



Henrique Costa

**Plataforma inteligente para Sistemas de Iluminação
Pública**



Henrique Costa

Plataforma inteligente para Sistemas de Iluminação Pública

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Doutor Luis Filipe Mesquita Nero Moreira Alves (orientador), Professor Auxiliar do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, e do Doutor João Paulo Silva Barraca (coorientador), Professor Assistente Convidado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

Dedicatória

Para os meus pais, Ana e Gaspar.

Para a minha irmã, Liliana.

Para uma tia especial, Tia Gracinda.

Para todos os meus amigos.

o júri / the jury

presidente / president

Professor Doutor Rui Luís Andrade Aguiar

Professor Associado C/ Agregação, Universidade de Aveiro

vogais / examiners committee

Professor Doutor Luis Filipe Mesquita Nero Moreira Alves

Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro (orientador)

Professor Doutor Nuno José de Abreu e Sousa Cabete Gil

Professor Adjunto, Dep. de Eng^a Electrotécnica da Esc. Sup. de Tecnologia e Gestão do Inst. Politécnico de Leiria

agradecimentos

Porque sozinho nunca conseguiria finalizar este trabalho, é com todo o gosto que faço uso desta secção como forma de agradecimento a todos aqueles que, direta ou indiretamente, me permitiram finalizá-lo.

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus orientadores, o Professor Doutor Luís Filipe Mesquita Nero Moreira Alves e o Professor Doutor João Paulo Silva Barraca, pela disponibilidade e apoio constantes, mas acima de tudo pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro e ao Instituto de Telecomunicações de Aveiro, pelos meios disponibilizados, mas especialmente a todo o pessoal destas instituições que sempre despenderam amavelmente o seu tempo para me ajudar. Agradeço também a todos os meus colegas do Laboratório de Circuitos e Sistemas Integrados, pelo constante companheirismo e bom ambiente.

Quero também agradecer ao Engenheiro José Manuel Freitas Cardoso, pela disponibilidade oferecida para me responder a algumas dúvidas e pela bibliografia disponibilizada. Como não podia deixar de ser, agradeço à minha família o apoio incondicional. Em particular aos meus pais o esforço e a esperança depositada em mim e à minha irmã pelo apoio e pelo exemplo. Agradeço a todos os meus amigos que sempre me acompanharam e em particular ao Tiago, Barata, Lindeza, Mister e Manso, que foram pilares importantes nesta construção que agora termina.

Por fim, quero agradecer à Marta o apoio, o carinho, a entrega e a compreensão.

A todos, muito obrigado!

Palavras-chave

Iluminação pública inteligente, eficiência energética, LED (Light Emitting Diode), LITES, sensores, comunicação

Resumo

A presente dissertação aborda a problemática da eficiência energética na Iluminação Pública. Tem como principal objetivo o estudo, desenvolvimento e implementação de alguns módulos para integrarem uma plataforma dotada de alguma “inteligência”, de forma a analisar corretamente as necessidades reais de iluminação e agir em conformidade com essas necessidades.

Esta dissertação insere-se no projeto LITES, que tem como objetivo a implementação piloto, em 3 locais na Europa, de um sistema de iluminação pública inteligente. Dado que a Universidade de Aveiro é um dos membros participantes deste projeto, um dos locais piloto será a Ponte Pedonal do Crasto. Aí o sistema anterior será substituído na sua totalidade pelo sistema inteligente desenvolvido ao abrigo do LITES.

Primeiro, será feita uma abordagem ao estado atual da Iluminação Pública em Portugal, onde se pode verificar que a IP tradicional é uma área onde existem características que podem e devem ser melhoradas. Estas vão desde o seu controlo primitivo, que se resume a ON/OFF, passando pelas tecnologias de iluminação utilizadas, até à inexistência de comunicação e consequente gestão remota.

Segue-se uma análise a tecnologias passíveis de ser utilizadas com a finalidade de obter uma redução do consumo energético. Aqui destaca-se a tecnologia LED (Ligh-Emitting Diode), que é considerada a tecnologia do futuro da iluminação. Ao nível da comunicação, a transmissão de dados através da linha elétrica –PLC (Powerline Communications) ou através de radiofrequência, evidenciando-se o ZigBee, tecnologia que está a conquistar superioridade nas redes de sensores e controlo sem fio. Serão ainda discutidas as características de diferentes sensores passíveis de serem integrados num sistema de IP para obter informações acerca do meio circundante às luminárias.

No final, será feita uma apresentação do sistema global desenvolvido e será feita uma discussão aos resultados após implementação do mesmo. Será então feita uma comparação com o sistema de iluminação instalado anteriormente de modo a confirmar o potencial deste tipo de plataformas no que se refere à eficiência energética da IP.

Keywords

Smart street lighting, energetic efficiency, sensors, LITES, communication, LED (Light-Emitting Diode)

Abstract

This dissertation focuses on questions of energy efficiency in a street lighting system. Its main goal is the study, development and implementation of some modules to be integrated into an intelligent lighting system, which is able to analyse correctly the real need for lighting and act in accordance with those needs.

This dissertation is part of the LITES project, whose main goal is to implement a pilot intelligent lighting system in three different places in Europe. Due to the fact that the University of Aveiro are participant members of this project, one of the sites chosen will be the pedestrian bridge "Ponte do Crasto". There, the previous system will be replaced by the new one, developed under the LITES project.

To this effect there will first be an analysis of the current state of street lighting in Portugal, from which it will become apparent that the traditional street lighting is a system which has many features that can and should be improved. Examples of these include the rather primitive control mechanism, which is basically ON/OFF, as well as the illumination technologies used, and even the absence of communication and consequently of the possibility of remote management.

Next we will examine some technologies that can be used to reduce energy consumption. In this respect we highlight LED technology, which is considered the technology of the future in the field of illumination. We will also look at communication and particularly at data transmitted in power lines (PLC) or by radio frequency, paying particular attention to ZigBee technology, which is becoming the leader in the sensors and control wireless networks. Furthermore, we will look at several types of sensors that can be integrated into a street lighting system to get real-time information about the surroundings.

At the end, the complete system will be presented and there will follow a discussion about the results obtained after its implementation. Finally, a comparison will be made with the previous system, in order to demonstrate the potential of this kind of system to improve energy efficiency.

Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
1 Introdução	1
1.1 Motivação / Enquadramento	2
1.2 Objetivos	4
1.3 Estrutura	4
2 Estado da Arte: Iluminação Pública	5
2.1 Breve História	5
2.2 Tecnologias de iluminação	6
2.2.1 Lâmpadas Iodetos Metálicos	7
2.2.2 Lâmpadas Vapor de Sódio	9
2.2.3 LED - Díodo Emissor de Luz	10
2.2.4 Comparação de Tecnologias	13
2.3 Sistemas de Controlo	13
2.3.1 Unidade de Controlo	14
2.3.2 Arquitetura de Controlo	14
2.3.3 Opções de controlo energético	16
2.4 Regulamentação	16
2.4.1 Esquema Elétrico	17
2.4.2 Requisitos Gerais das Luminárias	17
2.4.3 Principais requisitos: Módulo de LEDs	19
2.4.4 Principais Requisitos: Driver de LEDs	20
2.4.5 Requisitos principais: LED	20
Conclusões	21
3 Sistema: Sistema Inteligente de Iluminação Pública	23
3.1 Sensores	24
3.1.1 Sensores luminosidade ambiente	25
3.1.2 Sensores de Movimento/Presença	26
3.1.3 Sensores de temperatura	30
3.1.4 Sensores de corrente e tensão	31

3.1.5	Sensores climatéricos	32
3.1.6	Sensores de integridade do sistema	32
3.2	Comunicação	33
3.2.1	Tecnologias de Comunicação	33
	Comunicação sem fios: ZigBee	34
	Comunicação com fios: PLC	36
3.3	Gestão Remota	37
	Monitorização	38
	Controlo	38
	Conclusões	39
4	Casos de Estudo	41
4.1	Caso de Estudo I: Protótipo Laboratorial	41
4.1.1	Arquitetura do Protótipo	41
4.1.2	Tecnologias Utilizadas	42
	Unidade de Controlo	42
	Comunicação	43
	Sensores	44
4.1.3	Cenários	44
4.2	Caso de Estudo II: Solução LITES	46
4.2.1	Arquitetura geral do sistema	47
4.2.2	Os diversos módulos em detalhe	48
	Blocos internos à luminária	48
	Blocos externos à luminária	55
	Em suma	59
5	Implementação do LITES	61
5.1	Funcionamento global do sistema	61
5.2	Recolha de dados	64
5.3	Discussão	66
6	Conclusões	67
6.1	Trabalho futuro	67
	Bibliografia	69
	Anexo A - Protótipo laboratorial	71
	Anexo B - Software	73
	Anexo C - PCB's	83

