET), um díodo de roda livre, um indutor e um condensador de saída. O seu funcionamento baseia-se em ligar e desligar rapidamente a tensão de entrada através do comutador, sendo essa comutação depois suavizada pelo indutor e pelo condensador numa tensão contínua de saída, cujo valor é sempre inferior à tensão de entrada e é controlado através do *duty cycle* do sinal PWM aplicado [17].

Quando a tensão necessária para a carga pode ser tanto superior como inferior à tensão de entrada disponível, ou quando se pretende maior flexibilidade e estabilidade na corrente entregue, recorre-se frequentemente a topologias mais versáteis, como o conversor SEPIC (*Single-Ended Primary-Inductor Converter*) - usada no projeto [18]. Esta topologia funciona como um conversor *buck-boost*, sendo capaz de aumentar ou reduzir a tensão de saída relativamente à tensão de entrada, consoante o *duty cycle* aplicado. A sua estrutura distingue-se da do conversor *buck* pela utilização de dois indutores e um condensador de

acoplamento adicional entre eles: este condensador é responsável pela transferência de energia entre os dois indutores durante o processo de comutação, enquanto os indutores armazenam energia durante o estado ligado do comutador e a libertam para a saída durante o estado desligado, garantindo uma transferência contínua de energia à carga [19]. Esta característica torna o SEPIC uma solução particularmente adequada para drivers de LED, nos quais é necessário garantir uma corrente de saída estável independentemente de pequenas variações na tensão direta dos LEDs ou na tensão de alimentação disponível.

Além do *buck* e do SEPIC, existem outras topologias de conversores DC-DC, como o *boost* (elevador, que apenas aumenta a tensão), o *buck-boost* e o Ćuk (ambos capazes de subir ou descer a tensão, tal como o SEPIC, mas com saída de polaridade invertida), ou o *flyback* (baseado num transformador, comum em fontes de alimentação isoladas) [20].

Tabela 3 - Componentes do Conversor SEPIC

Componente	Referência / Valor	Função
MOSFET Canal N	1A51ABF DP2572	Comutação do conversor
Díodo Schottky	C45MBR760	Retificação da corrente
Transístor NPN	BC547C	Circuito de comando
Resistências	4,7 kΩ; 1,5 kΩ; 4,7 kΩ; 82 kΩ	Polarização
Condensadores	3 unidades (220µF)	Filtragem
Bobinas	2 unidades (250µH)	Armazenamento de energia

2.5.3 Funcionamento do Conversor SEPIC

O funcionamento do conversor baseia-se na comutação do MOSFET, que controla o armazenamento de energia nas bobinas. Durante a condução do MOSFET, a energia é acumulada nas bobinas e, quando este deixa de conduzir, essa energia é transferida através do díodo Schottky para a saída do conversor. Os condensadores reduzem a ondulação da tensão de saída, proporcionando uma alimentação mais estável para os diferentes módulos eletrónicos do sistema.

Na Figura é possível identificar os principais componentes do conversor implementado, nomeadamente o MOSFET de potência, o díodo Schottky, as bobinas, os condensadores e os restantes componentes responsáveis pelo funcionamento do circuito.

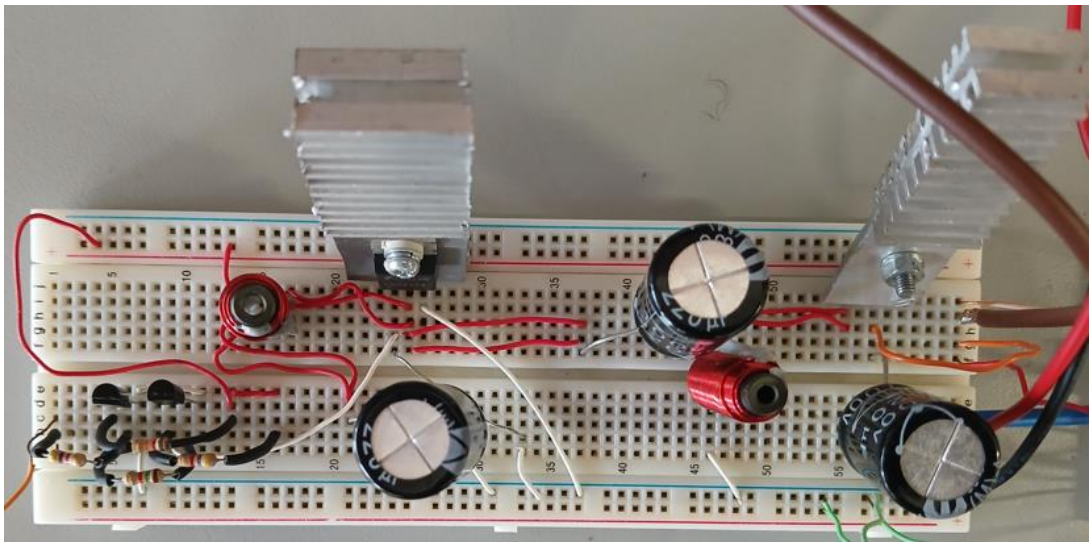


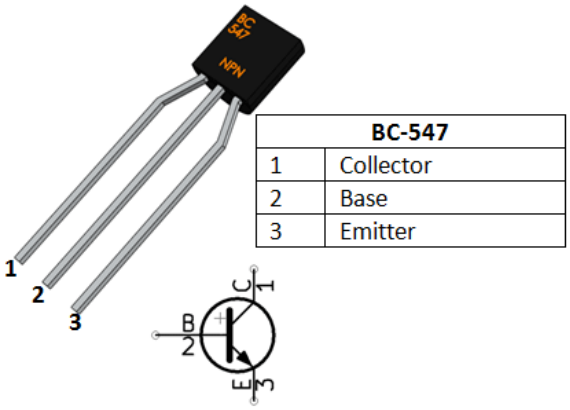
Figura 4 - Disposição física dos componentes do conversor SEPIC na *protoboard*

2.6 Componentes de Eletrónica de Potência para Comutação de Cargas

O controlo de cargas elétricas de maior potência a partir de um microcontrolador — cujos pinos de saída fornecem apenas correntes reduzidas — exige, em geral, a utilização de componentes intermédios de comutação, capazes de gerir correntes mais elevadas a partir de um sinal de baixa potência. Nas subsecções seguintes descrevem-se os principais componentes utilizados para este efeito.

2.6.1 Transístores Bipolares NPN

O transístor bipolar de junção NPN é constituído por três camadas de material semicondutor, sendo um dispositivo controlado por corrente, que amplifica a corrente aplicada no terminal da base para a corrente que circula entre o coletor e o emissor [21]. Este tipo de transístor é frequentemente utilizado em circuitos de comutação digital para ligar e desligar cargas como LEDs, relés ou pequenos motores, a partir de um sinal de controlo proveniente de um microcontrolador.



BC-547	
1	Collector
2	Base
3	Emitter

Figura 5 - Transistor Bipolar NPN

2.6.2 Transístores MOSFET de Canal N

Diferentemente do transístor bipolar, o MOSFET (*Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor*) é controlado por tensão aplicada ao terminal de porta (*gate*), praticamente não necessitando de corrente para se manter no estado ligado [22]. Esta característica torna os MOSFETs particularmente eficientes para comutação de cargas de maior potência, como é o caso do controlo de intensidade luminosa por PWM em LEDs de potência, uma vez que reduzem as perdas de energia associadas à comutação face a um transístor bipolar equivalente [23].



Figura 6 - Transistor Mosfet de Canal N

2.6.3 MOSFET

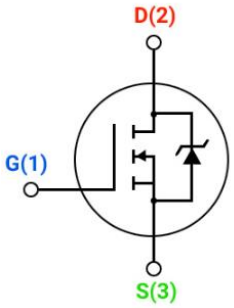
O MOSFET constitui a etapa de potência responsável pelo controlo da intensidade luminosa do sistema de iluminação desenvolvido. Neste projeto foi utilizado um MOSFET de canal N, referência 1A51ABF DP2572, integrado no conversor DC-DC SEPIC.

A utilização deste dispositivo permite controlar cargas de maior potência através de sinais de baixa potência gerados pelo microcontrolador PIC18F4431, garantindo uma elevada eficiência de comutação e reduzidas perdas de energia.

2.6.4 Atuação do Driver MOSFET

O microcontrolador PIC18F4431 gera um sinal de Modulação por Largura de Impulso (PWM), aplicado ao terminal *Gate* do MOSFET. A variação do *duty cycle* deste sinal permite regular a corrente fornecida ao sistema de iluminação e, consequentemente, ajustar a intensidade luminosa dos LEDs.

Quando o terminal Gate recebe um nível lógico adequado, o MOSFET entra em condução, permitindo a passagem de corrente entre os terminais *Drain* e *Source*; quando o sinal é removido, a condução é interrompida, reduzindo ou eliminando a corrente fornecida aos LEDs.



Pino	Nome
1	Gate (G)
2	Drain (D)
3	Source (S)

Figura 7 - Encapsulamento e identificação dos pinos do MOSFET

2.6.5 Relé Eletromecânico

O relé eletromecânico constitui outra solução comum de comutação, funcionando como um interruptor controlado eletricamente: quando a bobina do relé é percorrida por uma corrente elétrica, é criado um campo magnético que atua sobre uma armadura móvel, provocando a abertura ou o fecho de um conjunto de contactos [24]. A sua principal vantagem reside no isolamento elétrico e no controlo seguro que proporciona entre um circuito de comando de baixa potência (como o de um microcontrolador) e um circuito de carga de maior potência [25]. Tratando-se, no entanto, de uma carga indutiva, a bobina do relé necessita de proteção adicional: ao interromper-se a corrente na bobina, a energia armazenada no campo magnético gera um pico de tensão que pode danificar os componentes de comutação, sendo por isso comum a utilização de um díodo em paralelo com a bobina — díodo de roda livre ou *freewheeling* — que fornece um caminho alternativo para a corrente e dissipa essa energia de forma gradual [26].



Figura 8 - Relé

2.6.6 Importância do Relé

No sistema desenvolvido, o relé desempenha um papel importante na comutação do segundo ramal de LEDs. O microcontrolador PIC18F4431 controla a bobina do relé através de um circuito de acionamento, permitindo ligar ou desligar este ramal conforme o modo de funcionamento selecionado pelo utilizador.

A utilização do relé permite que o microcontrolador controle cargas de maior potência sem as alimentar diretamente, aumentando a segurança e a fiabilidade do sistema.

2.6.7 Estrutura

Um relé eletromecânico é constituído essencialmente pelos seguintes elementos:

- Bobina – quando alimentada, cria um campo magnético responsável pelo acionamento do relé.
- Contacto Comum (COM) – terminal comum do circuito de comutação.
- Contacto Normalmente Aberto (NO) – permanece aberto enquanto a bobina não é energizada.
- Contacto Normalmente Fechado (NC) – permanece fechado enquanto a bobina não é energizada.

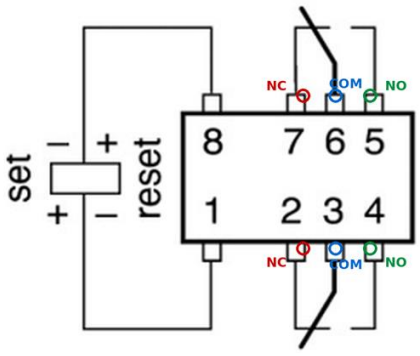


Figura 9 - Estrutura do Relé

2.6.8 Funcionamento

O acionamento do relé é realizado pelo microcontrolador através de um transístor BC549C, que funciona como interface entre o circuito de controlo e a bobina do relé. Um resistor limita a corrente aplicada à base do transístor, enquanto um díodo ligado em paralelo com a bobina protege o circuito contra os picos de tensão gerados durante a desenergização da bobina (*flyback*).

Quando o transístor entra em condução, a bobina é energizada, os contactos internos do relé mudam de posição e o segundo ramal de LEDs é comutado de acordo com a lógica implementada no programa do microcontrolador.

2.6.9 Díodo Schottky

O díodo Schottky caracteriza-se por uma tensão direta de condução mais reduzida e uma comutação mais rápida do que um díodo de silício convencional, sendo frequentemente utilizado tanto em funções de proteção contra picos de tensão como em circuitos de conversão e retificação de potência.



Figura 10 - Diodo Schottky de Potência MBR 760

2.6.10 Condensadores e Bobinas

Os condensadores e as bobinas (indutores) são componentes amplamente utilizados em conjunto com os elementos de comutação descritos, desempenhando funções de filtragem e armazenamento temporário de energia, contribuindo para a estabilidade dos sinais elétricos no circuito.



Figura 12 *- Condensador*



Figura 11 *- Bobine*

2.7 Sensores de Luminosidade (LDR) e de Movimento (PIR)

Para que um sistema de iluminação possa ajustar o seu comportamento de forma automática e contextual, é necessário dotá-lo de sensores capazes de captar informação sobre o ambiente em que está inserido. No presente projeto, essa função é assegurada por dois sensores complementares: o sensor de luminosidade LDR e o sensor de movimento PIR.

2.7.1 Sensor de Luminosidade (LDR)

O LDR (*Light Dependent Resistor*), também designado por fotorresistência, é um componente eletrónico passivo cuja resistência elétrica varia em função da intensidade de luz que incide sobre a sua superfície [27]. É tipicamente construído a partir de um material semicondutor, como o sulfureto de cádmio, que apresenta elevada resistência elétrica na ausência de luz. Quando a luz incide sobre o material, os fotões transferem energia aos eletrões do semicondutor, fazendo com que estes transitem para a banda de condução e aumentando o número de eletrões livres disponíveis para conduzir corrente elétrica [28]. Este fenómeno traduz-se numa diminuição da resistência do componente à medida que a intensidade luminosa aumenta — podendo esta variar entre poucas centenas de ohms sob luz intensa e vários megaohms no escuro.

Devido a esta característica, o LDR é normalmente integrado num circuito divisor de tensão, no qual a variação da sua resistência é convertida numa variação de tensão passível de ser lida por um conversor analógico-digital de um microcontrolador [29]. Esta simplicidade de utilização, associada ao seu baixo custo, torna o LDR um dos sensores mais utilizados em sistemas automáticos de iluminação, como a iluminação pública ou os sistemas de iluminação inteligente residencial.



Figura 13 *- Sensor LDR*

2.7.2 Funcionamento

O funcionamento do LDR baseia-se no fenómeno da fotocondutividade. Quando a intensidade luminosa aumenta, a resistência elétrica do sensor diminui. Pelo contrário, quando a luminosidade diminui, a sua resistência aumenta.

Esta variação é convertida numa tensão elétrica através de um divisor de tensão, sendo posteriormente adquirida pelo conversor analógico-digital do microcontrolador.

2.7.3 Aplicação no Projeto

No sistema desenvolvido, o LDR é utilizado para implementar o modo automático de funcionamento.

O microcontrolador realiza a leitura contínua do valor fornecido pelo sensor e, com base na luminosidade ambiente, ajusta automaticamente o sinal PWM aplicado ao Driver MOSFET, permitindo aumentar ou diminuir a intensidade luminosa dos LEDs.

Esta solução permite adaptar à iluminação às condições do ambiente, proporcionando maior conforto ao utilizador e contribuindo para uma utilização mais eficiente da energia elétrica.

2.7.4 Sensor de Movimento (PIR)

O sensor PIR (*Passive Infrared*), ou infravermelho passivo, é um dispositivo utilizado para deteção de movimento a partir da radiação infravermelha emitida por corpos quentes, como pessoas ou animais [30]. Ao contrário de um sensor infravermelho ativo, que emite um feixe de luz infravermelha e deteta a sua reflexão, o sensor PIR não emite qualquer sinal, limitando-se a captar passivamente as variações de radiação infravermelha existentes no ambiente — daí a designação "passivo" [31].

O elemento sensível do PIR é constituído por um material piroelétrico, que gera uma carga elétrica na sua superfície quando exposto a variações na radiação infravermelha incidente [32]. Quando um corpo em movimento atravessa esse campo de visão, a variação de radiação infravermelha captada é convertida, através de um circuito eletrónico associado, num sinal elétrico digital que indica a ocorrência de movimento, podendo este sinal ser diretamente utilizado por um

microcontrolador para desencadear uma ação — como ligar a iluminação de um espaço apenas quando existe efetivamente presença humana.

A combinação entre um sensor de movimento (PIR) e um sensor de luminosidade (LDR) permite, assim, implementar uma lógica de funcionamento mais eficiente do que a utilização isolada de qualquer um dos dois: a iluminação é ativada apenas quando existe simultaneamente escuridão suficiente e presença de movimento no espaço, evitando o consumo desnecessário de energia em situações de luz natural suficiente ou de ausência de utilizadores.



Figura 14 - Sensor de Movimento HC-SR501

2.7.5 Princípio de Funcionamento

O sensor PIR deteta alterações na radiação infravermelha existente no ambiente. Quando uma pessoa entra na sua área de deteção, o sensor produz um sinal elétrico que indica ao microcontrolador a ocorrência de movimento.

Como se trata de um sensor passivo, não emite qualquer radiação, limitando-se a detetar a energia infravermelha proveniente dos corpos presentes no ambiente.

2.7.6 Aplicação no Projeto

No sistema desenvolvido, o sensor PIR fornece ao PIC18F4431 informação relativa à deteção de presença. O microcontrolador utiliza este sinal em conjunto com os restantes parâmetros do sistema para executar a lógica de funcionamento previamente programada.

A integração deste sensor permite tornar o sistema de iluminação mais automático e eficiente, adequando o seu funcionamento à presença de utilizadores no ambiente.

2.8 Díodos Emissores de Luz (LEDs)

Os Díodos Emissores de Luz (LEDs) constituem a principal fonte de iluminação do sistema desenvolvido. Neste projeto foram utilizados LEDs OSRAM, referência LUW W5AM-KXLY-5F8G-ZN, pertencentes à família DURIS®, selecionados devido à sua elevada eficiência luminosa, baixo consumo de energia e elevada fiabilidade.

Os LEDs utilizados apresentam uma temperatura de cor de 5700 K (Cool White), produzindo uma luz branca fria adequada para aplicações de iluminação interior. A intensidade luminosa é regulada eletronicamente através da técnica de modulação por Largura de Impulso (PWM) implementada pelo microcontrolador PIC18F4431, permitindo ajustar o brilho sem alterar as características elétricas do LED [33].



Figura 15 - LED OSRAM LUW W5AM-KXLY-5F8G-ZN

2.8.1 Características do LED utilizado

O LUW W5AM-KXLY-5F8G-ZN, fabricado pela OSRAM Opto Semiconductors, é um LED SMD de elevada eficiência pertencente à família DURIS. Este componente foi desenvolvido para aplicações de iluminação que exigem baixo consumo energético, elevada fiabilidade e boa uniformidade da luz emitida [33].

Tabela 4 - Principais características do LED utilizado

Característica	Valor
Fabricante	OSRAM Opto Semiconductors
Família	DURIS
Referência	LUW W5AM-KXLY-5F8G-ZN
Tecnologia	LED SMD
Cor	Branco frio (Cool White)
Temperatura de cor	5700 K
Aplicação	Iluminação LED
Tensão Nominal	3.2 V
Corrente Nominal	350 mA

2.8.2 Funcionamento

O LED é um dispositivo semicondutor constituído por uma junção PN, que emite luz quando é polarizado diretamente. Quando uma corrente elétrica atravessa a junção, ocorre a recombinação de eletrões e lacunas, libertando energia sob a forma de luz, fenómeno conhecido por eletroluminescência.

2.9. Visor LCD 16×2

O visor LCD 16×2 é um dispositivo de visualização utilizado para apresentar informações sobre o funcionamento do sistema ao utilizador. Este módulo possui duas linhas com capacidade para apresentar dezasseis caracteres em cada uma, permitindo visualizar diferentes parâmetros em tempo real.

No presente projeto, o visor LCD é controlado pelo microcontrolador PIC18F4431, sendo utilizado para apresentar informações relativas ao estado do sistema e aos diferentes modos de funcionamento.



Figura 16 - Visor LCD 16×2

2.9.1. Princípio de funcionamento

O LCD recebe os dados enviados pelo microcontrolador e apresenta-os no ecrã através da ativação da matriz de cristais líquidos. A comunicação entre o PIC18F4431 e o visor é realizada através das linhas de controlo e de dados, permitindo atualizar continuamente a informação apresentada ao utilizador.

2.10 Síntese do Capítulo

Ao longo deste capítulo foi estabelecido o enquadramento teórico necessário à compreensão das soluções técnicas adotadas no desenvolvimento do candeeiro inteligente. Começou por se abordar o contexto da iluminação inteligente e da eficiência energética, evidenciando o peso significativo da iluminação no consumo elétrico residencial e o potencial de poupança associado a soluções de controlo automatizado.

Em seguida, foram discutidos os microcontroladores aplicados a sistemas embutidos, com destaque para a arquitetura Harvard e as características da família PIC, que fundamentam a escolha do PIC18F4431 como núcleo de processamento do sistema. Abordou-se também a comunicação sem fios por Bluetooth, através do módulo HC-05, enquanto solução simples e de baixo custo para o controlo remoto do candeeiro a partir de uma aplicação móvel, o princípio de funcionamento da modulação por largura de impulso (PWM), técnica adotada para o controlo eficiente da intensidade luminosa dos LEDs, e as topologias de conversão DC-DC responsáveis por converter esse sinal na energia efetivamente entregue à carga.

Foram ainda caracterizados os principais componentes de eletrónica de potência utilizados na comutação das cargas do sistema - transístores bipolares NPN, MOSFET de canal N, relé eletromecânico e díodo Schottky - bem como os dois sensores responsáveis pela automação do sistema: o LDR, para deteção da luminosidade ambiente, o PIR, para deteção de movimento, também os díodos responsáveis pela emissão da luz e o display responsável por apresentar informações sobre o funcionamento do sistema

Com este enquadramento estabelecido, o capítulo seguinte apresenta a arquitetura do sistema desenvolvido, descrevendo de forma detalhada a integração destes componentes no candeeiro inteligente a LED.

Capítulo 3 – Arquitetura do Sistema

3.1 Visão Geral da Arquitetura

O sistema desenvolvido é composto por três blocos funcionais principais, interligados entre si: um bloco de controlo e processamento, um bloco de potência responsável pelo acionamento dos LEDs, e um conjunto de sensores e interfaces de entrada/saída.

O núcleo do sistema é o microcontrolador PIC18F4431, integrado numa placa de desenvolvimento Microchip Demo Board (referência 02-01630-1), que disponibiliza também o visor LCD, os botões de interface e a alimentação regulada necessária ao funcionamento do microcontrolador. O esquema elétrico completo do sistema encontra-se representado na **Figura 29** (Anexos). É este microcontrolador que centraliza todo o processamento: recebe os comandos do utilizador através do módulo Bluetooth HC-05, lê os sensores LDR e PIR, gera o sinal PWM de controlo de brilho e atualiza o visor LCD com o estado do sistema.

O sistema é alimentado por duas fontes de alimentação externas independentes: uma fonte de 19V/3,95A, que alimenta o bloco de potência (conversor SEPIC e, a placa de controlo dos sensores e do relé), e uma fonte de 13V/400mA, que alimenta exclusivamente a placa base do PIC, sendo posteriormente regulada internamente para os 5V necessários ao microcontrolador e ao módulo Bluetooth HC-05, este último alimentado a partir da própria trilha de alimentação da placa base.

O controlo da intensidade luminosa dos LEDs não é feito diretamente pelo PIC, mas sim através de um bloco de potência dedicado, que recebe o sinal PWM gerado no pino RC2 (módulo CCP1) do microcontrolador. Este sinal passa primeiro por um andar de driver, constituído por dois transístores bipolares NPN (BC547) configurados em *push-pull*, cuja função é fornecer a corrente necessária para comutar rapidamente a gate do transístor MOSFET de canal N (FDP2572) — corrente que o pino do microcontrolador, por si só, não conseguiria fornecer de forma eficiente. O MOSFET integra um conversor SEPIC, constituído ainda por um díodo Schottky (MBR760), duas bobines e três condensadores, responsável por converter a tensão de entrada na corrente regulada entregue à primeira trama de LEDs.

A ativação da segunda trama de LEDs — que permite alternar entre um funcionamento com uma ou duas tramas ligadas em paralelo — é controlada por um relé eletromecânico (AXICOM D2n, 5V DC), acionado pelo pino RB1 do microcontrolador através de um transístor BC549.

Por fim, o sistema integra dois sensores que permitem o funcionamento automático do candeeiro: o sensor de luminosidade LDR, ligado a um canal do conversor analógico-digital do PIC, e o sensor de movimento PIR, ligado ao pino

RE2, ambos utilizados no modo de funcionamento automático descrito na secção 3.4.

A Figura 16 apresenta o diagrama de blocos geral do sistema, ilustrando a interligação entre os diferentes módulos descritos.

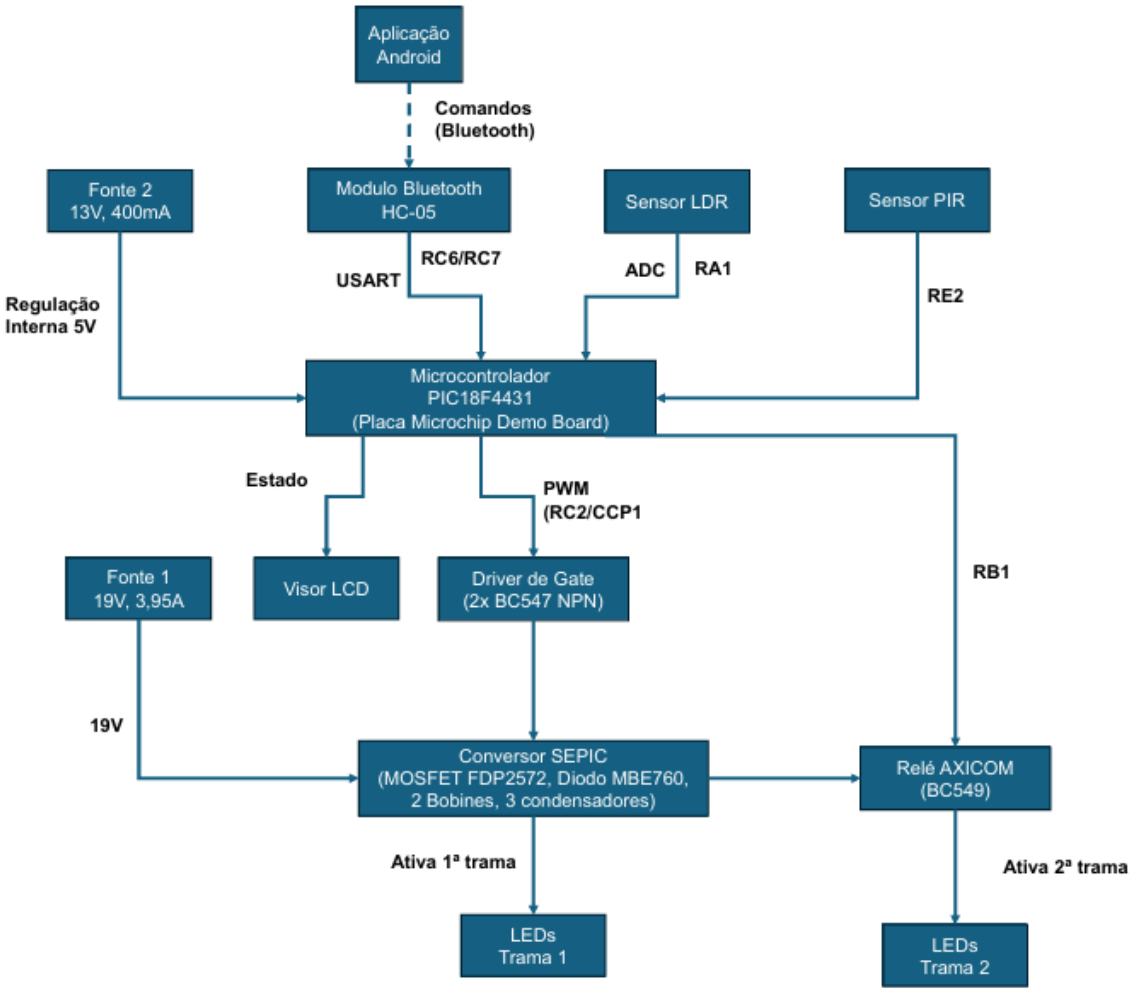


Figura 17 - Diagrama de blocos geral do sistema

3.2 Alimentação e Reguladores de Tensão

O sistema é alimentado por duas fontes de alimentação externas independentes, cada uma dedicada a um subsistema distinto do candeeiro.