Lista de Figuras

1.1	Terra à noite, em 2008.	1
1.2	Consumo Energético pela Iluminação Pública.	2
1.3	Distribuição típica de custos.[1]	3
2.1	Iluminação Pública em Portugal no Séc. XIX. [2, p. 70].	6
2.2	Comparação da Reprodução de cores entre duas tecnologias de iluminação distintas. [3].	7
2.3	Exemplo de uma lâmpada de iodetos metálicos.[4]	8
2.4	Lâmpadas Vapor de Sódio (Esquerda: Baixa pressão ; Direita: Alta pressão).[4]	9
2.5	LED de alta potência	10
2.6	Estrutura de um LED normal (esquerda) e de um LED de potência (direita).	11
2.7	Influência da Temperatura na eficiência do LED.	11
2.8	Diagrama de um Sistema de Controlo.	14
2.9	Representação de um sistema de controlo autónomo e de um sistema de controlo centralizado.	15
2.10	Luminária com tecnologia LED - aplicação na rede subterrânea	17
2.11	Luminária com tecnologia LED - aplicação na rede aérea	17
2.12	Light Output Ratio.	18
3.1	Diagrama de Blocos de um sistema de Iluminação Pública Inteligente.	23
3.2	Sensores na Iluminação Pública.	24
3.3	Estrutura de um foto-díodo inversamente polarizado.	25
3.4	Foto-resistência.	26
3.5	Funcionamento de um sensor de movimento capacitivo.	27
3.6	Funcionamento de uma solução híbrida (PIR e MW).	28
3.7	Stack do Protocolo de ZigBee.	34
3.8	Rede típica ZigBee.	35
3.9	Topologias numa rede ZigBee.	35
3.10	Comunicação PLC na Iluminação Pública	37
3.11	Gestão remota.	38
4.1	Diagrama de blocos do protótipo laboratorial	42
4.2	Cenários programados no protótipo laboratorial.	45
4.3	Arquitetura geral da solução LITES.	47

4.4	Luminária. (Legenda: 1- Unidade de iluminação; 2- Unidade de controlo e alimentação; 3- Sensor de luminosidade e de movimento; 4- Unidade de monitorização e comunicação; 4.1- Rádio pertencente à unidade 4).	48
4.5	LEDs e difusor.	49
4.6	Funcionamento típico de uma luminária LED com desvanecimento.	50
4.7	Módulo Micas AUTOLIGHTxs.	51
4.8	Diagrama de atuação do sensor de movimento no LED driver.	51
4.9	Elementos que constituem a unidade de monitorização e comunicação.	52
4.10	Sensor de corrente.	52
4.11	Circuito de funcionamento do sensor de corrente.	53
4.12	DHT21 (ou AM2301).	53
4.13	Diagrama de blocos do ADXL345.Fonte [5]	54
4.14	Diagrama de funcionamento do sensor de movimento externo.	56
4.15	Gateway desenvolvida.	57
4.16	Beaglebone Black.	57
4.17	Interface web.	58
5.1	Iluminação da Ponte do Crasto com a solução desenvolvida no projeto LITES.	61
5.2	Esquema global do sistema final.	62
5.3	Tolerância a falhas da topologia de comunicação utilizada.	63
5.4	Dados recolhidos dos sensores, visíveis na interface web.	64
5.5	Visualização dos valores de corrente em todas as luminárias.	66
6.1	Consumo Energético pela Iluminação Pública	71
6.2	Consumo Energético pela Iluminação Pública	72
6.3	PCB para o BeagleBone Black.	83
6.4	PCB para a fonte de alimentação BeagleBone Black.	83
6.5	PCB para o módulo de monitorização e comunicação.	84
6.6	PCB para a fonte de alimentação do módulo de monitorização e comunicação e sensor de movimento externo.	84
6.7	PCB para o sensor de movimento externo (Bottom).	85
6.8	PCB para o sensor de movimento externo (Top).	86
6.9	PCB para o rele.	86

Lista de Tabelas

2.1	Vantagens e desvantagens lâmpadas iodetos metálicos.	8
2.2	Vantagens e desvantagens Lâmpadas de Vapor de Sódio.	10
2.3	Vantagens e desvantagens lâmpadas LED.	12
2.4	Comparação das características das diferentes tecnologias de iluminação.	13
2.5	Valores do rendimento cromático que as luminárias devem cumprir.	18
3.1	Principais vantagens e desvantagens dos sensores de movimento.	29
3.2	Efeito de Seebeck. [6]	30
3.3	Geração de tensão de Seebeck (termopar.) [6]	30
3.4	Vantagens e desvantagens dos sensores de temperatura. [6]	31
3.5	Características PLC.	36
4.1	Principais características do Arduino Nano [7].	43
4.2	Principais características do módulo de LEDs.	49

Capítulo 1

Introdução

A introdução de novas tecnologias na sociedade produz alterações no seu bem-estar e no seu estilo de vida. Embora a iluminação pública já não seja considerada uma nova tecnologia, pois já está enraizada no nosso quotidiano, podemos, no entanto, servir-nos de novas tecnologias e de outras não tão recentes, para criarmos um novo conceito de iluminação pública.

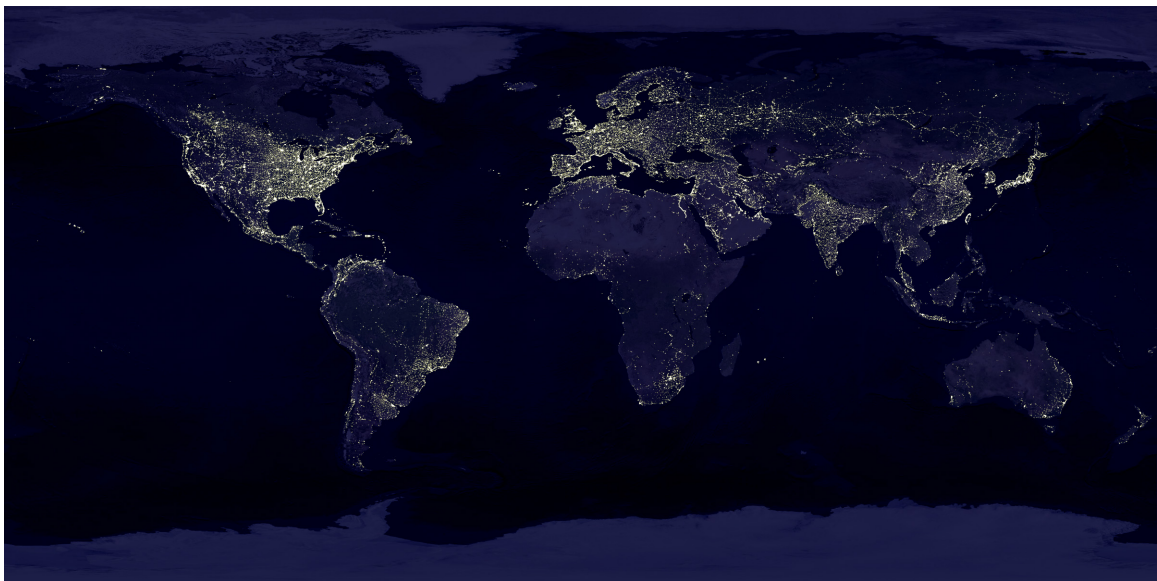


Figura 1.1: Terra à noite, em 2008.

Esta fonte de luz artificial tenta colmatar, de uma forma eficiente a inexistência da iluminação natural, proporcionando-nos a segurança e o conforto que nos são transmitidos por esta. Desta forma, fornece-nos as condições necessárias para a realização de atividades noturnas, sejam elas do fórum cultural, comercial ou do lazer. Por outro lado, a importância desta está também presente ao nível da estética em edifícios e monumentos ou embelezamento paisagístico. Deste modo, a iluminação pública constitui uma enorme rede já implementada, no entanto, num estado primitivo, passível de ser dotada de alguma cooperação e inteligência, que permitirá tornar-la mais eficiente e sustentável.

1.1 Motivação / Enquadramento

Embora a importância da iluminação nas nossas vidas seja indiscutível, esta é responsável pelo consumo de cerca de 20% de toda a eletricidade mundial [8, p. 13]. Em particular, ao nível da Iluminação Pública (IP) em Portugal, esta representa cerca de 3,4%, 1,67 TWh em 2011 [9], sendo que aplicando a tarifa de iluminação pública em vigor [10] nesse ano, corresponde a um gasto de cerca de 170 Milhões de Euros. Para agravar a situação, tal como se pode verificar pelo gráfico representado na Figura 1.2, este valor tem mantido uma tendência para aumentar ao longo dos anos.