A primeira fonte é um transformador AC/DC (modelo LS-PAB90), com entrada de 100-240V~ (1,5A, 50-60Hz) e saída de 19V DC, 3,95A. Esta fonte alimenta a Primeira Placa, onde se encontra o conversor SEPIC responsável pela alimentação dos LEDs de potência.

A segunda fonte é um transformador AC/DC distinto (modelo 4203 035 5.5000), com entrada de 220-240V~ (50-60Hz, 9W) e saída de 13V DC, 400mA,

com polaridade positiva ao centro. Esta fonte alimenta a placa base do microcontrolador (Microchip Demo Board), sendo posteriormente regulada internamente, por circuitos já integrados nessa placa, para os 5V necessários ao funcionamento do PIC18F4431.

A Segunda Placa (*protoboard* onde se encontram o relé, o módulo Bluetooth HC-05, o sensor LDR e o circuito de condicionamento do sensor PIR) não possui fonte de alimentação própria, sendo os seus componentes — incluindo o módulo Bluetooth HC-05 — alimentados a 5V.

A separação entre as duas fontes externas — uma para o subsistema de controlo (13V→5V) e outra para o subsistema de potência dos LEDs (19V) — é uma prática comum que combinam controlo digital com atuação de potência, ajudando a isolar o microcontrolador de eventuais variações de tensão ou ruído elétrico gerados pela comutação de cargas de maior corrente, como a realizada pelo conversor SEPIC a alta frequência.

Fonte 1

Fonte 2



Figura 18 - Fontes de Alimentação AC/DC

3.3 Placa de Potência: Driver de Corrente e Conversor SEPIC

A Primeira Placa do sistema corresponde ao estágio de potência responsável pela alimentação da primeira trama de LEDs, implementando, tal como discutido na secção 2.5.2, um conversor SEPIC. Esta secção detalha a implementação real deste conversor, com base no esquema elétrico apresentado na Figura 18, elaborado a partir da montagem física da Primeira Placa.

O sinal PWM gerado pelo microcontrolador (pino RC2, módulo CCP1) é aplicado, através da resistência R1 (4700Ω), à base do transístor Q1 (BC547C), não sendo aplicado diretamente à gate do MOSFET de potência. Q1(transístor

Bipolar NPN) e um segundo transístor, Q2 (BC547C), formam um andar de driver em *push-pull*, polarizado pela rede de resistências R2 (8200Ω), R3 (1500Ω) e R4 (4700Ω), que define os pontos de polarização dos transístores e limita a corrente nas suas junções base-emissor. A função deste driver é fornecer a corrente necessária para carregar e descarregar rapidamente a capacitância da gate do MOSFET, permitindo uma comutação rápida e eficiente, que o pino do microcontrolador não conseguiria realizar de forma direta.

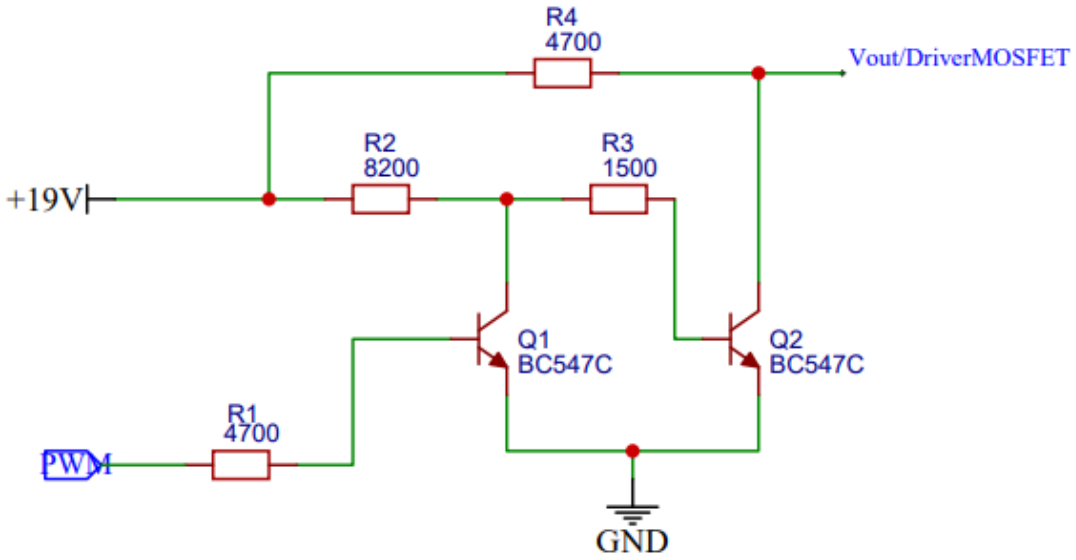


Figura 19 - Esquema Elétrico do Driver de Corrente

O sinal amplificado pelo driver é aplicado à *gate* do transístor MOSFET de canal N Q3 (FDP2572), que atua como o elemento de comutação principal do conversor. O dreno de Q3 liga-se ao indutor L1, enquanto a *source* se liga à referência de massa do circuito.

A topologia SEPIC implementada é composta pelos seguintes elementos, identificados no esquema da Figura 19:

- Dois indutores, L1 e L2(250µH), dispostos um em cada lado do condensador de acoplamento C2, responsáveis por armazenar e transferir energia entre os dois andares do conversor;
- Três condensadores de 220µF: C1 (condensador de entrada, junto à alimentação de 19V), C2 (condensador de acoplamento, entre os dois indutores) e C3 (condensador de saída, junto à carga);
- Um díodo Schottky D1 (MBR760), que assegura a condução de corrente para a carga durante o período em que Q3 se encontra ao corte, aproveitando a sua reduzida queda de tensão direta e elevada

velocidade de comutação, características que contribuem para uma maior eficiência energética do conversor.

A saída do conversor alimenta diretamente a primeira trama de LEDs, fornecendo-lhe uma corrente regulada e filtrada, cujo valor médio é determinado pelo *duty cycle* do sinal *PWM* aplicado a Q3.

A Figura 19 apresenta o esquema elétrico completo deste andar de potência.

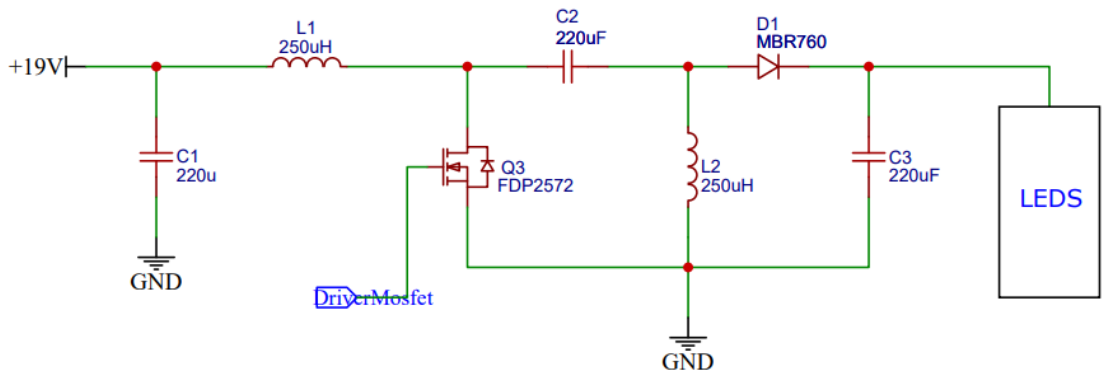


Figura 20 - Esquema elétrico do SEPIC

3.3.1 Configuração das Tramas de LEDs

O candeeiro é composto por duas tramas de LEDs, designadas "Trama 1" e "Trama 2", ambas ligadas em paralelo à saída do conversor SEPIC. Cada trama é constituída por LEDs brancos de potência Golden Dragon Plus (LUW W5AM), organizados em dois ramos de quatro LEDs ligados em série, estando estas dois ramos ligadas em paralelo entre si — perfazendo um total de oito LEDs por trama, e dezasseis LEDs no total do sistema.

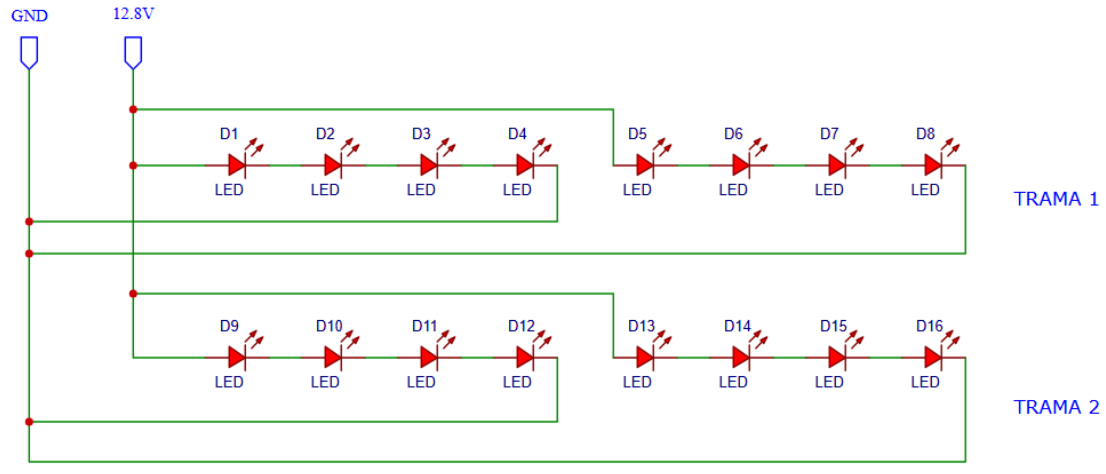


Figura 21 - Esquema elétrico da matriz de LEDs em configuração série-paralelo

A Trama 1 encontra-se permanentemente ligada entre a saída do conversor SEPIC e a referência de massa (GND), estando ativa sempre que o sistema se encontra ligado. A Trama 2, por sua vez, partilha a mesma ligação à saída do SEPIC, mas o seu retorno à massa é comutado pelos contactos do relé, acionado pelo transístor (BC549C) através do pino RB1 do microcontrolador, polarizado pela resistência R12 (1000Ω). Deste modo, a Trama 2 permanece eletricamente desligada enquanto o relé não é ativado, apenas passando a conduzir corrente, e, portanto, a iluminar-se, quando o relé fecha o seu circuito de retorno — mecanismo que corresponde à alternância entre os estados 0 ("DENTRO") e 1 ("D&FORA") descrita na secção 3.4.4.

Do ponto de vista elétrico, e com base na curva característica tensão-corrente do LED Golden Dragon Plus (LUW W5AM), é possível estimar teoricamente os valores de tensão e corrente da configuração adotada. Para uma tensão direta típica de 3,20V por LED, um ramo de quatro LEDs em série apresentaria uma tensão total teórica de aproximadamente 12,8V, mantendo-se a corrente igual à de um único LED ao longo de toda a coluna — cerca de 350mA, de acordo com o *datasheet*. Como cada trama é composta por dois ramos em paralelo, a corrente total teórica por trama seria de aproximadamente 700mA, e de 1400mA para as duas tramas em simultâneo. A validação prática dos limites de corrente do sistema foi realizada através da medição do *duty cycle* máximo à saída do conversor, tal como descrito na secção 4.2.5.

Tabela 5 - Limites de corrente e valores de PWM para diferentes tramas ativas

Ramos ativos	Tensão	Corrente	Limite PWM
1 ramo	12,8V	≈350mA	—
2 ramos (1 trama)	12,8V	≈700mA	**326**
3 ramos	12,8V	≈1050mA	—
4 ramos (2 tramas)	12,8V	≈1400mA	**470**

3.4 Placa de Controlo e Sensores

A Segunda Placa do sistema integra os circuitos responsáveis pela comunicação sem fios, pela deteção do ambiente e pelo acionamento da segunda trama de LEDs. O esquema elétrico completo desta placa, incluindo as suas ligações ao microcontrolador, é apresentado na **Figura 29**.

3.4.1 Sensor de Luminosidade (LDR)

O sensor LDR está integrado num circuito divisor de tensão, constituído pela resistência R8 (8200Ω), ligada entre a alimentação de 5V e o LDR, estando este último ligado à referência de massa (GND). O ponto intermédio deste divisor, cuja tensão varia inversamente com a luminosidade incidente sobre o LDR, é lido pelo conversor analógico-digital do PIC18F4431, através do canal AN1, correspondendo à leitura realizada no código através da função **set_adc_channel(1)**.

A partir da leitura do ADC é possível estimar a resistência do LDR nas duas condições de luminosidade observadas (secção 4.4): para uma leitura próxima de 300 (ambiente com luz), a tensão correspondente no divisor é de aproximadamente 1,47V, resultando numa resistência estimada do LDR de cerca de 3,4kΩ; para uma leitura próxima de 600 (ambiente escuro), a tensão é de aproximadamente 2,93V, correspondendo a uma resistência estimada de cerca de 11,6kΩ. Estes valores, calculados a partir da equação do divisor de tensão e não medidos diretamente com multímetro nos terminais do LDR, confirmam o comportamento esperado do sensor: a sua resistência aumenta significativamente na ausência de luz, tal como descrito na secção 2.7.1.