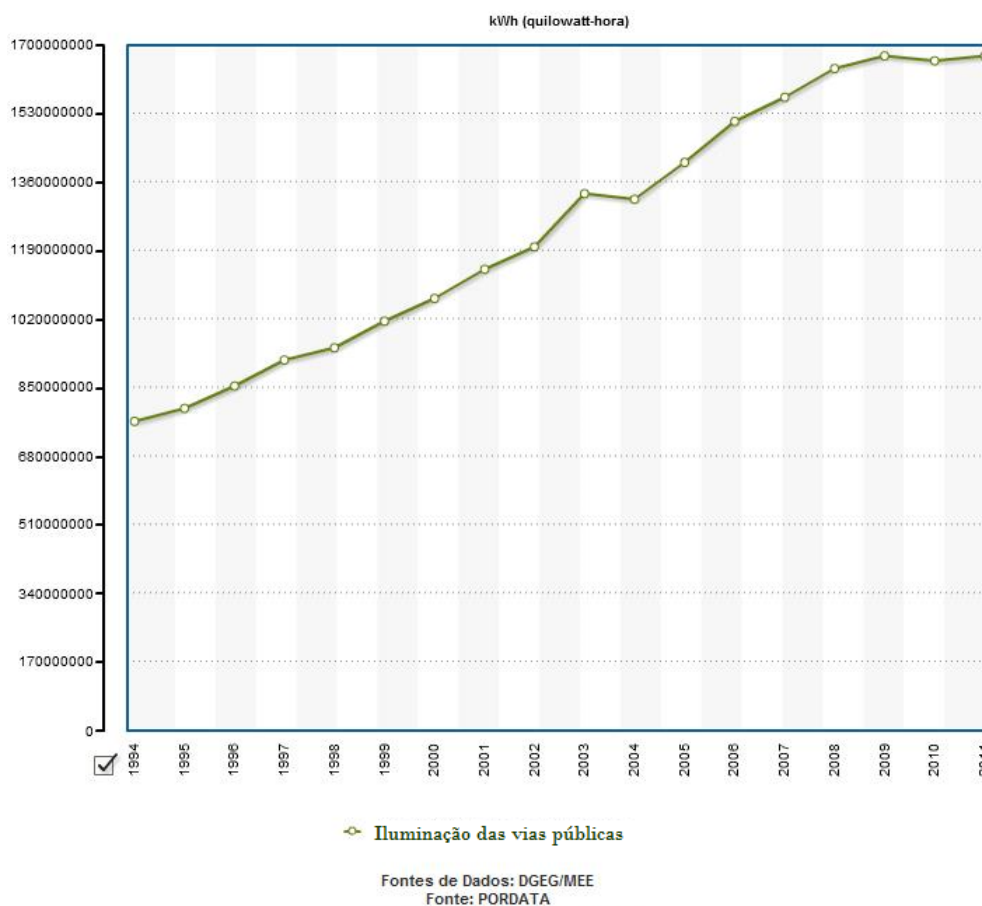


Figura 1.2: Consumo Energético pela Iluminação Pública.

É estimado que a IP seja responsável por cerca de 20 a 40% da fatura de eletricidade das autarquias e, caso não sejam tomadas medidas, prevê-se que este valor se venha a agravar devido à alteração do IVA, que passou a ser taxado a 23% ao invés dos 6% taxados anteriormente, e devido também à extinção da tarifa para a IP desde 1 de Janeiro de 2013. Assim sendo, não haverá diferenciação relativamente ao destino do consumo, especificamente para a Iluminação Pública.

Para além do aspeto financeiro, há ainda que considerar o impacto da IP ao nível ambiental. Na UE o consumo de energia está na origem de 80% das emissões de gases com efeito de estufa [11]. Por conseguinte é necessário reduzir o consumo de energia e apostar nas energias limpas. Neste sentido surge a Estratégia Europeia 20-20-20 para 2020, cujos objetivos são: reduzir em 20% as emissões de gases com efeito de estufa relativamente aos níveis de 1990; 20% da energia consumida seja proveniente de fontes renováveis; e reduzir em 20% o consumo de energia primário relativamente à projeção do consumo para 2020. Para Portugal, foi estabelecido um objetivo geral de redução no consumo primário de 25% e um objetivo específico para a Administração Pública de 30%. Para assegurar a execução destes objetivos foi então criado o Plano Nacional de ação para a Eficiência Energética (PNAEE) [12]. Após analisar estes dados, torna-se evidente que é imperativo a aplicação de medidas que resultem num aumento da eficiência dos sistemas de IP. Desta forma, evitar-se-á medidas arcaicas, que têm vindo a verificar-se em algumas autarquias, como é o caso do desligamento total de luminárias, pondo em causa a segurança dos transeuntes.

No gráfico da Figura 1.3 pode observar-se a distribuição típica dos custos após 25 anos de vida útil de uma rede de IP.

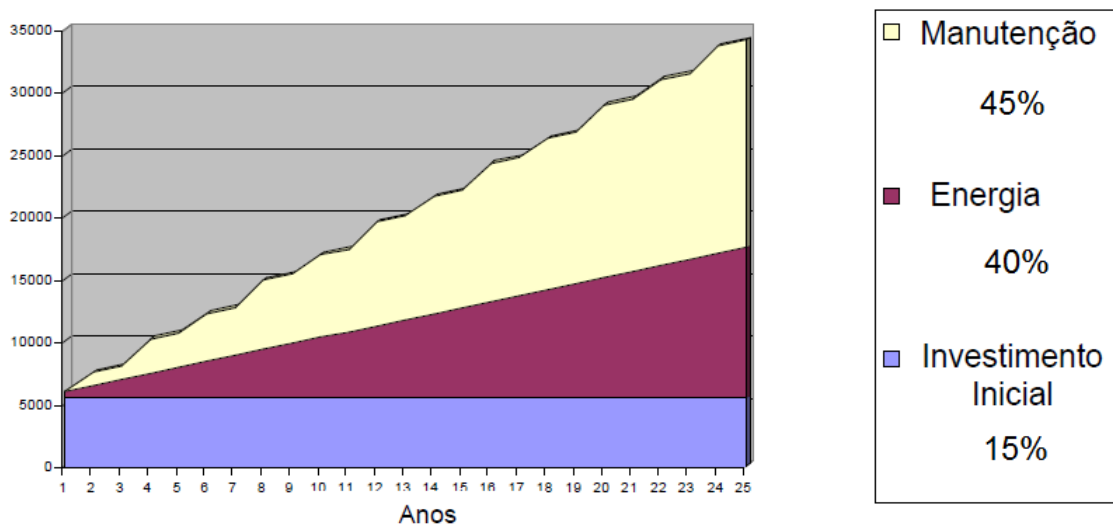


Figura 1.3: Distribuição típica de custos.[1]

A resposta para a redução destes custos pode passar pela evolução dos sistemas de iluminação pública para algo que possua um controlo mais inteligente, aliado à tecnologia LED. Apesar desta solução representar um aumento do custo inicial, irá no entanto provocar uma redução global dos custos, pois os valores de manutenção e do consumo irão ser reduzidos drasticamente. É neste cenário que se enquadra o projeto LITES, projeto Europeu que tem como objetivo primário o desenvolvimento e a produção de um sistema inteligente de IP baseado na tecnologia LED, que seja também compatível com as normas elétricas europeias. É então no âmbito deste projeto que se integra a presente dissertação de mestrado.

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é o estudo e elaboração de módulos para integrar um sistema inteligente de iluminação pública, que atuem principalmente aos níveis da comunicação, controlo e dos sensores. Deste modo, as tarefas propostas são:

- Familiarização com os conceitos de sistemas de iluminação;
- Estudo de arquiteturas para plataformas de controlo de iluminação em sistemas de iluminação pública;
- Definição dos requisitos dos elementos a integrar;
- Optimizar e/ou desenvolver os módulos necessários;
- Implementação de um protótipo experimental;
- Teste e optimização da plataforma;
- Elaboração da dissertação.

1.3 Estrutura

No segundo capítulo são apresentados alguns dados históricos e algumas informações sobre o estado atual da Iluminação Pública em Portugal. Faz-se uma abordagem ao nível das tecnologias de Iluminação e ao nível dos sistemas de controlo. Por fim é apresentada ligeiramente alguma regulamentação no que diz respeito a sistemas de IP com tecnologia LED.

No terceiro capítulo faz-se uma introdução aos sistemas de iluminação pública inteligente, fazendo uma abordagem ao nível sensorial, de comunicação e gestão remota.

No quarto capítulo são apresentados dois casos de estudo, um protótipo laboratorial e a implementação piloto do projeto LITES. São apresentadas as características dos módulos desenvolvidos e dos restantes componentes integrantes do sistema.

No quinto capítulo é apresentado o funcionamento global do sistema, os dados obtidos após a implementação do mesmo e, por fim, é feita uma breve discussão.

Por fim, no sexto e último capítulo são apresentadas as conclusões retiradas após a implementação do sistema. São discutidas as limitações encontradas e possíveis melhoramentos num trabalho futuro. Conclui-se acerca da viabilidade da implementação deste tipo de sistema numa escala mais alargada.

Capítulo 2

Estado da Arte: Iluminação Pública

2.1 Breve História

Há milhares de anos atrás, a única fonte de luz em período noturno era a luz proveniente da Lua. Esse facto foi alterado com a descoberta e domínio daquele que foi posteriormente contemplado na Teoria dos 4 Elementos: o Fogo.

Apesar da sua utilidade em várias actividades, no âmbito do tema desta dissertação, irá apenas destacar-se o uso do Fogo como elemento de iluminação. Esta aplicação foi apreciada por vários povos, sendo que ao longo dos anos o único elemento que mudava no processo era o combustível utilizado.

Embora já não seja o tipo de iluminação dominante, o fogo é empregue com essa finalidade em certos povos que não têm acesso a eletricidade, ou mesmo nos que têm mas que por vezes estão sujeitos a “apagões”.

Apesar do recurso a outro tipo de iluminação para além da proveniente do luar já ter uma história longa, o princípio de Iluminação Pública nos moldes como a conhecemos hoje é algo relativamente recente. Adotando como base a cidade de Lisboa, que é a capital e que serviu sempre de primeiro cenário na implementação das novas tecnologias de iluminação, os registos indicam-nos que a Iluminação Pública surgiu em Portugal em 1780 [2, p. 67].

Os primeiros candeeiros lisboetas eram chamados lampiões de azeite, tinham o aspecto do representado na Figura 2.1 e tal como o nome indica, estes eram alimentados a azeite. Este tipo de iluminação necessitava de grande manutenção, o encarregado para além de acender e apagar individualmente cada lampião, tinha a obrigação de atizar e reacender os lampiões quando fosse necessário.

Em 1848, foi instalado em Lisboa aquele que não só foi o primeiro sistema de Iluminação Pública a gás permanente, como foi também, o primeiro sistema de Iluminação Pública centralizado em Portugal. Este não tardou a mostrar as suas vulnerabilidades quando, devido a problemas na central de abastecimento, se apagavam instantaneamente todas as luminárias de Lisboa cobertas por este método. Para além dos problemas inerentes a um sistema centralizado, a iluminação a gás era muito dispendiosa, sendo apenas suportada pelos grandes centros urbanos. Assim, foi apenas com o aparecimento posterior do petróleo de iluminação, que grande parte das zonas rurais conseguiu suportar as despesas da iluminação pública.



Figura 2.1: Iluminação Pública em Portugal no Séc. XIX. [2, p. 70].

Foi, por fim, em 1889 que surgiram as primeiras instalações elétricas de Iluminação Pública. Eram cerca de 38 arcos voltaicos que residiam na Avenida da Liberdade e na Praça dos Restauradores. Alguns anos mais tarde, surgiram os primeiros candeeiros com lâmpadas incandescentes, mas só mesmo por volta dos anos 20 é que a iluminação pública elétrica se destacou como sistema dominante.

Ao longo do resto do século, verificou-se a expansão da rede elétrica de Iluminação Pública e o conseqüente desaparecimento dos outros métodos. A evolução do sistema elétrico é caracterizada principalmente pela evolução de dois elementos fundamentais numa rede de iluminação pública: a tecnologia de iluminação usada e o tipo de controlo aplicado.

2.2 Tecnologias de iluminação

Ao longo da história da iluminação pública foram vários os tipos de lâmpadas utilizados, sendo que na atualidade existem 3 dominantes. O primeiro grupo, o das lâmpadas de vapor de sódio, subdivide-se em dois tipos, as de baixa pressão e as de alta pressão. Outro tipo, é o das lâmpadas de iodetos metálicos, que são similares às lâmpadas de vapor de mercúrio. Estas últimas, embora também sejam usadas na iluminação pública, existem cada vez mais num número reduzido (cerca de 10% no final de 2008 [8, p. 15]), pois têm sido substituídas por outras mais eficientes. A principal diferença é a adição de iodetos como índio e sódio que aumentam a eficiência luminosa e o rendimento cromático nas lâmpadas de iodetos metálico. Por fim, surgem as lâmpadas LED que têm ganho grande popularidade nos últimos tempos devido às suas inúmeras vantagens.

Quando se faz a comparação entre as diferentes tecnologias de iluminação tem que se ter em conta algumas características, tais como: a eficiência luminosa, o índice de reprodução cromático, a temperatura de cor e o tempo de vida útil. A eficiência luminosa é o parâmetro que permite determinar com que eficiência a energia elétrica consumida é convertida em luz,

sendo a unidade de medida o lúmen por Watt (lm/W). O índice de reprodução de cor de uma fonte luminosa (IRC) é outra medida de comparação entre tecnologias de iluminação, que avalia a fidelidade com que as cores dos objetos são reproduzidas quando iluminados por essa fonte luminosa. O IRC distribui-se numa escala de 0 a 100, sendo que 100 equivale a uma fonte luminosa que apresenta as cores de um objeto com a máxima fidelidade.



Figura 2.2: Comparação da Reprodução de cores entre duas tecnologias de iluminação distintas. [3].

A temperatura de cor de uma lâmpada é medida em Kelvin (K), e ao contrário do que o nome pode induzir, esta não nos dá informação acerca da temperatura física da lâmpada, mas sim da tonalidade de cor que esta irradia. Quanto mais alta for a temperatura de cor, mais branca será a luz emitida, designada normalmente por “luz fria” e é usada em ambientes mais formais como por exemplo num escritório, pois induz maior atividade ao ser humano. Já uma lâmpada que tenha uma temperatura de cor baixa, será usada em locais onde se pretende criar um ambiente de conforto e relaxamento, sendo designada usualmente por “luz quente” e terá um aspeto mais amarelado.

Um aspeto muito importante num cenário de iluminação em que o número de lâmpadas é elevado, como é o caso da iluminação pública, é o tempo de vida útil das lâmpadas. Este valor não indica quando as lâmpadas testadas deixam de funcionar, mas sim quando cerca de 25% do fluxo luminoso foi depreciado. É definido em horas e é, portanto, o tempo recomendado para o uso de uma lâmpada mantendo a sua eficiência luminosa. Para além do aspeto financeiro, esta característica é também um fator importante na vertente ecológica, pois o uso de lâmpadas com tempo de vida útil mais elevado reduzirá a necessidade de substituição das mesmas.

Estes três tipos de lâmpadas têm todas características diferentes, o que faz com que cada uma seja mais propícia para certas aplicações. Deste modo é apresentado a seguir, em maior detalhe as características de cada uma e possíveis usos.

2.2.1 Lâmpadas Iodetos Metálicos

A lâmpada de iodetos metálicos é considerada uma evolução da lâmpada de mercúrio, sendo o princípio de funcionamento o mesmo. A diferença reside apenas na adição de iodetos como o índio e sódio o que permite uma melhor performance ao nível da eficiência e ao nível do IRC.



Figura 2.3: Exemplo de uma lâmpada de iodetos metálicos.[4]

Dado o elevado preço de produção deste género de lâmpadas, o seu uso restringe-se a locais onde é extremamente necessário uma boa qualidade de iluminação com uma boa reprodução de cores.

Antes de entrar em funcionamento, este tipo de lâmpada apresenta uma impedância muito elevada, sendo necessário para despoletar o seu arranque, o uso de um dispositivo usualmente designado por arrancador, que gera impulsos de tensão de valor superior ao valor de tensão de alimentação da lâmpada após o seu arranque. Este é um dispositivo constituído por um pequeno tubo, dentro do qual existem dois eléctrodos imersos num gás inerte responsável pela formação inicial do arco que permite estabelecer contacto entre os eléctrodos.

Após o arranque da lâmpada, o valor da impedância desce para valores muito baixos, o que torna necessário o uso de um dispositivo para limitar a corrente de alimentação. Este dispositivo designado por balastro, pode ser de dois tipos, eletrónicos ou eletromagnéticos. Enquanto os balastros eletromagnéticos operam na frequência da rede elétrica, os eletrónicos são fontes comutadas em alta frequência, permitindo excluir a necessidade da utilização do arrancador.

Na Tabela 2.1, são apresentadas as principais vantagens e desvantagens desta tecnologia.