Tabela 6 - Comportamento elétrico do sensor LDR em função da luminosidade e das leituras analógicas do PIC

Estado de Luz	Leitura do ADC	Tensão no LDR [V]	Resistência do LDR [KΩ]
Claro	300	1.47	3.41
Escuro	600	2.93	11.6

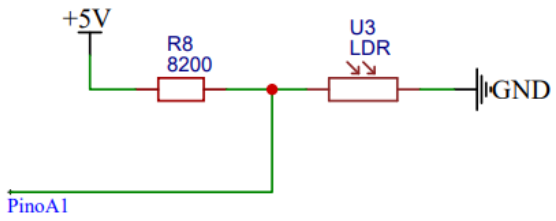


Figura 22 - Circuito do Sensor LDR

3.4.2 Módulo Bluetooth HC-05

A ligação entre o microcontrolador e o módulo Bluetooth HC-05 é efetuada através dos pinos TXD e RXD deste último, ligados respetivamente aos pinos RC7 (TX) e RC6 (RX) do PIC, que constituem o periférico USART utilizado para a comunicação série. Entre o pino TX do PIC e o pino RXD do HC-05 foi inserido um divisor de tensão resistivo, constituído pelas resistências R6 (1200Ω) e R7 (2200Ω), com o objetivo de reduzir o nível lógico de 5V do PIC para um valor compatível com a entrada RXD do módulo, que opera tipicamente a 3,3V, evitando assim possíveis danos ao módulo Bluetooth. Os pinos VCC e GND do HC-05 são alimentados a partir da trilha de alimentação de 5V.

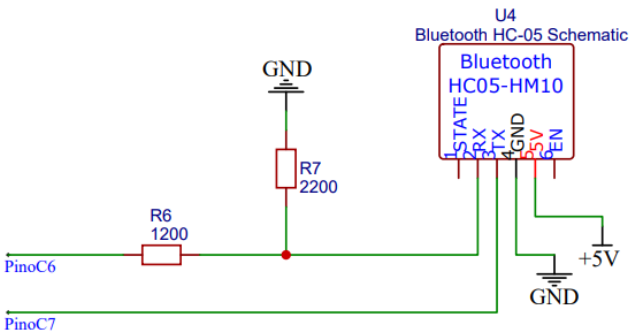


Figura 23 - Circuito do Módulo Bluetooth

3.4.3 Sensor de Movimento (PIR)

O sensor de movimento utilizado é um módulo PIR do tipo HC-SR501, dispondo de três terminais: alimentação (5V), massa (GND) e saída digital (OUT). A saída deste módulo está ligada ao pino RE2 do PIC18F4431, sendo lida diretamente no código através da instrução input(PIR), sem necessidade de conversão analógico-digital, uma vez que se trata de um sinal já digital (presença ou ausência de movimento).

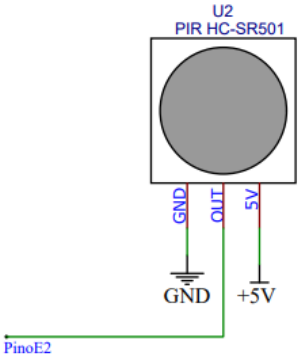


Figura 24 - Circuito do Sensor de Movimento

3.4.4 Acionamento da Segunda Trama de LEDs

O sistema dispõe de duas tramas de LEDs, designadas no esquema elétrico como "Trama Dentro" (LED1 e LED2) e "Trama Fora" (LED3 e LED4). A Trama Dentro permanece ativa sempre que o sistema se encontra ligado, sendo alimentada diretamente pela saída do conversor SEPIC descrito na secção 3.3. A ativação da Trama Fora, por sua vez, é controlada por um relé eletromecânico (K1, AXICOM D2n), acionado pelo pino RB1 do microcontrolador através do transístor Q4 (BC549C), cuja base é polarizada pela resistência R5 (1000Ω). Quando o relé é ativado, os seus contactos fecham o circuito de alimentação da Trama Fora, permitindo o funcionamento simultâneo de ambas as tramas — correspondendo ao estado 1 ("D&FORA") do código do sistema, por oposição ao estado 0 ("DENTRO"), em que apenas a Trama Dentro se encontra ativa.

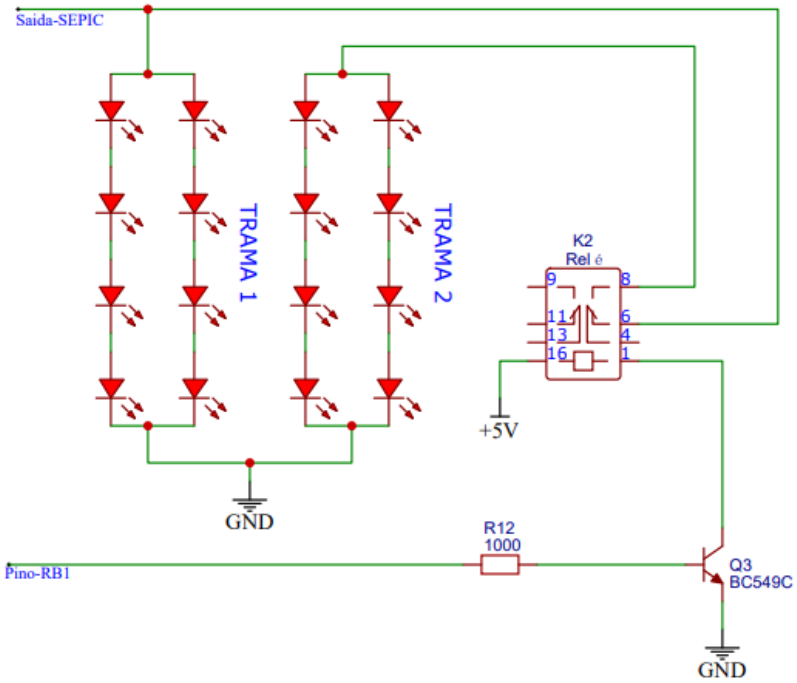


Figura 25 - Esquema elétrico do Relé e consequente ativação

3.5 Microcontrolador PIC18F4431 e Visor LCD

3.5.1 Características do Microcontrolador PIC18F4431

O microcontrolador PIC18F4431, já introduzido na secção 2.3, é responsável por todo o processamento do sistema. O seu funcionamento é temporizado por um cristal oscilador piezoelétrico de quartzo, com frequência de 20MHz, ligado à placa base Microchip Demo Board, correspondendo à configuração #use

delay(clock=20000000) definida no código-fonte, com o fusível de oscilador configurado no modo HS (*High Speed*), adequado para cristais desta gama de frequência. O esquema elétrico da placa de desenvolvimento encontra-se representado na **Figura 34** (Anexos).

Dos diversos periféricos internos disponíveis no PIC18F4431, o presente projeto utiliza, em particular:

- O módulo CCP1 (*Capture*/*Compare*/*PWM*), configurado em modo PWM, responsável pela geração do sinal de controlo de intensidade luminosa aplicado ao andar de potência (secção 3.3);
- O periférico USART, responsável pela comunicação série com o módulo Bluetooth HC-05 (secção 3.4.2), com receção de dados assegurada através de uma interrupção dedicada (#INT_RDA), que evita a necessidade de verificação contínua do estado da receção por parte do processador;
- O conversor analógico-digital (ADC), utilizado na leitura do sensor LDR (secção 3.4.1), configurado a operar sobre os canais AN0 e AN1;
- As portas de entrada/saída digitais, utilizadas na leitura do sensor PIR, no acionamento do relé, e na comunicação com o visor LCD.

3.5.2 Interface com o Visor LCD

O visor LCD utilizado é um módulo alfanumérico de 2 linhas por 16 colunas (LCD1602), ligado ao PIC através do PORTD, em conjunto com três linhas de controlo adicionais: RS (*Register Select*, pino D4), RW (*Read*/*Write*, pino D5) e ENABLE (pino D6).

A comunicação com o LCD é efetuada em modo de 4 bits, no qual cada byte de dados ou instrução é transmitido em duas etapas sucessivas — primeiro o *nibble* mais significativo, depois o *nibble* menos significativo — através dos pinos D0 a D3, sendo cada etapa validada por um pulso no pino ENABLE (função activa() no código-fonte). Este modo de funcionamento, embora exija o dobro das transmissões em comparação com o modo de 8 bits, permite reduzir o número de pinos do microcontrolador necessários para controlar o visor, disponibilizando mais pinos para os restantes periféricos do sistema (sensores, relé, comunicação série).

O pino RS permite distinguir entre o envio de um caráter a apresentar no ecrã (transfere_carac) e o envio de uma instrução de controlo do LCD (transfere_inst), como a limpeza do ecrã ou o posicionamento do cursor, enquanto o pino RW é mantido permanentemente em nível baixo, uma vez que o sistema apenas escreve no LCD, não necessitando de ler o seu conteúdo.

Tabela 7 - Funções dos pinos do LCD

Nº de Pino	Símbolo	Função
1	VSS	Ligação ao GND (0V)
2	VCC	Alimentação do LCD (+5V)
3	VO	Ajuste do contraste do ecrã
4	RS	Seleção de Registo
5	RW	Leitura ou Escrita
6	E	Sinal de Habilitação (enable)
7 - 14	DB0 – DB7	Barramento de dados
15	BLA	Anodo do Blacklight (Luz de fundo)
16	BLK	Catodo do Blacklight (Luz de fundo)

3.6 Aplicação Android

O controlo remoto do candeeiro é realizado através da aplicação Android Serial Bluetooth Terminal, disponível gratuitamente na Google Play Store [34]. Trata-se de uma aplicação de terminal série genérica, que estabelece uma ligação Bluetooth do tipo *Serial Port Profile* (SPP) com dispositivos como o módulo HC-05, permitindo o envio e a receção de caracteres através dessa ligação, sem necessidade de desenvolvimento de uma aplicação dedicada.

Entre as funcionalidades disponibilizadas pela aplicação encontra-se a criação de macros — botões configuráveis pelo utilizador, aos quais é possível associar o envio automático de uma sequência de caracteres pré-definida, sem necessidade de os escrever manualmente a cada utilização. Esta funcionalidade foi a utilizada no presente projeto: foram configurados sete botões (macros), cada um associado ao envio de um caráter numérico de "0" a "6", correspondendo diretamente aos sete modos de funcionamento (case) implementados no código do microcontrolador, conforme descrito na secção 1.4 e detalhado no Capítulo 4.

Ao premir um destes botões, a aplicação envia o caráter correspondente através da ligação Bluetooth estabelecida com o módulo HC-05, sendo este caráter recebido pelo PIC18F4431 através da interrupção de receção série (#INT_RDA), atualizando a variável de estado do sistema e, consequentemente, o modo de funcionamento do candeeiro.

A opção por uma aplicação de terminal genérica, permitiu simplificar significativamente o desenvolvimento do projeto, sem comprometer a funcionalidade pretendida, uma vez que o sistema de comandos implementado se baseia no envio de simples caracteres identificadores, facilmente configuráveis através das macros da aplicação.

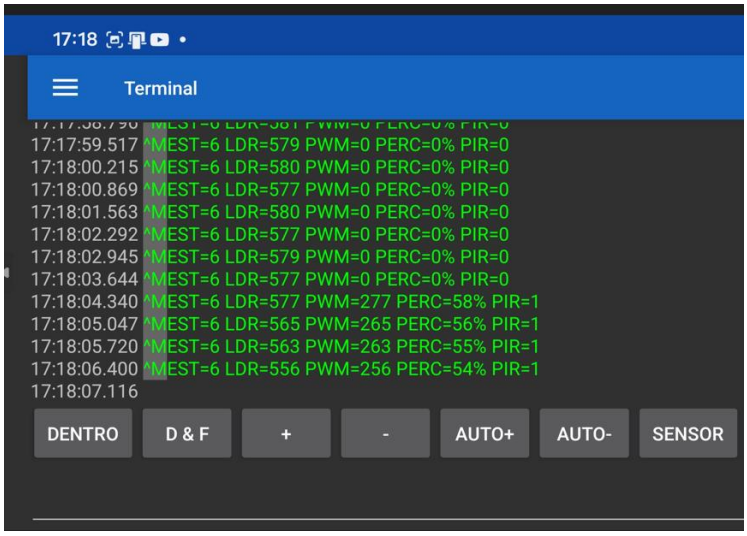


Figura 26 - Aplicação Android em funcionamento

Capítulo 4 – Implementação do Sistema e Resultados

4.1 Ambientes e Feramentas de Desenvolvimento

O desenvolvimento do *firmware* do candeeiro inteligente foi realizado com recurso ao CCS C Compiler (versão PCWHD 5.015, IDE 5.015), da Custom Computer Services, Inc., um compilador de linguagem C especificamente orientado para microcontroladores da família PIC. Este compilador disponibiliza um conjunto alargado de funções de biblioteca de alto nível — como setup_adc_ports(), setup_ccp1() ou output_high() — que simplificam consideravelmente a configuração dos periféricos internos do PIC18F4431, quando comparado com a programação direta sobre registos.

A gravação do código compilado no microcontrolador foi efetuada através de um programador PICkit 2, da Microchip, ligado à placa de desenvolvimento através do respetivo *header* dedicado disponível na Microchip Demo Board.

O esquema elétrico do sistema foi documentado em EasyEDA, uma ferramenta de desenho de circuitos eletrónicos utilizada exclusivamente para fins de representação e documentação. O desenvolvimento seguiu uma abordagem iterativa, com a programação do microcontrolador e a montagem dos componentes físicos a evoluir em paralelo: à medida que novas funcionalidades eram implementadas em código, os respetivos componentes eram integrados na placa física, e os erros identificados eram corrigidos de imediato antes de se avançar para a etapa seguinte.