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Iodetos Metálicos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ IRC bom; ✓ Baixa carga elétrica; ✓ Elevada eficiência energética; ✓ Temperatura de cor (3000K a 4900K); 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Caras; ✓ Equipamento auxiliar; ✓ Não admitem variações de tensão superiores a 5%;

Tabela 2.1: Vantagens e desvantagens lâmpadas iodetos metálicos.

2.2.2 Lâmpadas Vapor de Sódio

É atualmente a tecnologia mais utilizada em sistemas de iluminação pública, estando no entanto, a ser progressivamente substituída pelas lâmpadas LED. Pertencem à família de lâmpadas cujo funcionamento se baseia na descarga de gases em altas ou baixas pressões. As lâmpadas de vapor de sódio caracterizam-se por serem monocromáticas, de um tom amarelado, sendo assim indicadas para locais onde a reprodução de cor não é um fator importante, sendo até úteis em zonas com grande incidência de nevoeiro.

Tal como no caso das lâmpadas de iodetos metálicos, as lâmpadas de vapor de sódio, também necessitam de equipamento auxiliar para operarem, sendo que é possível controlar o fluxo de iluminação se forem usados balastros eletrônicos.



Figura 2.4: Lâmpadas Vapor de Sódio (Esquerda: Baixa pressão ; Direita: Alta pressão).[4]

A lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão (conhecida pelo acrónimo inglês LPS), é neste momento a tecnologia mais eficiente para aplicação em sistemas de iluminação pública, apresentando como ponto fraco o baixo IRC, que não permite uma boa reprodução de cores. As altas pressões presentes nas lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (HPS) permitem alargar substancialmente a largura da banda de emissão, o que permite a este tipo de lâmpadas apresentar um IRC mais elevado que as anteriores, sendo o preço a pagar uma eficiência menor. Na Tabela 2.2 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens desta tecnologia.

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Vapor de Sódio	<ul style="list-style-type: none"> ✓ IRC aceitável (alta pressão); ✓ Elevada eficiência energética; ✓ Durabilidade elevada; ✓ Variação de fluxo luminoso, com integração de balastros eletrônicos; ✓ Capacidade de manter o fluxo luminoso durante toda a sua vida útil (baixa pressão) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Arranque lento; ✓ Equipamento auxiliar; ✓ IRC reduzido (baixa pressão); ✓ Distorção das cores pela emissão monocromática;

Tabela 2.2: Vantagens e desvantagens Lâmpadas de Vapor de Sódio.

2.2.3 LED - Díodo Emissor de Luz

”As últimas descobertas dramáticas no laser, feitas pela General Electric, podem um dia tornar a lâmpada elétrica obsoleta,... Se os planos resultarem, a lâmpada do futuro pode ser uma partícula de metal do tamanho de uma ponta de lápis que será praticamente indestrutível, nunca queimará, e irá converter pelo menos 10 vezes mais corrente em luz do que a lâmpada atual.”[13]

Esta lâmpada do futuro, apelidada assim em 1963 pelo presidente da associação nacional de escritores científicos, Harland Manchester, é o que hoje em dia chamamos de LED. Harland estava a referir-se às descobertas realizadas por Nick Holonyak nos laboratórios da General Electric, em 1962, que levaram à invenção do primeiro díodo emissor de luz visível, ficando assim conhecido como o “pai do LED” [14].



Figura 2.5: LED de alta potência

Apesar de o LED não ser uma tecnologia recente, só nos últimos anos é que tem vindo a tornar-

se uma tecnologia revolucionária nos sistemas de iluminação, quer ao nível da iluminação interior, quer ao nível da iluminação para o exterior. O ponto de viragem aconteceu no início dos anos 90, com a invenção do led azul de grande eficiência, por Shuji Nakamura, que permitiu o posterior aparecimento do LED branco de alta potência.

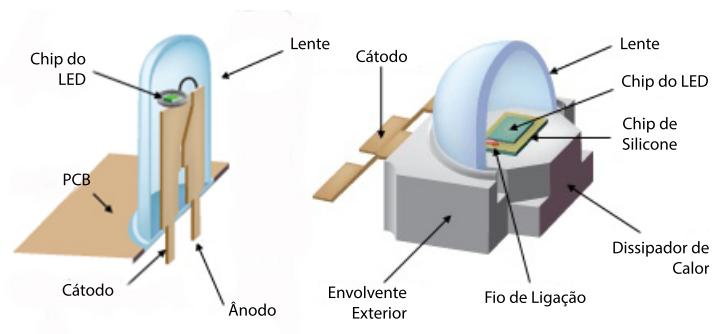


Figura 2.6: Estrutura de um LED normal (esquerda) e de um LED de potência (direita).

O LED produz a sua luminosidade, basicamente, através da libertação de fótons quando uma corrente elétrica flui através deste componente. Isto acontece porque um eletrão atravessa a barreira de potencial da zona de depleção e encontra um buraco, caindo assim num nível de energia mais baixo, resultando na libertação de energia (libertação de um fóton). O comprimento de luz é determinado pela banda proibida do semiconductor, portanto podem obter-se diferentes cores alterando a composição química do mesmo.

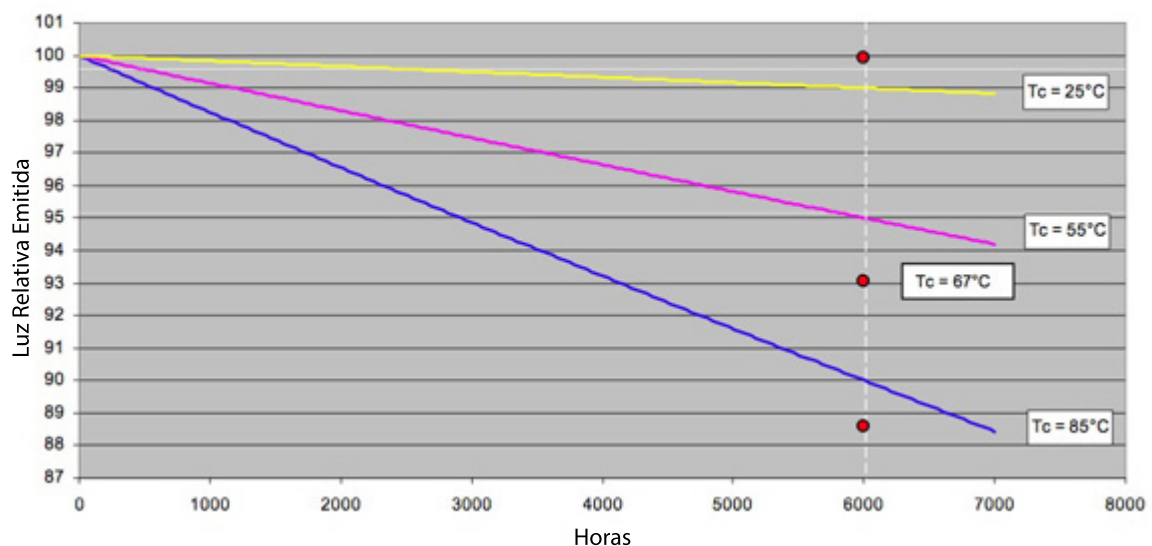


Figura 2.7: Influência da Temperatura na eficiência do LED.

Como já foi referido, o LED gera luz visível quando uma corrente atravessa a junção do semicondutor. Contudo, este não é 100% eficiente pois muita da potência entregue ao LED é transformada em calor. Por exemplo, alguns LEDs apresentam uma eficiência de 40%, o que quer dizer que 60% da potência de entrada irá ser dissipada como calor.

O problema da temperatura é que está relacionada com a eficiência do LED e com o seu tempo de vida. Quanto mais alta for, menor será a eficiência do LED a converter a potência de entrada em luz visível, tal como se pode ver na Figura 2.7. Além disso, estas altas temperaturas podem conduzir à degradação do LED que leva a uma redução do seu tempo de vida. Deste modo, para prolongar o seu tempo de vida e melhorar a sua performance, os LEDs devem ser mantidos a temperaturas razoáveis sejam quais forem as condições de operação. Para isso é crucial ter em atenção a gestão da temperatura durante a fase de projeto dos LEDs e dos sistemas que os vão integrar.

Esta é também considerada uma tecnologia verde, pois é amiga do ambiente em vários aspetos. Não contém na sua composição mercúrio ou qualquer tipo de gás, tornando o LED menos poluente, reduzindo os valores de CO₂ emitidos pela iluminação que adopta esta tecnologia. Para além disso, é também mais resistente a impactos e vibrações e possui um tempo de vida muito elevado, o que reduz a necessidade de substituição das lâmpadas e, conseqüentemente, o custo de manutenção.