Figura 27 - Programador PICKIT 2

4.2 Implementação do Código de Controlo

O *firmware* do candeeiro foi desenvolvido em linguagem C e organiza-se num ciclo principal contínuo, precedido de uma fase de configuração dos periféricos. O fluxograma geral do sistema encontra-se representado na **Figura 30** (Anexos), sendo as suas etapas detalhadas nas subsecções seguintes.

4.2.1 Inicialização e Configuração dos Periféricos

No início da função principal do programa, antes de se entrar no ciclo de funcionamento contínuo, é realizada a configuração inicial de todos os periféricos internos do microcontrolador utilizados pelo sistema:

```
114     setup_adc_ports (sAN0|sAN1);
115     setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
116     setup_ccp1(CCP_PWM);
117     setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,255,1);
118
119     enable_interrupts(INT_RDA);
120     enable_interrupts(global);
121
122     output_low(RW);
123     ini_lcd();
```

As instruções setup_adc_ports() e setup_adc() configuram os canais AN0 e AN1 do conversor analógico-digital e definem o relógio interno do ADC, preparando-o para a leitura do sensor LDR. A instrução setup_ccp1(CCP_PWM) configura o módulo CCP1 para operar em modo *PWM*, sendo a sua frequência definida pela instrução seguinte, setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,255,1), que configura o Timer 2 com um divisor de frequência de 1 e um período de 255, resultando numa frequência de comutação do sinal PWM de aproximadamente 4,9kHz, valor verificado experimentalmente pelos autores.

As instruções enable_interrupts(INT_RDA) e enable_interrupts(global) ativam, respetivamente, a interrupção de receção de dados série (utilizada na comunicação com o módulo Bluetooth) e o sistema global de interrupções do microcontrolador, sem o qual nenhuma interrupção seria executada. A instrução output_low(RW) fixa permanentemente o pino RW do LCD em nível baixo, tal como referido na secção 3.5.2, uma vez que o sistema apenas escreve no visor, nunca necessitando de ler o seu conteúdo. Por fim, a função ini_lcd(), envia a sequência de instruções de inicialização do controlador do LCD, configurando-o para o modo de 4 bits, limpando o ecrã e posicionando o cursor.

4.2.2 Comunicação Série e Receção de Comandos

A receção de comandos enviados pela aplicação Android é gerida através de uma rotina de interrupção, associada à receção de dados pelo periférico USART:

```
34  #INT_RDA
35  void serial_isr()
36  {
37      // le caracter recebido 1,2,3....   // indicando que chegou um novo dado
38       data[pos]= getc();
39       pos++;
40       output_toggle(PIN_B2);
41  }
```

Sempre que um carácter é recebido através do módulo Bluetooth HC-05, esta rotina é automaticamente executada pelo microcontrolador, interrompendo a execução do programa principal. A função getc() lê o carácter recebido e armazena-o na posição pos do vetor data, incrementando-se de seguida o índice pos. A instrução output_toggle(PIN_B2) alterna o estado do pino B2 sempre que um caráter é recebido, funcionando como um indicador visual de atividade da comunicação série, útil durante a fase de testes e depuração do sistema.

O fluxograma desta rotina de interrupção encontra-se representado na **Figura 31** (Anexos).

No ciclo principal do programa, o carácter recebido é processado da seguinte forma:

```
155         if(pos > 0) {
156         estado = data[0]-48;
157
158         pos = 0;
159         data[0] = 0;
160       }
```

Quando se verifica que foi recebido um novo carácter (pos > 0), este é convertido do seu valor ASCII para o valor numérico correspondente, através da subtração de 48 (código ASCII do carácter '0') — técnica comum para converter um dígito em formato de texto para o seu valor inteiro equivalente. Este valor numérico é atribuído à variável estado, que determina o modo de funcionamento do sistema a executar no restante ciclo do programa. De seguida, o índice pos é reposto a zero e a posição correspondente do vetor data é limpa, preparando o sistema para a receção do próximo comando.

Esta abordagem — utilização de uma interrupção dedicada para a receção de dados série — permite que o microcontrolador continue a executar as restantes tarefas do ciclo principal (atualização do LCD, leitura de sensores, controlo do PWM) sem interrupção do fluxo normal do programa, sendo apenas desviado momentaneamente sempre que um novo carácter chega através da ligação Bluetooth.

4.2.3 Gestão do Visor LCD

A comunicação com o visor LCD, em modo de 4 bits (secção 3.5.2), é implementada através de três funções principais: activa(), transfere_carac() e transfere_inst().

```
43  void activa()
44  {
45    output_high(ENABLE);
46    delay_ms(10);
47    output_low(ENABLE);
48  }
```

A função activa() gera um pulso no pino ENABLE do LCD, validando a leitura dos dados presentes nos pinos D0-D3 pelo controlador do visor. Esta função é invocada duas vezes em cada transferência de um byte, uma vez que o sistema opera em modo de 4 bits.

```
51  void transfere_carac(int8 carac)
52  {
53
54    output_high(RS);
55    output_bit(PIN_D0,(carac & 0x10));
56    output_bit(PIN_D1,(carac & 0x20));
57    output_bit(PIN_D2,(carac & 0x40));
58    output_bit(PIN_D3,(carac & 0x80));
59
60    activa();
61    output_bit(PIN_D0,(carac & 0x01));
62    output_bit(PIN_D1,(carac & 0x02));
63    output_bit(PIN_D2,(carac & 0x04));
64    output_bit(PIN_D3,(carac & 0x08));
65
66    activa();
67  }
```

A função transfere_carac() é responsável pelo envio de caracteres a apresentar no ecrã, colocando o pino RS em nível alto (indicando ao LCD que se trata de dados, e não de uma instrução). O byte a transmitir é dividido em dois *nibbles* através de operações de máscara com operadores lógicos AND (&): primeiro é enviado o *nibble* mais significativo (bits 4 a 7, através das máscaras 0x10, 0x20, 0x40, 0x80), seguido do *nibble* menos significativo (bits 0 a 3, através das máscaras 0x01, 0x02, 0x04, 0x08), com uma chamada à função activa() após cada *nibble*. A função transfere_inst() segue exatamente a mesma lógica, distinguindo-se apenas por colocar o pino RS em nível baixo, indicando ao LCD que o valor transmitido corresponde a uma instrução de controlo (como limpar o ecrã ou posicionar o cursor) e não a um carácter a apresentar.

No ciclo principal do programa, o LCD é atualizado a cada iteração: é reescrito o cabeçalho "ESTADO=" seguido do valor do variável estado, e, mais adiante, a legenda correspondente ao modo de funcionamento ativo (por exemplo, "DENTRO", "+BRILHO", "+AUTOMA", "LDR:xxx"), bem como o valor numérico do *duty cycle* do PWM e a respetiva percentagem, calculada através da expressão percentagem = ((int32)i * 100) / PWMMAX, sendo ambos os valores apresentados na segunda linha do visor.

4.2.4 Modos de Funcionamento

O comportamento do candeeiro é definido por uma estrutura switch(estado), que seleciona a ação a executar consoante o valor recebido através da comunicação Bluetooth. A Tabela 6 resume os sete modos de funcionamento implementados.

O fluxograma dos estados de funcionamento 0 a 5 encontra-se na **Figura 33** (Anexos); o estado 6, mais elaborado, é detalhado na secção 4.2.6.

Tabela 8 - Modo de funcionamento do sistema

Estado	Comando	Descrição
0	DENTRO	Ativa apenas a primeira trama de LEDs (um ramo)
1	D&FORA	Ativa as duas tramas de LEDs (dois ramos), através do relé
2	+BRILHO	Incremento manual da intensidade luminosa (+5)
3	-BRILHO	Decremento manual da intensidade luminosa (-5)
4	+AUTOMA	Incremento automático contínuo até ao máximo
5	-AUTOMA	Decremento automático contínuo até ao mínimo
6	LDR	Modo automático, com base na leitura de LDR e PIR

Estados 0 e 1 — Seleção do número de tramas ativas

```
181          case 0:
182             output_high(PIN_B1);
183             RB=0;
184          ...
185
186          case 1:
187             output_low(PIN_B1);
188             RB=1;
```

Estes dois estados controlam o pino B1, responsável pelo acionamento do relé (secção 3.4.4). No estado 0, o pino é colocado em nível alto, mantendo o relé desativado e, consequentemente, apenas a primeira trama de LEDs ativa. No estado 1, o pino é colocado em nível baixo, ativando o relé e, com ele, a segunda trama de LEDs.

Estados 2 e 3 — Ajuste manual da intensidade

```
210          case 2:
211            i=i+5;
212            estado = estado_old;
213           ...
214
215          case  3:
216            i=i-5;
217            estado = estado_old;
```

Nestes estados, a variável i — que representa o valor atual do *duty cycle* do PWM — é incrementada ou decrementada em 5 unidades, respetivamente. Em ambos os casos, a variável estado é imediatamente reposta ao valor anterior, guardado em estado_old, evitando que o sistema permaneça "preso" no estado de incremento/decremento e permitindo que o utilizador prima repetidamente o mesmo botão para ajustar a intensidade em sucessivos incrementos de 5.

Estados 4 e 5 — Ajuste automático da intensidade

```
239          case  4:
240            i += 5;
241            if(i >= PWMMAX)
242               i = PWMMAX;
243            ...
244
245          case  5:
246            i -= 5;
247            if(i <= 0)
248               i = 0;
```

Estes estados implementam um comportamento semelhante aos estados 2 e 3, mas sem reposição imediata da variável estado, o que faz com que o incremento/decremento de 5 unidades se repita a cada iteração do ciclo principal, enquanto o utilizador mantiver este estado ativo — resultando num efeito de subida ou descida contínua e automática da intensidade luminosa, até ser atingido o valor máximo (PWMMAX) ou mínimo (zero), respetivamente.

Estado 6 — Modo automático (LDR e PIR)

Este é o modo mais elaborado do sistema, sendo detalhado em separado na secção 4.2.6, dada a sua complexidade e a integração dos dois sensores do sistema.

4.2.5 Limitação do Duty Cycle Consoante o Número de Tramas Ativas

Independentemente do modo de funcionamento selecionado, o sistema aplica sempre um limite máximo à variável i (*duty cycle* do PWM), que depende do número de tramas de LEDs ativas no momento:

```
344         if(RB==1)
345            PWMMAX = 470;
346         if(RB==0)
347            PWMMAX = 326;
348
349         if(i>=PWMMAX)
350            i=PWMMAX;
351         if(i<=0)
352            i=0;
```

Os valores máximos de *duty cycle* do PWM, definidos no código como 326 (um ramo de LED) e 470 (dois ramos de LED), foram determinados a partir da curva característica tensão-corrente do díodo LED *Golden Dragon Plus* LUW W5AM, disponibilizada no respetivo *datasheet*. Para uma tensão direta típica de 3,20V, a curva do fabricante indica uma corrente aproximada de 700mA por ramo, o que corresponderia teoricamente a 1400mA para os dois ramos em simultâneo. No entanto, uma vez que o conversor de potência utilizado é do tipo SEPIC — cujo comportamento não é linear, como discutido na secção 2.5.2 — estes valores teóricos não são diretamente atingidos na prática.

Por esse motivo, os valores reais de corrente máxima foram confirmados experimentalmente, com recurso a um multímetro, medindo a corrente à saída do conversor para diferentes valores de *duty cycle*, até se identificarem os valores máximos seguros de funcionamento: 326 para um ramo de LED e 470 para os dois ramos. Estes valores foram posteriormente codificados no *firmware* como limite superior do *PWM* em cada modo, sendo aplicados de forma transversal a todos os estados de funcionamento do sistema, evitando que qualquer modo (manual, automático ou reativo aos sensores) force uma corrente excessiva nos LEDs.

4.2.6 Modo Automático: Leitura de LDR e PIR

O estado 6 implementa o modo de funcionamento automático do candeeiro, combinando as leituras dos sensores LDR e PIR para decidir se a iluminação deve ou não ser ativada, e com que intensidade.

A lógica completa deste modo encontra-se representada no fluxograma da **Figura 32** (Anexos).

```
285             leitura = 0;
286             for (j=1;j<=10;++j)
287             {
288             set_adc_channel(1);
289             delay_us(100);
290             leitura =leitura + read_adc();
291             }
292             leitura=leitura/10;
```

A leitura do sensor LDR não é feita através de uma única amostra, mas sim através da média de dez leituras sucessivas do canal AN1 do conversor analógico-digital, com um pequeno intervalo de 100µs entre cada uma. Esta técnica de amostragem múltipla é comum em sistemas embutidos para reduzir o efeito de ruído elétrico ou oscilações momentâneas na leitura de um sensor analógico, resultando numa medição mais estável da luminosidade ambiente.

```
306             PWMMAX = leitura - 300;
307             movimento = input(PIR);
308
309             if(PWMMAX <= 0) {
310                i = 0;
311             }
312             else if(movimento == 1) {
313                i = PWMMAX;
314             }
315             else {
316                i = 0;
317             }
```

A partir do valor médio lido (leitura), calcula-se um valor de referência PWMMAX = leitura - 300, que funciona como uma estimativa da intensidade luminosa necessária, proporcional à escuridão do ambiente: quanto mais escuro o ambiente (maior o valor lido pelo ADC, uma vez que a resistência do LDR aumenta na ausência de luz), maior este valor. O deslocamento de 300 unidades funciona como um limiar (*threshold*), correspondendo ao nível de luminosidade ambiente a partir do qual se considera que já não é necessária iluminação artificial. O valor de 300 não foi definido a priori, tendo resultado de um processo de calibração experimental iterativo, detalhado na secção 4.4.

De seguida, é lido o estado do sensor PIR, e a decisão final segue uma lógica de três condições: se o ambiente está suficientemente iluminado (PWMMAX <= 0), o candeeiro permanece apagado, independentemente de existir ou não movimento; caso contrário — ou seja, em ambiente escuro — o candeeiro acende-se, com uma intensidade i igual ao valor calculado, apenas se for detetado movimento; na ausência de movimento, mesmo em ambiente escuro, o candeeiro mantém-se apagado, evitando consumo desnecessário de energia quando não existe ninguém no espaço.

É importante notar que este valor de PWMMAX, calculado a partir da leitura do LDR, é posteriormente sobreposto pela lógica de limitação descrita na secção 4.2.5 (baseada no número de tramas ativas), que é aplicada de forma incondicional após a estrutura switch. Na prática, isto significa que, em condições de escuridão muito acentuada — em que o valor calculado a partir do LDR poderia ultrapassar os limites de 326 ou 470 — o sistema aplica sempre o limite de segurança correspondente ao número de tramas ativas, garantindo que a corrente nos LEDs nunca excede o valor validado experimentalmente, mesmo no modo automático.

4.3 Testes e Resultados

4.3.1 Metodologia de Teste

Os testes ao sistema foram realizados de forma incremental, à medida que cada modo de funcionamento era implementado no código, seguindo a metodologia de desenvolvimento iterativo já referida na secção 4.1. Após a implementação de cada case, o seu funcionamento era verificado diretamente na montagem física do sistema, confirmando-se a correspondência entre o comando enviado pela aplicação Android, a resposta visível no visor LCD, e o comportamento observado nos LEDs.

4.3.2 Resultados por Modo de Funcionamento

Nos estados 0 e 1 (seleção de uma ou duas tramas de LEDs), verificou-se, após a implementação, que o valor do *duty cycle* aplicado não ultrapassava os limites de segurança definidos (326 e 470, respetivamente, secção 4.2.5), confirmando a validade prática dos valores obtidos experimentalmente com o multímetro.

Nos estados 2 a 5 (ajuste manual e automático da intensidade luminosa), confirmou-se visualmente, através do LCD e da observação direta dos LEDs, que a intensidade luminosa aumentava e diminuía de forma consistente com o comando enviado, respeitando os limites mínimo (0) e máximo (PWMMAX) estabelecidos no código.

O sensor PIR foi testado exclusivamente a curtas distâncias, confirmando-se a deteção de movimento de objetos ou pessoas próximas do sensor; não foi avaliado o comportamento do sensor a distâncias maiores, nem determinado o seu alcance máximo de deteção.

O sensor LDR foi o componente que exigiu maior esforço de calibração e teste, dada a necessidade de ajustar a resposta do sistema às condições reais de luminosidade do ambiente. Este processo, incluindo as dificuldades encontradas, é discutido em detalhe na secção 4.4.

De igual forma, não foi avaliado ou testado o alcance efetivo da ligação Bluetooth entre a aplicação Android e o módulo HC-05, tendo o sistema sido testado e utilizado sempre a curta distância entre o dispositivo móvel e o candeeiro.

4.3.3 Registo Visual

A Figura apresenta o visor LCD do sistema em funcionamento no modo automático (estado 6), evidenciando a leitura do sensor LDR (valor 725) e o respetivo estado do sistema.

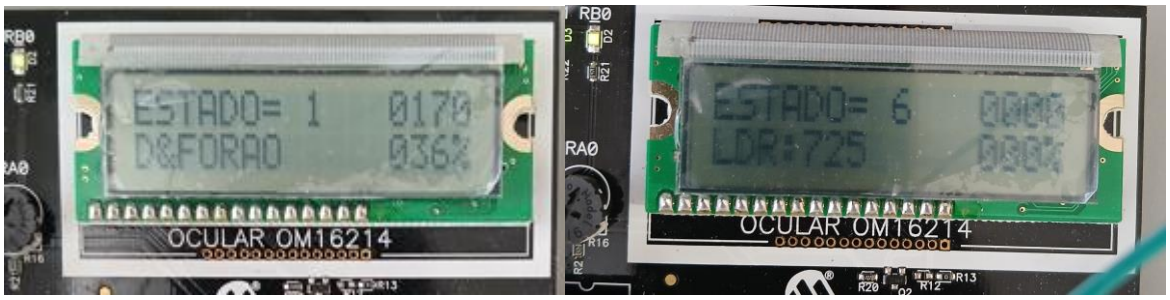


Figura 28 - Visor LCD em funcionamento

4.4 Dificuldades e Problemas Encontrados Durante o Desenvolvimento

Ao longo do desenvolvimento do sistema, a maior dificuldade encontrada esteve relacionada com a calibração do sensor LDR no modo de funcionamento automático (estado 6), tendo este processo passado por duas abordagens sucessivas.

Numa primeira abordagem, a calibração baseou-se em medições de tensão realizadas com multímetro à saída do circuito divisor do LDR, em condições de escuridão e de luz média, tendo-se obtido os valores de 0,4V e 1,6V, respetivamente. Estes valores foram convertidos para a escala do conversor

analógico-digital de 10 bits do PIC18F4431 (0 a 1023, para uma referência de 5V), correspondendo aproximadamente a 82 e 327. Com base nestes valores, foi implementada uma lógica de limiares fixos:

```
395         if(leitura < 82) {          // ESCURO (<0.4V)
396             i = 327;                  // luz forte
397          }
398          else if(leitura >= 327) {    // CLARO (<1.6V)
399             i = 82;                   // luz média
400          }
```

Esta primeira abordagem não se traduziu, no entanto, num comportamento correto do candeeiro: os LEDs não respondiam de forma consistente às condições reais de luminosidade do ambiente. Verificou-se que os valores obtidos através de uma medição pontual de tensão não refletiam adequadamente a gama de valores que o próprio conversor analógico-digital do sistema devolvia em condições reais de funcionamento.

Foi então adotada uma abordagem, baseada na observação direta dos valores apresentados no visor LCD do sistema em condições reais de utilização: observou-se uma leitura próxima de 300 em ambiente com luz e próxima de 600 em ambiente escuro. A partir destes valores — observados diretamente no sistema em funcionamento — foi definida uma nova lógica, baseada não em limiares fixos, mas numa relação proporcional contínua entre a leitura do LDR e a intensidade a aplicar (secção 4.2.6):

```
377             PWMMAX = leitura - 300; // calcula o máximo baseado na luz
```

Neste caso, o valor de 300 corresponde à leitura de referência observada em condições de luminosidade suficiente, funcionando como o ponto a partir do qual o sistema considera que já não é necessária iluminação artificial. Esta segunda abordagem revelou-se mais robusta, ao permitir uma resposta gradual e proporcional à luminosidade real do ambiente, em vez de uma comutação abrupta entre apenas dois níveis fixos.

4.5 Síntese do Capítulo

Neste capítulo foi detalhada a implementação do sistema de candeeiro inteligente a LED, começando pelo ambiente e ferramentas de desenvolvimento utilizadas — o compilador CCS C e o programador PICkit 2 — e seguindo-se uma análise pormenorizada do código-fonte desenvolvido, desde a inicialização dos periféricos do microcontrolador até à lógica de cada um dos sete modos de funcionamento implementados, incluindo o mecanismo de limitação do *duty cycle*

do PWM consoante o número de tramas de LEDs ativas, validado experimentalmente com recurso a um multímetro.

Foram ainda apresentados os testes realizados a cada modo de funcionamento, bem como as principais dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento, com destaque para o processo de calibração experimental do sensor LDR no modo de funcionamento automático, que constituiu o maior desafio técnico do projeto.

O capítulo seguinte apresenta as conclusões finais do trabalho, avaliando o grau de cumprimento dos objetivos inicialmente propostos e identificando possíveis linhas de desenvolvimento futuro para o sistema.

Capítulo 5 – Conclusões

5.1 Avaliação dos Objetivos

Concluído o desenvolvimento do sistema, é possível afirmar que todos os objetivos específicos definidos na secção 1.3 foram integralmente alcançados.

O microcontrolador PIC18F4431 foi programado com sucesso para controlar a intensidade luminosa dos LEDs através de um sinal PWM, tendo sido estabelecida a comunicação sem fios com um dispositivo móvel através do módulo Bluetooth HC-05, e configurada a aplicação Android Serial Bluetooth Terminal para o envio dos comandos de controlo, através de macros associadas aos diferentes modos de funcionamento do sistema.

Foram implementados com sucesso os modos de ajuste manual da intensidade luminosa, em incrementos e decrementos de 5%, bem como os modos de ajuste automático, com subida ou descida contínua até aos valores máximo e mínimo definidos. Os sensores LDR e PIR foram integrados no sistema, permitindo um modo de funcionamento totalmente automático, no qual a iluminação é ativada apenas em condições de escuridão e na presença de movimento, tal como definido no objetivo inicial. Por fim, o visor LCD apresenta, em tempo real, o estado do sistema, o modo de funcionamento ativo, o valor do *duty cycle* do PWM e a respetiva percentagem de intensidade luminosa.

Para além do cumprimento destes objetivos, o desenvolvimento do projeto permitiu ainda um resultado adicional relevante: a compreensão do funcionamento do conversor SEPIC utilizado no estágio de potência do sistema. O verdadeiro desafio consistiu em compreender em profundidade o seu princípio de funcionamento — nomeadamente o papel do condensador de acoplamento na transferência de energia entre os dois indutores, e a relação entre esta topologia e a necessidade prática de ajustar a tensão de alimentação disponível (19V) à tensão requerida pelos LEDs. Este aprofundamento teórico, complementar ao trabalho prático de montagem e programação, contribuiu significativamente para a compreensão global do sistema desenvolvido.

5.2 Trabalho Futuro

Como possível linha de desenvolvimento futuro, poderia considerar-se a conceção de uma placa de circuito impresso (PCB) própria para o sistema, em substituição das *protoboards* utilizadas na presente implementação. Esta opção traria vantagens ao nível da fiabilidade das ligações e da compactação física do sistema; no entanto, importa notar que a utilização de *protoboards* permitiu um desenvolvimento mais ágil e iterativo do projeto, facilitando a introdução de alterações e correções ao longo do processo — pelo que a decisão de avançar para uma PCB dependeria de um balanço entre estas vantagens e o tempo adicional que a sua conceção implicaria.

5.3 Considerações Finais

O desenvolvimento do candeeiro inteligente a LED permitiu consolidar, de forma prática, um conjunto alargado de competências fundamentais da Engenharia Eletrotécnica e das Telecomunicações — desde a programação de microcontroladores e a comunicação série sem fios, até à eletrónica de potência e à interpretação de *datasheets* de componentes reais.

Tal como referido na motivação do trabalho (secção 1.2), o processo de desenvolvimento seguiu uma abordagem iterativa, em que a programação e a montagem física do sistema evoluíram em paralelo, com os erros e dificuldades encontrados — nomeadamente a calibração do sensor LDR — a serem resolvidos através de testes sucessivos e ajuste experimental. Este processo revelou-se tão importante para a aprendizagem dos autores quanto o resultado obtido, uma vez que exigiu a aplicação prática de conhecimentos teóricos a um sistema real, com todas as limitações e imprevistos que isso implica.

De destacar ainda a identificação e compreensão da topologia de conversão SEPIC utilizada no estágio de potência do sistema, cujo aprofundamento teórico permitiu não só justificar tecnicamente as escolhas feitas na fase de conceção do circuito, como também compreender de forma mais completa o funcionamento do sistema desenvolvido.

Considera-se, assim, que os objetivos propostos para o presente trabalho foram cumpridos com sucesso, tendo o projeto contribuído de forma significativa para a formação técnica e prática dos autores.

Bibliografia

[1] PARLAMENTO EUROPEU, “Eficiência energética. Fichas Temáticas sobre a União Europei,” [Online]. Available: https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/69/efficjenza-energetika. [Acedido em 1 Agosto 2026].

[2] DIREÇÃO-GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA, “Iluminação,” [Online]. Available: https://www.dgeg.gov.pt/pt/areassetoriais/energia/eficiencia-energetica/iluminacao-conteudo/ . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[3] KOSTENHAUS, “Sistema de iluminação residencial inteligente: como,” 2025. [Online]. Available: https://www.kostenhaus.com.br/artigo/sistema-controle-iluminacao-residencial . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[4] ACCORD ILUMINAÇÃO, “Iluminação inteligente: dicas para usar automação,” 2024. [Online]. Available: https://blog.accordiluminacao.com/iluminacao-inteligente/. [Acedido em 1 Agosto 2026].

[5] O ELECTRICISTA, “Automação residencial e iluminação LED inteligente:,” 2025. [Online]. Available: https://www.oelectricista.pt/automacao-residencial-e-iluminacaoled-inteligente/ . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[6] WIKIPÉDIA, “Microcontrolador PIC,” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador_PIC . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[7] PCBASIC, “Microcontroladores PIC: Arquitetura, Recursos e Aplicações,” [Online]. Available: https://www.pcbasic.com/pt/blog/pic_microcontroller.html . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[8] ELETRONWORLD, “Microcontroladores PIC,” 2022. [Online]. Available: https://eletronworld.com.br/microcontroladores-pic-introducao/ . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[9] FVML, “Módulo Bluetooth HC-05 - Características e Especificações.,” 2023. [Online]. Available: https://www.fvml.com.br/2023/04/modulo-bluetooth-hc-05-caracteristicas.html . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[10] ELETRÔNICA CUIABÁ, “Módulo Bluetooth HC-05 [em linha],” [Online]. Available: https://www.eletronicacuiaba.com/modulo-bluetoothhc-05 . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[11] ARANACORP, “Arduino e o Módulo Bluetooth HC-05,” 2021. [Online]. Available: https://www.aranacorp.com/pt/arduino-e-omodulo-bluetooth-hc-

05/amp/. [Acedido em 1 Agosto 2026].

[12] | MANUAIS TÉCNICOS, “Módulo Bluetooth HC-05,” [Online]. Available: https://manuais.trincabotz.com.br/eletronica/modulobluetooth-hc-05 . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[13] | CLUBE DO MAKER, “O que é PWM (Pulse-Width-Modulation)?,” 2026. [Online]. Available: https://clubedomaker.com/o-que-e-pwm-pulse-width-modulation . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[14] | USINAINFO, “O que é PWM e como funciona no Arduino,” 2026. [Online]. Available: https://www.usinainfo.com.br/blog/o-que-epwm-e-como-funciona-no-arduino/ . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[15] | LIGADOS À CORRENTE, “Modulação por Largura de Impulso (PWM),” [Online]. Available: https://www.profelectro.info/modulacao-por-largura-de-impulso-pwm-parte-34/ . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[16] | MAKERHERO, “Conversor de tensão DC-DC: Entenda como funciona,” 2024. [Online]. Available: https://www.makerhero.com/blog/como-funciona-um-conversor-de-tensao-dc-dc/ . [Acedido em 16 Agosto 2026].