Devido às suas características, para além de iluminarem, os LEDs podem, também, servir no futuro de transmissores, ou seja, para além da sua função principal podem ser utilizados para transmitir informação a outros dispositivos por comunicação através da luz visível (VLC). O princípio de funcionamento deste modo de comunicação é fácil de perceber, baseia-se apenas no piscar dos LEDs a uma frequência elevada, que não é perceptível para o olho humano mas que é detetado por foto-detetores, tais como foto-díodos ou sensores CCD ou CMOS. Deste modo, VLC deverá ser considerada para uma possível integração nos sistemas de iluminação pública, sendo que cada luminária seria um ponto de acesso para transmissão de informação. Na Tabela 2.3, são apresentadas as principais vantagens e desvantagens desta tecnologia.

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
LED	<ul style="list-style-type: none"> ✓ IRC elevado; ✓ Eficiência energética elevada; ✓ Gama de temperaturas de cor variada; ✓ Tamanho reduzido; ✓ Arranque imediato; ✓ Facilidade na variação do fluxo luminoso; ✓ Resistência a impactos e vibrações; ✓ Facilidade na integração de sensores; ✓ Tempo de vida elevado; ✓ Diminuição da poluição; ✓ Sem partes móveis, mercúrio, gases e nenhum filamento; 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Custo de aquisição relativamente elevado; ✓ Necessidade de dispositivos de dissipação de calor; ✓ Dependência da temperatura; ✓ Alimentação DC;

Tabela 2.3: Vantagens e desvantagens lâmpadas LED.

2.2.4 Comparação de Tecnologias

Após a introdução às diferentes tecnologias existentes nos sistemas de iluminação pública, são apresentadas na Tabela 2.4 as características principais de cada tipo de lâmpada.

Tipo de Lâmpada	Eficiência Luminosa (lm/W)	Propriedades de reprodução de cores	Tempo de Vida (h)
Iodetos Metálicos	70-130	Excelente	8 000-12 000
LPS	100-190	Muito Má	18 000-24 000
HPS	50-150	Razoável	15 000 -24 000
LED	70-160	Boa	40 000- 90 000

Tabela 2.4: Comparação das características das diferentes tecnologias de iluminação.

Como é possível constatar através da observação da Tabela 2.4, todas elas têm características diferentes sendo umas mais adequadas para alguns cenários que outras. Deste modo, se estivermos perante uma situação em que é extremamente necessário existir uma reprodução de cores fiável, deve optar-se pelas lâmpadas de iodetos metálicos. Uma das aplicações é em cenários onde ocorrem filmagens, tais como, por exemplo, os estádios. Contudo se o IRC da lâmpada for um fator pouco importante e se se pretender obter uma grande eficiência a escolha deve recair sobre as LPS. Se a solução desejada for algo mais equilibrado, que é o que acontece na maior parte dos cenários de iluminação pública, temos as HPS e as lâmpadas LED, sendo que estas últimas apresentam características melhores quer ao nível do IRC quer ao nível do tempo de vida, no entanto pecam pelo custo inicial que é mais elevado. Contudo o custo adicional das lâmpadas LED será retornado pela poupança proporcionada pelas mesmas ao longo dos anos, sendo esta, assim, a melhor tecnologia existente na atualidade.

2.3 Sistemas de Controlo

Antigamente os lampiões e candeeiros eram acessos e apagados manualmente por alguém responsável por essa função. Quando se acendiam e durante quanto tempo, era algo influenciado pelo calendário Lunar e pelas estações do ano, ou seja, só eram acesas quando se achava que era estritamente necessário, pois a Iluminação Pública era muito dispendiosa. Hoje em dia isso seria completamente impraticável dada a quantidade de pontos de iluminação pública existentes (estima-se que em 2009 este número em Portugal fosse superior a 4 milhões [8, p. 13]). Assim sendo, este controlo é feito de uma forma automática através de uma unidade de controlo, mas devido aos custos da Iluminação Pública se terem tornado mais acessíveis, resultou que o controlo efetuado por esta unidade fosse desprezado. De um modo geral, estas unidades apenas se limitam a ligar e desligar a luminária não tendo em conta se a iluminação prestada por esta é realmente necessária. Contudo, recentemente, tem havido uma tendência para se usar um controlo mais inteligente que, aliado às lâmpadas LED, permite poupanças significativas em termos energéticos e, consequentemente, monetários.

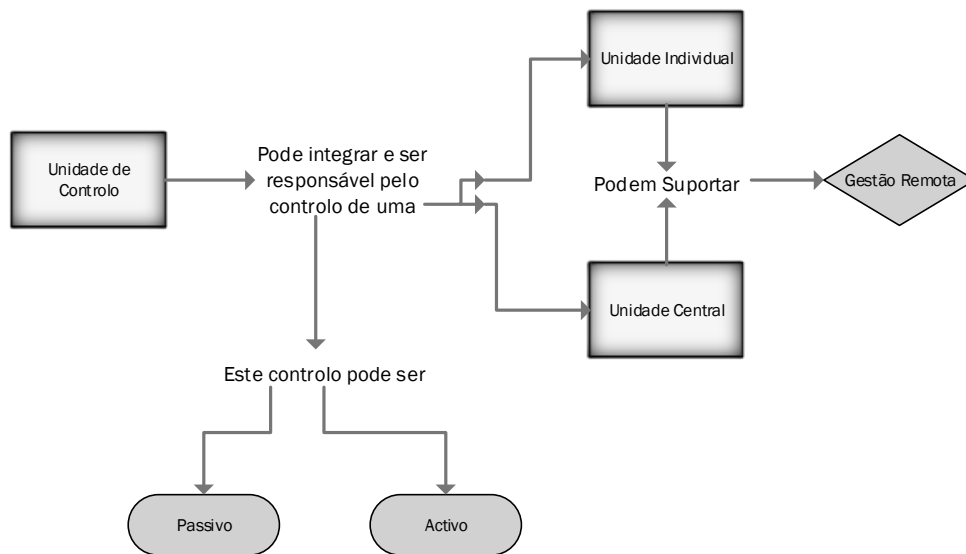


Figura 2.8: Diagrama de um Sistema de Controlo.

2.3.1 Unidade de Controlo

Como se pode ver na Figura 2.8, um sistema de controlo tem como elemento fundamental a unidade de controlo. Esta pode ser muito básica, apenas tendo como função servir de interruptor ON/OFF dependendo de uma variável temporal, ou pode ser até bastante complexa, tendo a capacidade de ler valores de sensores, armazená-los e processá-los para poder atuar em conformidade com as informações obtidas. Para além disso, pode ser necessário que suporte comunicação, quer seja para partilhar esses dados com outras luminárias ou para comunicar com uma gateway. Esta unidade de controlo pode ser integrada em cada unidade de iluminação ou então numa unidade central que controla um grupo de luminárias.

2.3.2 Arquitetura de Controlo

A escolha do tipo de controlo utilizado depende do cenário para o qual está a ser projetado o sistema de iluminação, genericamente este pode ser autónomo ou centralizado, representados na Figura 2.9.

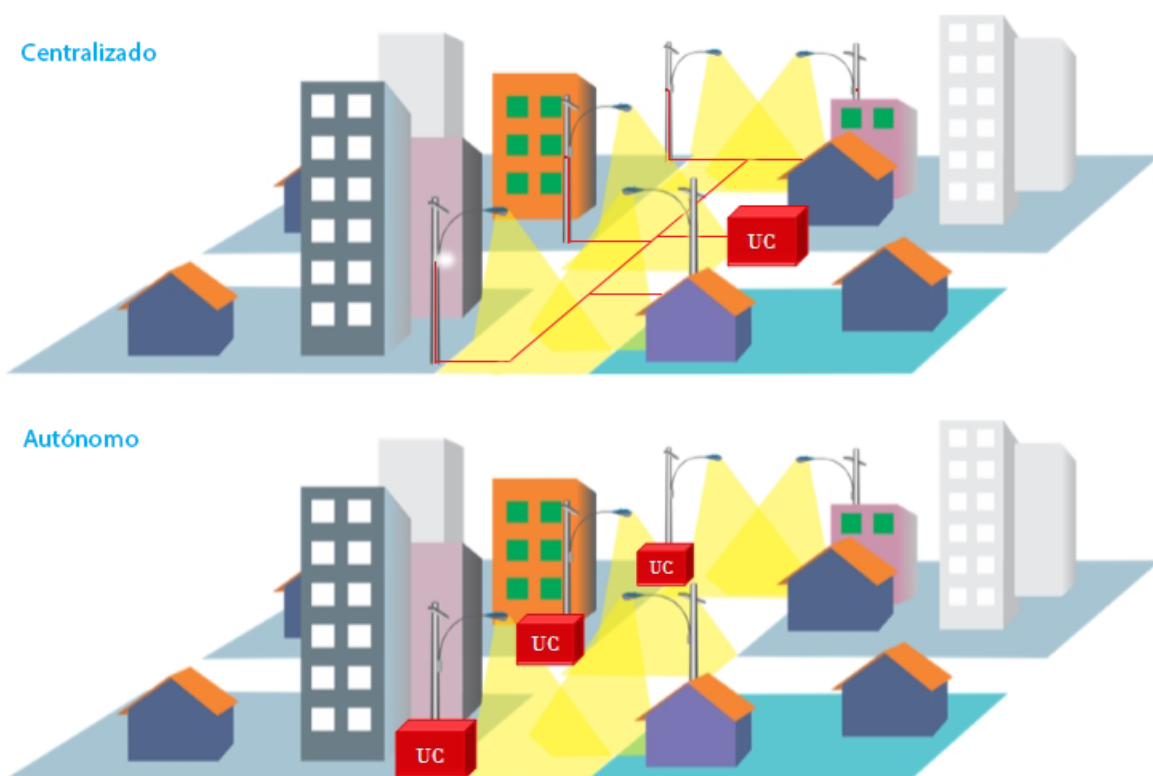


Figura 2.9: Representação de um sistema de controlo autónomo e de um sistema de controlo centralizado.