[17] | LRI AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, “Como Funciona um Conversor DC/DC,” 2024. [Online]. Available: https://blog.lri.com.br/como-funciona-um-conversor-dc-dc-tipo-buck/ . [Acedido em 16 Agosto 2026].

[18] | CURTO CIRCUITO, “O que é o Conversor DC/DC e os tipos de Conversores,” 2022. [Online]. Available: https://curtocircuito.com.br/blog/conversor-dcdc/introducao-aos-conversores-dc-dc . [Acedido em 16 Agosto 2026].

[19] | FONTE CHAVEADA, “Conversores SEPIC,” 2025. [Online]. Available: https://fontechaveada.com/conversores-sepic/ . [Acedido em 16 Agosto 2026].

[20] | WIKIPÉDIA, “Conversor CC/CC,” 2023. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Conversor_CC/CC. [Acedido em 20 Agosto 2026].

[21] | PCBMAY, “Diagrama de pinagem de transistores: um guia completo,” 2025. [Online]. Available: https://www.pcbmay.com/pt/pinagem-do-transistor/ . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[22] | MAKERHERO, “MOSFET: o que é, como funciona e quais são suas aplicações,” 2026. [Online]. Available: https://www.makerhero.com/blog/mosfet-o-que-e-como-funciona-e-quais-saosuas-aplicacoes/ . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[23] | NEWTON C. BRAGA, “Curso de Eletrônica de Potência – Parte 4 – MOSFETs de Potência,” [Online]. Available: https://www.newtoncbraga.com.br/eletronica-de-potencia/15366-curso-

deeletronica-de-potencia-parte-4-mosfets-de-potencia-cur3004.html . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[24] PCBASIC, “O que é um relé e como funciona um relé,” [Online]. Available: https://www.pcbasic.com/pt/blog/how_does_a_relay_work.html. [Acedido em 1 Agosto 2026].

[25] NEWTON C. BRAGA, “Tudo Sobre Relés,” [Online]. Available: https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/comofunciona/597-como-funcionam-os-reles . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[26] LOJA PM, “Porque Preciso de um Díodo em Paralelo Inverso (Flyback) com Relés, Solenóides e Motores? O Guia Completo,” 2026. [Online]. Available: https://www.lojapm.pt/post/porque-preciso-de-umdiodo-em-paralelo-inverso-flyback-com-reles-solenoides-e-motores-o-guiacompleto . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[27] WIKIPÉDIA, “LDR,” 2024. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/LDR . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[28] PCBASIC, “O que é LDR (Resistor Dependente de Luz)?,” 2025. [Online]. Available: https://www.pcbasic.com/pt/blog/what_is_ldr.html . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[29] MANUAL DA ELETRÔNICA, “LDR – O que é e como funciona!,” [Online]. Available: https://www.manualdaeletronica.com.br/ldro-que-e-como-funciona/ . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[30] PCBASIC, “Sensor PIR: Um guia completo sobre seu significado, princípio de funcionamento, design e aplicação,” [Online]. Available: https://www.pcbasic.com/pt/blog/pir_sensor.html . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[31] MODESTO DISTRIBUIDORA, “Sensores Passivos - Alarmes - Segurança,” [Online]. Available: https://modestodistribuidora.com.br/seguranca-residencial-eempresarial/alarmes/sensores-passivos . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[32] NOVA ELETRÔNICA, “O que é sensor PIR - Sensor Infravermelho passivo,” 2013. [Online]. Available: https://blog.novaeletronica.com.br/sensor-pir-sensor-infravermelho-passivo/ . [Acedido em 1 Agosto 2026].

[33] OSRAM GmbH, “LUW-W5AM Datasheet,” 16 Dezembro 2015. [Online]. Available: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1048681/OSRAM/LUW-W5AM.html. [Acedido em 9 Março 2026].

[34] GOOGLE PLAY, “Serial Bluetooth Terminal, de Kai Morich,” [Online]. Available:

https://play.google.com/store/apps/details?id=de.kai_morich.serial_bluetooth_terminal. [Acedido em 22 Agosto 2026].

[35] SOCKETXP, “ESP32 vs Arduino, STM32, Raspberry Pi Pico & nRF52:,” 2025. [Online]. Available: https://www.socketxp.com/iot/esp32-vs-arduino-stm32-raspberry-pi-pico-nrf52-best-iot-microcontroller/. [Acedido em 1 Agosto 2026].