- **Controlo Autónomo:**

Este tipo de controlo existe quando cada unidade de iluminação possui uma unidade de controlo dedicada, o que o torna mais rigoroso. No entanto, o custo de implementação de um sistema destes é elevado e nem sempre é rentável. Por exemplo, no caso de um centro urbano muito ativo que necessita de iluminação constante, aplicar um controlo individual não é algo vantajoso.

- **Controlo Centralizado:**

No caso do controlo centralizado, a unidade de controlo gere um número variável de luminárias. Este tipo de controlo é menos dispendioso que o anterior, mas perde na robustez, pois é inerente aos problemas dos sistemas centralizados, como é o caso de uma avaria que afeta todo o grupo. É uma arquitetura mais rígida pois todo o grupo de luminárias vai reagir uniformemente, embora possam não estar todas sujeitas às mesmas condições. No entanto, esta é para a maior parte das situações a solução mais sustentável.

2.3.3 Opções de controlo energético

Para ambas as arquiteturas apresentadas é possível que o controlo energético seja efetuado de uma forma passiva ou de uma forma ativa. Uma vez mais nenhuma das duas é dominante cada uma delas apresenta vantagens em relação à outra para determinados cenários.

- **Controlo Passivo:**

O controlo passivo é a opção de controlo energético mais comum. Os sistemas de iluminação pública que estão sujeitos a este tipo de controlo, apenas ligam e desligam as luminárias de acordo com a informação fornecida por sensores crepusculares e/ou relógios astronómicos.

A solução que reúne mais consenso é a que usa sensores crepusculares porque permite um controlo mais eficiente dado que transmite uma informação mais verídica acerca da necessidade real do uso de iluminação artificial.

Os relógios astronómicos são autómatos programáveis utilizados para o controlo automático da iluminação pública em função do pôr e nascer do sol, cujo horário de funcionamento encontra-se enquadrado na variação do ciclo solar ao longo do ano.

Uma boa solução é o uso combinado destas duas tecnologias, em que o relógio astronómico possui entradas digitais para a adição de sensores crepusculares que permitem complementar a ação do relógio.

- **Controlo ativo:**

Este tipo de controlo tem vindo a ganhar relevo apenas recentemente, pois as tecnologias de iluminação utilizadas limitavam a possibilidade de regular o fluxo luminoso de uma forma eficiente. Isto foi algo que se alterou com o aparecimento dos LEDs de alta potência, pois facilitou o controlo do fluxo luminoso e ainda a integração de sensores. Através do uso de sensores é possível obter informação acerca do ambiente circundante e a partir dessa informação, alterar o fluxo de acordo com a necessidade existente. Uma unidade de controlo que tenha ao seu dispor meios para aplicar este tipo de controlo energético, pode por exemplo diminuir a intensidade de iluminação para níveis mínimos em períodos de menos atividade, ou aumentar a mesma em caso de condições climatéricas adversas de modo a proporcionar uma visibilidade maior.

Tal como se pode ver na Figura 2.8 todas estas topologias de iluminação podem suportar gestão remota desde que se crie um meio de comunicação entre a unidade de controlo e a entidade competente, possibilitando assim, a configuração das unidades de controlo posteriormente à sua instalação. Este tema será apresentado mais detalhadamente no capítulo 3.

2.4 Regulamentação

No momento de projetar um sistema de Iluminação Pública é necessário verificar se o mesmo respeita as normas e a legislação em vigor. Dado que Portugal é um estado membro da UE,

este está sujeito à norma europeia para a IP: EN 13201.

Visto que a presente dissertação se centra no uso da tecnologia LED como elemento de iluminação, são apresentados a seguir, os principais requisitos necessários nas luminárias da iluminação pública com tecnologia LED. Fonte [15].

2.4.1 Esquema Elétrico

O esquema elétrico deverá estar de acordo com os esquemas das Figuras 2.10 e 2.11, dependendo se está a ser aplicado na rede subterrânea ou na rede aérea.

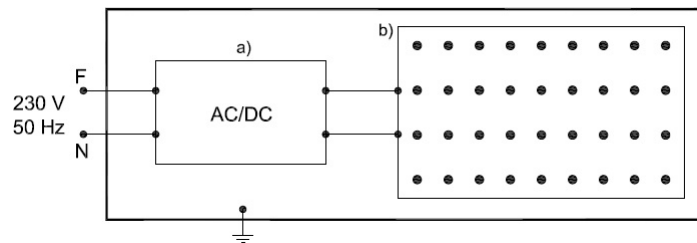


Figura 2.10: Luminária com tecnologia LED - aplicação na rede subterrânea

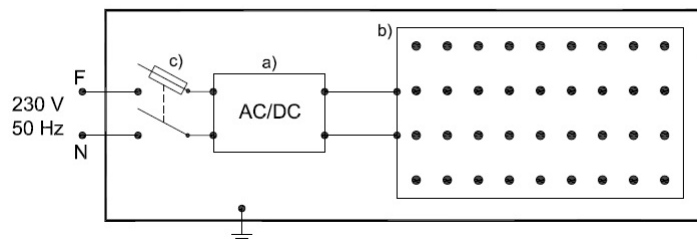


Figura 2.11: Luminária com tecnologia LED - aplicação na rede aérea

Legenda:

- (a) driver (controlador de alimentação)
- (b) módulo de LEDs
- (c) fusível-selecionador, com elemento fusível de 6A

2.4.2 Requisitos Gerais das Luminárias

- **Proteção contra a penetração de poeiras, corpos sólidos e humidade:** O compartimento que inclua o módulo de LEDs e o driver deverá ser ensaiado para um grau de proteção mínimo IP 66. O compartimento de ligação à rede, caso exista, deverá

ser previsto para grau de proteção mínimo IP 54. O grau de proteção deverá cumprir o disposto na EN 60598-1, seção 2.3.

- **Proteção fotobiológica:** Os riscos da radiação visível das luminárias LED têm de ser avaliados e classificados de acordo com os requisitos da norma IEC 62471-2 (Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems). De acordo com os perfis dessa norma, a luminária LED deve enquadrar-se no perfil baixo risco (Grupo 1 – Low Risk).
- **Características fotométricas:** As luminárias devem possuir um rendimento ótico que cumpra os seguintes valores (LOR¹, ULOR², DLOR³):

Luminárias	LOR	ULOR	DLOR
De jardim	≤ 85 %	≤ 1 %	≤ 84 %
Para vias de circulação automóvel	≤ 90 %	≤ 1 %	≤ 89 %

Tabela 2.5: Valores do rendimento cromático que as luminárias devem cumprir.

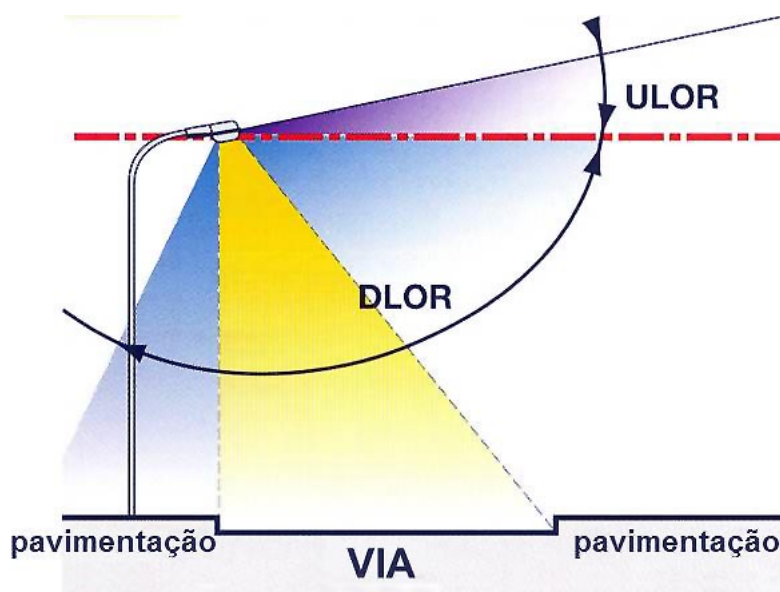


Figura 2.12: Light Output Ratio.