Anexos

Esquema Elétrico Do Candeeiro Inteligente

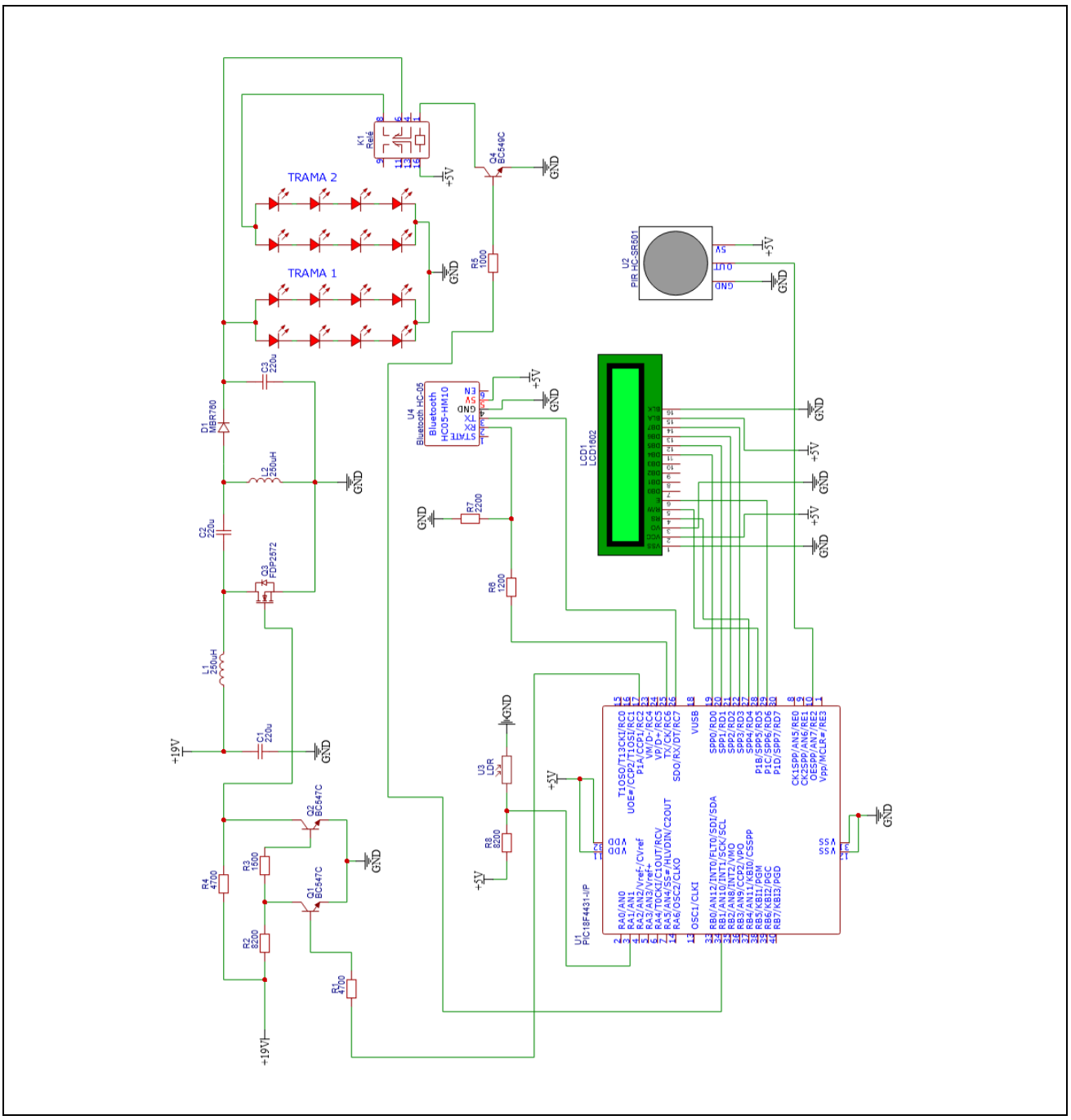


Figura 29 - Esquema Elétrico do Candeeiro Inteligente

Fluxograma Geral do Sistema

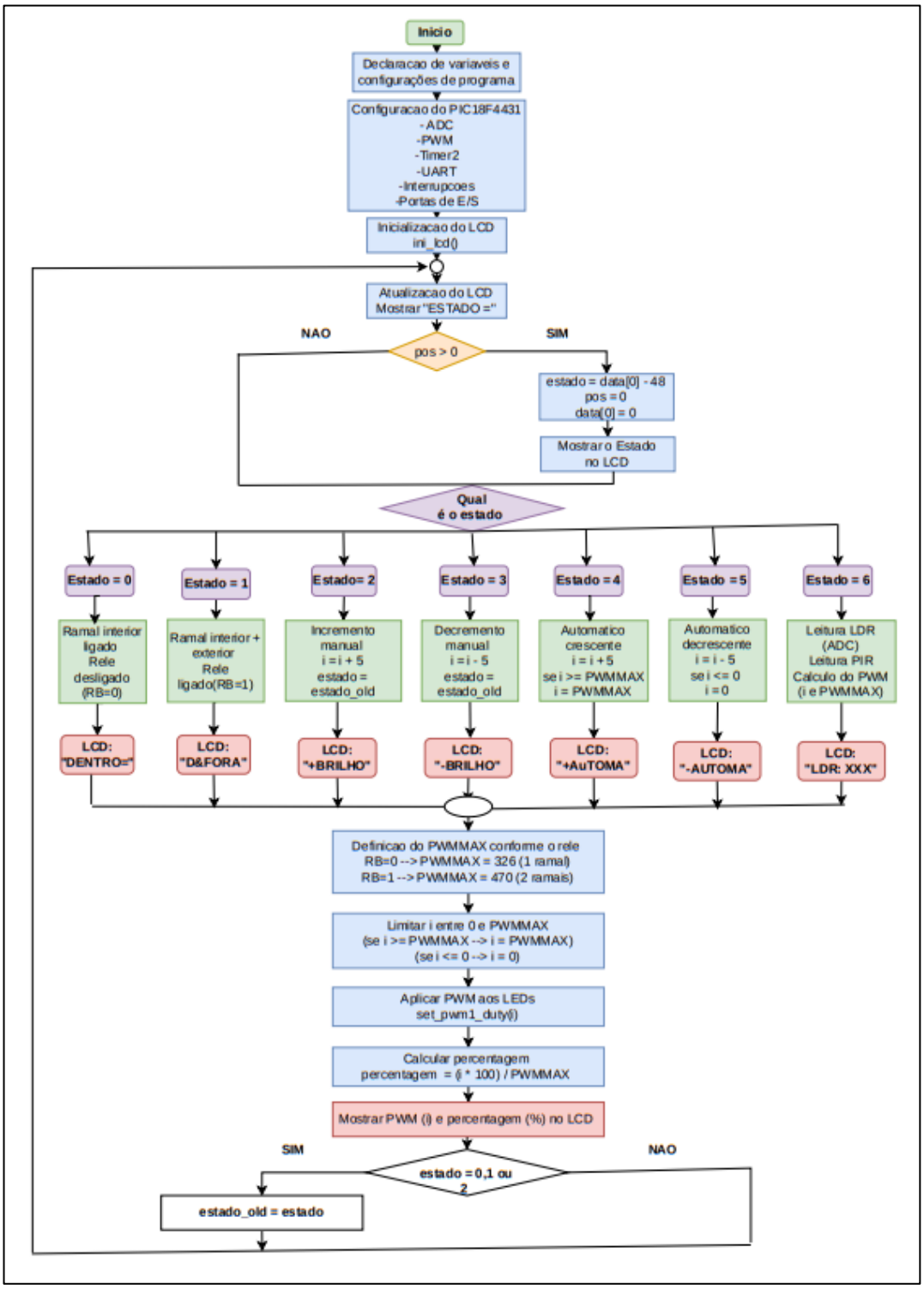


Figura 30 - Fluxograma Geral do Sistema

Fluxograma da interrupção de receção Bluetooth

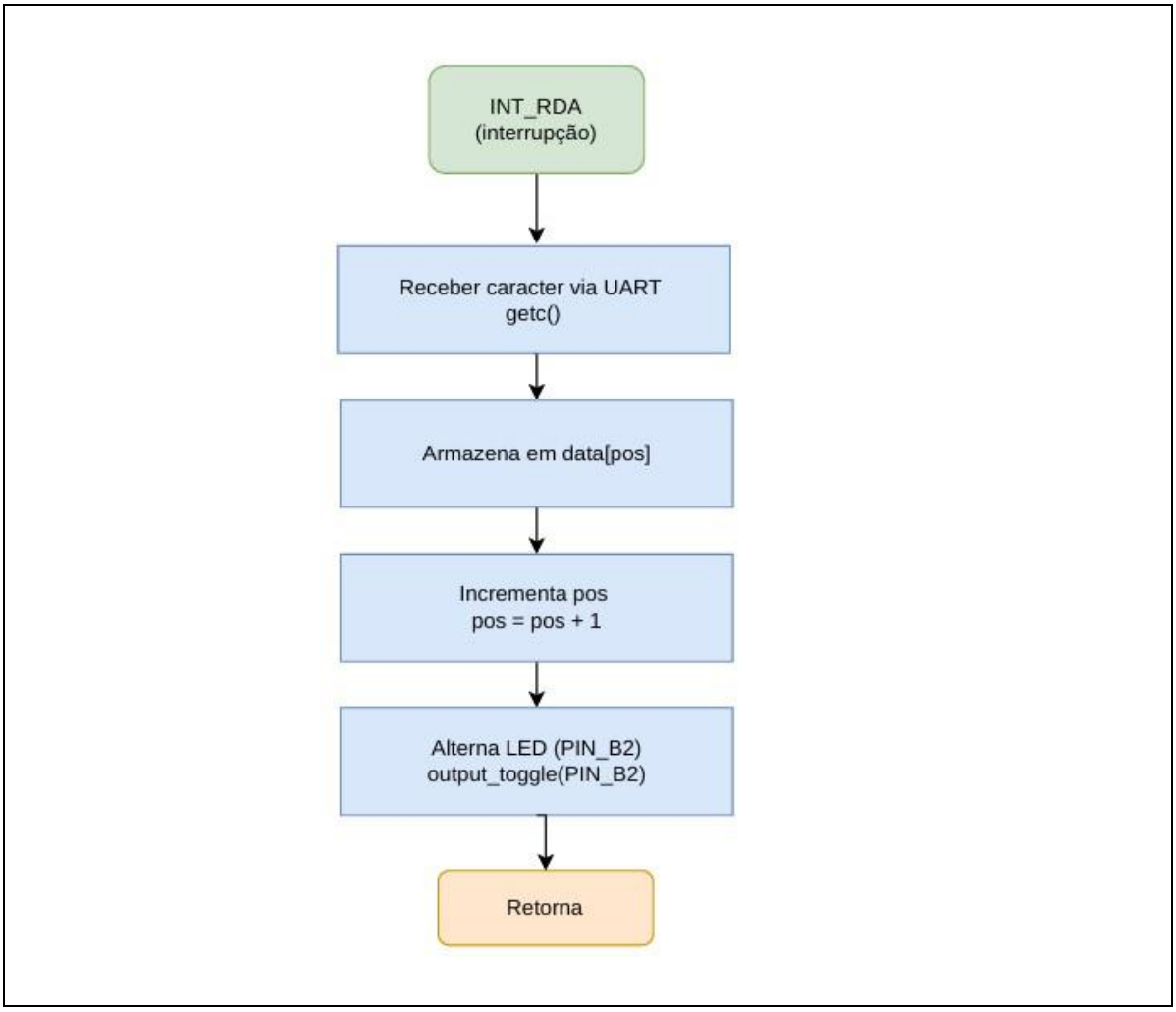


Figura 31 - Fluxograma da interrupção de receção Bluetooth

Fluxograma do Controlo Automático (LDR & PIR)

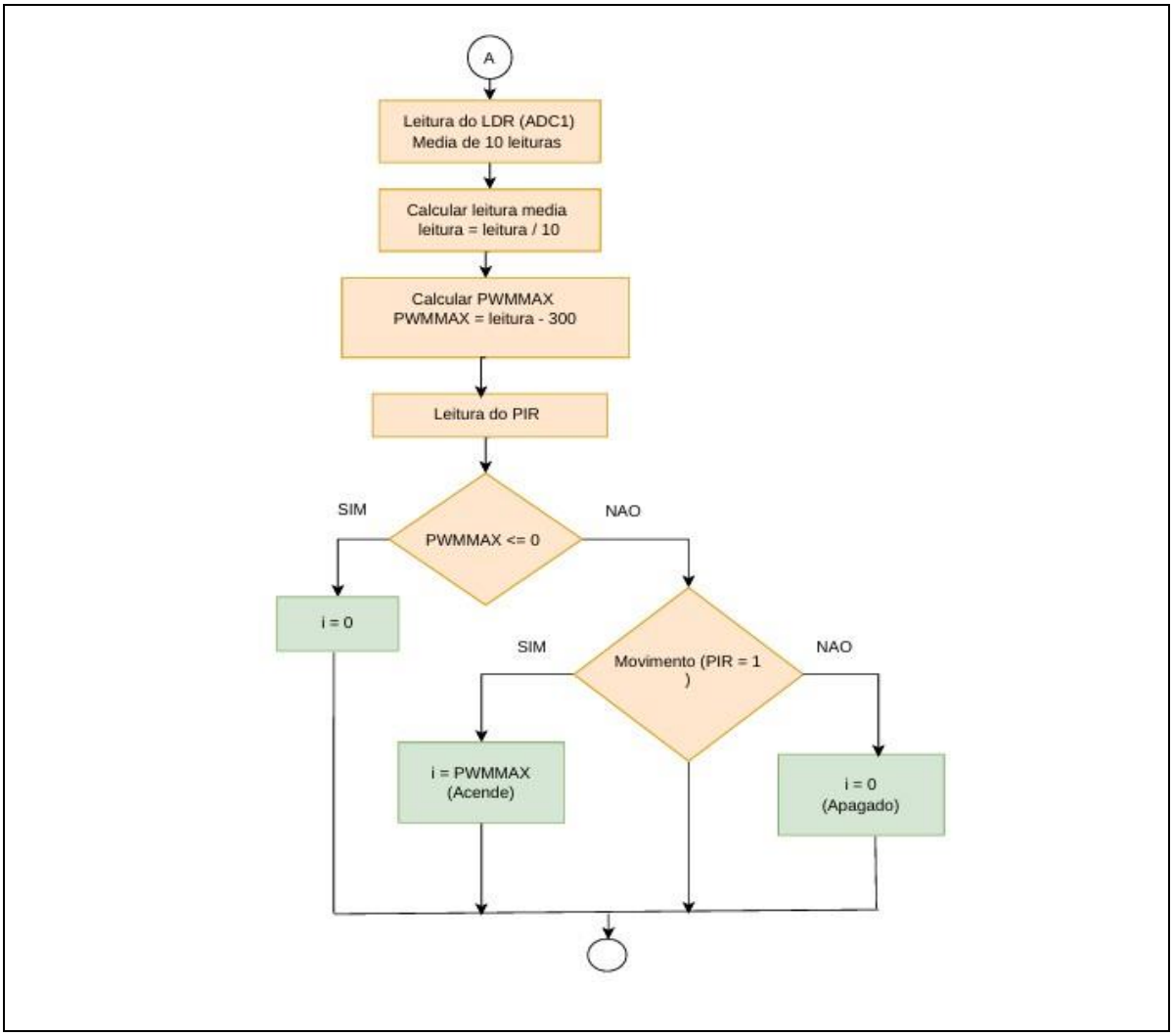


Figura 32 - Fluxograma do Controlo Automático (LDR & PIR)

Fluxograma dos Estados de funcionamento de 0-5

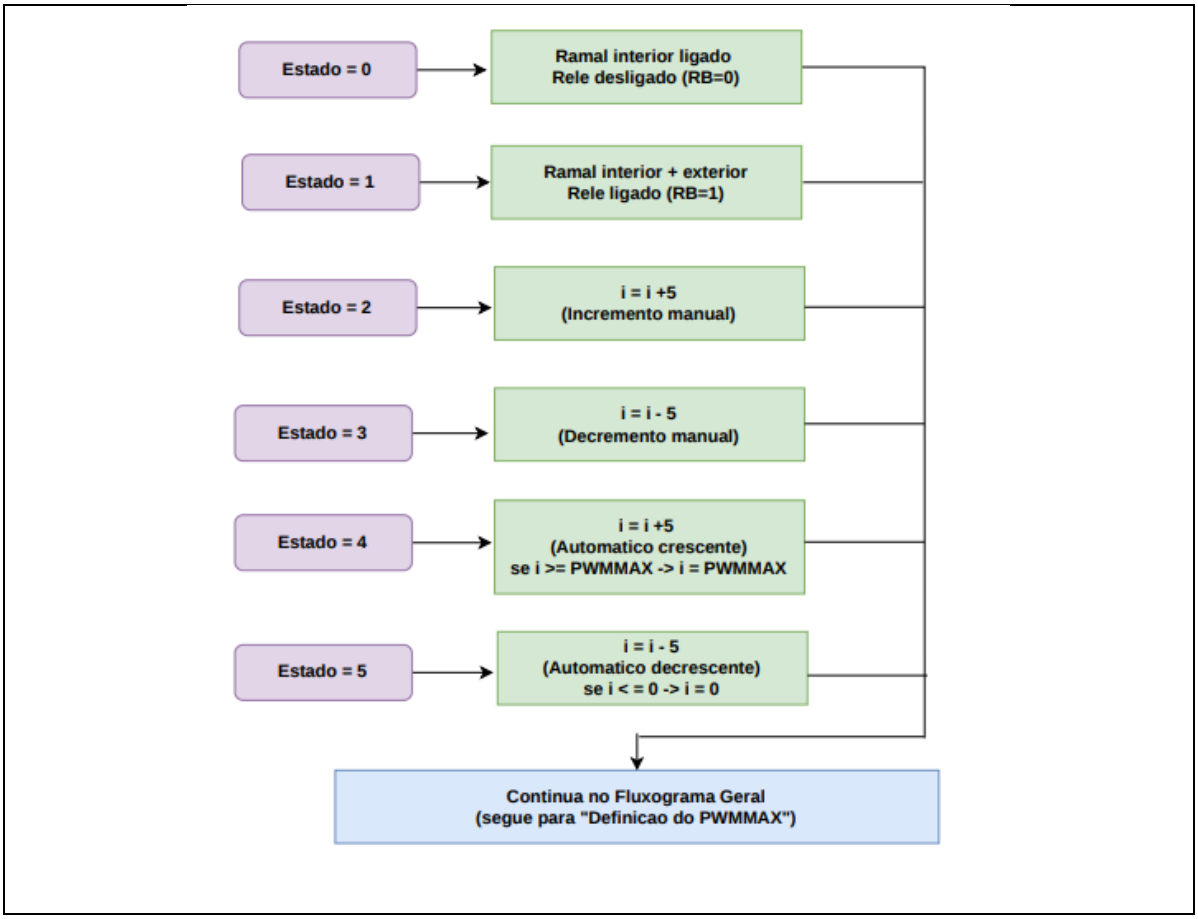


Figura 33 - Fluxograma dos Estados de funcionamento de 0-5

Esquema elétrico da Placa de Desenvolvimento

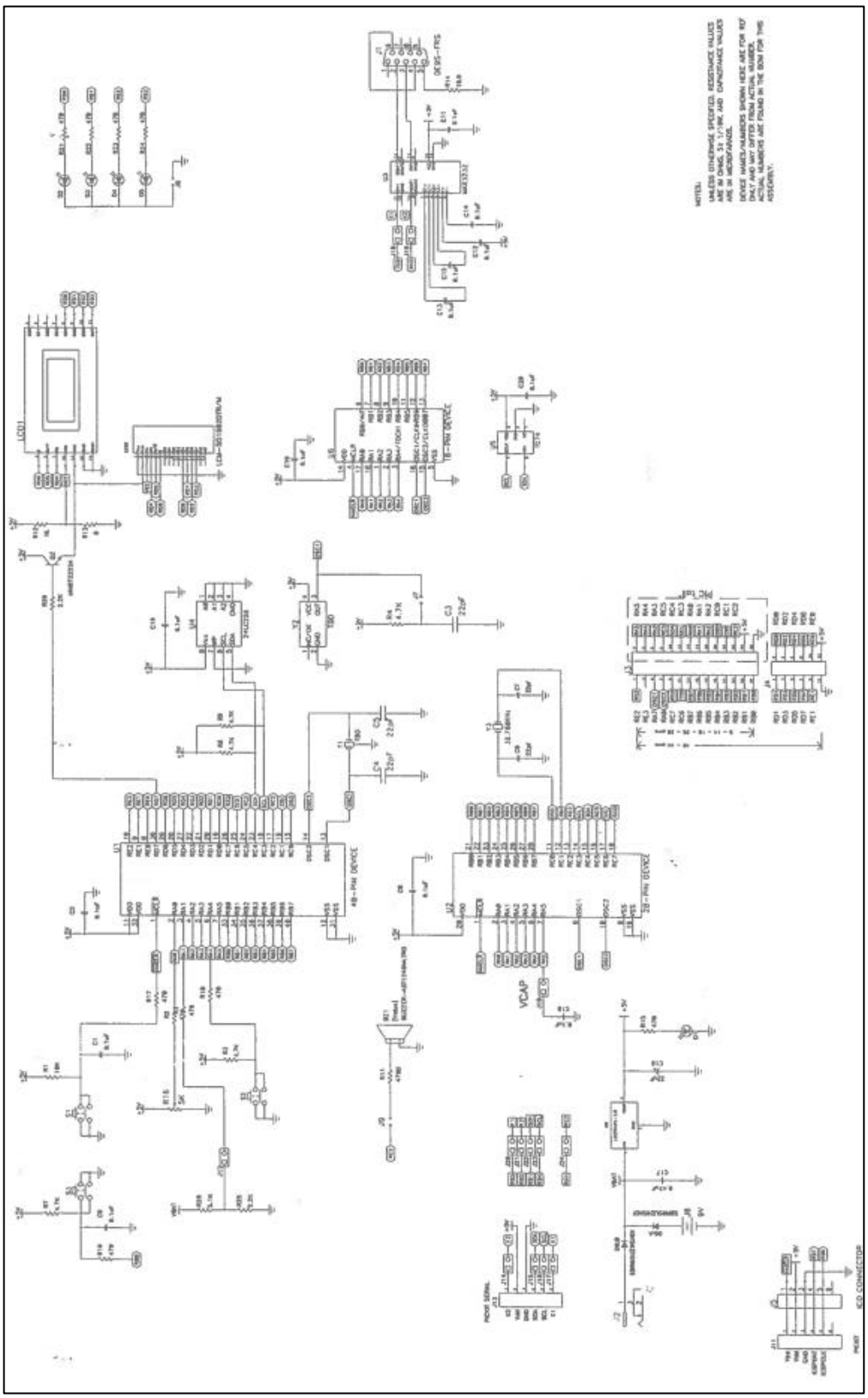


Figura 34 - Esquema elétrico da Placa de Desenvolvimento