O LOR é calculado pela seguinte equação:

$$LOR = \text{Saída da luminária} / \text{Saída da Lâmpada} \quad (2.1)$$

Assim, como se pode perceber, o LOR é um valor que nos permite saber o valor de luz que é perdido dentro da luminária. Este valor, pode depois ser sub-dividido em

¹Light Output Ratio

²Upward Light Output Ratio

³Downward Light Output Ratio

ULOR e DLOR, que representam a percentagem de luz emitida para cima e para baixo respectivamente, como se pode observar melhor na Figura 2.12.

- **Proteção contra impactos mecânicos externos:** As luminárias devem possuir uma resistência aos impactos mecânicos externos correspondente, no mínimo, ao grau de proteção IK08, para luminárias de jardim, e IK06 para luminárias aplicadas em vias de circulação automóvel, segundo a norma EN 50102.
- **Resistência à corrosão:** Os materiais ferrosos devem ser protegidos contra a oxidação de acordo com o disposto na secção 4.18 da norma EN 60598-1.
- **Riscos mecânicos:** As luminárias não devem possuir partes cortantes, ou arestas, que possam constituir um risco para o utilizador no momento da sua instalação, ou manutenção, de acordo com o disposto na secção 4.25 da norma EN 60598-1.
- **Proteção contra curto-circuitos:** A proteção contra curto-circuitos da luminária deve estar de acordo com o disposto na secção 4.26 da norma EN 60598-1.
- **Proteção contra sobretensões:** As luminárias referidas no quadro 1, para as posições 8 a 12 e 20 a 24 -luminárias instaladas na rede aérea, rede torçada - devem vir equipadas com SPD (Surge Protective Devices), considerando que naqueles pontos da rede as sobretensões previsíveis de origem atmosférica não ultrapassam os 2,5 kV.
- **Proteção contra choques elétricos:** A proteção contra choques elétricos das luminárias deve estar de acordo com o especificado no DMA-C71-111/N-JUL 2013 e com base no disposto na secção 8 da norma EN 60598-1.
- **Níveis de poluição harmónica:** Os níveis de poluição harmónica deverão cumprir a norma EN 61000-3-2. De acordo com as classes de poluição dessa norma deverá ser classificado como classe C.
- **Resistência ao calor, ao fogo e às correntes de rastejamento:** As luminárias devem possuir uma resistência ao calor, ao fogo e às correntes de rastejamento de acordo com o disposto na secção 13 da EN 60598-1.
- **Resistência à força do vento:** As luminárias devem ser concebidas e construídas para resistirem à força do vento de acordo com as disposições da secção 3.6.3 da norma NP EN 60598-2-3.
- **Fator de manutenção do fluxo luminoso:** A manutenção do fluxo não deverá ser inferior a 80 % e deve estar de acordo com a IEC 62722 secção 10.2
- **Eficácia luminosa:** O valor da eficácia deverá ser de pelo menos 70 lm/w.
- **Difusor:** O difusor poderá ser de vidro temperado, PMMA (polimetacrilato) ou policarbonato e deverá ter uma transmissão luminosa superior 88 %.

2.4.3 Principais requisitos: Módulo de LEDs

- **Resistência à humidade e isolamento:** A verificação da resistência à humidade e de isolamento do módulo de LEDs deverá seguir os requisitos da secção 11 da norma EN 62031.

- **Rigidez dielétrica:** Para a rigidez dielétrica o módulo de LEDs deverá seguir os requisitos da secção 12 da norma EN 62031.
- **Resistência ao fogo, ao calor e correntes rastejantes:** A resistência ao fogo, calor e correntes rastejantes, por parte dos módulos de LEDs, deverá ser garantida de acordo com a secção 18 da norma EN 62031.
- **Resistência à corrosão:** A resistência à corrosão deverá ser garantida de acordo com os requisitos da secção 19 da norma EN 62031. Proteção dos LEDs Em caso de avaria de algum dos díodos LED, deverá existir um dispositivo (LED Shunt) que garanta a mesma resistência no circuito série, de modo a que os restantes LEDs do circuito não fiquem sujeitos a uma sobretensão.
- **Lente secundária:** No caso de existência de uma lente secundária deverão ser apresentados os testes de envelhecimento de acordo com as normas ISO 4892-1, ISO 4892-2, DIN 5036-1, DIN 5036-1 e DIN 5036-3.

2.4.4 Principais Requisitos: Driver de LEDs

- **Generalidades:** O driver deverá garantir a correta dissipação do calor e indicar a temperatura máxima admissível no ponto T_c^4 , para uma temperatura ambiente de 35 °C durante 12 h de funcionamento ininterrupto. Deverá ter proteção de temperatura, pelo que deve estar de acordo com a secção B 3.1 e B 3.2 do anexo B da EN 61347-1. O driver deverá ser desenvolvido de acordo com a norma EN 62384 e EN 61347-2-13. O driver deverá apresentar uma eficiência superior a 90
- **Tempo de vida útil:** O valor deverá ser pelo menos 50 000 horas, de acordo com o anexo B da EN 62384.
- **Fator de potência:** Em regime nominal, o fator de potência não deverá ser inferior a 0,90 e deverá estar de acordo com o estipulado na secção 9 da EN 62384. No caso de a luminária estar equipada com mecanismos de regulação de fluxo, o fator de potência não deverá ser inferior a 0,80 para uma redução de fluxo até 50
- **Imunidade eletromagnética:** O sistema deverá garantir imunidade eletromagnética de acordo com as normas EN 61547 e EN 55015.

2.4.5 Requisitos principais: LED

- **Generalidades:** O LED terá de ser do tipo SMD, para garantir uma robustez mecânica adequada a este tipo de aplicação, que é muito severa em termos de vibrações. Não é permitida a utilização de LEDs radiais. O LED deverá produzir luz branca a partir da conversão do fósforo, diretamente aplicado sobre o chip (chip level conversion). Não são permitidos LED RGB para a geração de luz branca.
- **Constituintes do LED:** Devido à exposição intensa e prolongada do LED às radiações solares, este tem de ser insensível às radiações UV (ultravioleta).

⁴Case Temperature

- **Índice de restituição de cor (IRC):** O IRC deverá ser superior a 70 e estar de acordo com a IEC 62717. A medição deverá ser efetuada de acordo com a CIE 13.3 ou CIE 177.
- **Temperatura de cor cromaticidade:** A temperatura de cor (CTT) deverá ser branca neutra com um valor base de 4200 K e admitindo uma tolerância de ± 300 K.
- **Eficácia luminosa:** O LED deverá ter uma eficácia luminosa de pelo menos 100 lm/W para a temperatura de cor indicada na secção 12.4 do presente documento.

Conclusões

Pela leitura deste capítulo é possível verificar que desde a existência da iluminação pública nos modelos que conhecemos hoje, esta sofreu algumas alterações, sendo que a maior de todas foi a passagem para a iluminação elétrica. No entanto, após esse desenvolvimento, não se verificaram grandes progressos, no que se refere aos tipos de tecnologias utilizadas. Desta forma, é impensável que nos dias de hoje, com as tecnologias que temos ao nosso dispor, perdure uma rede de iluminação pública primitiva.

Foram assim analisadas algumas tecnologias de iluminação, verificando-se a clara vantagem dos LEDs perante as outras tecnologias. Foi ainda feita uma apresentação do tipo de controlo que pode ser utilizado na iluminação pública, em que se verificou que a escolha de um determinado tipo de controlo terá que ter em conta o cenário em causa. No entanto, é previsível que um controlo ativo seja mais eficiente para a maior parte das situações.

Capítulo 3

Sistema: Sistema Inteligente de Iluminação Pública

Um sistema de IP poderá designar-se “Inteligente”, se agir de uma forma eficiente, respondendo às verdadeiras necessidades de iluminação. Para isso, é necessário que o sistema seja dotado de sensores, sendo que, para um cenário de iluminação pública, os fundamentais são os sensores de movimento/presença e os sensores que detetam os níveis de luminosidade ambiente. Outra característica deste tipo de sistemas é a capacidade de comunicação, quer com as restantes luminárias, para partilha de informação que possa ser relevante, quer com um servidor externo, que permitirá a monitorização e controlo em tempo real, serviço designado por gestão remota.

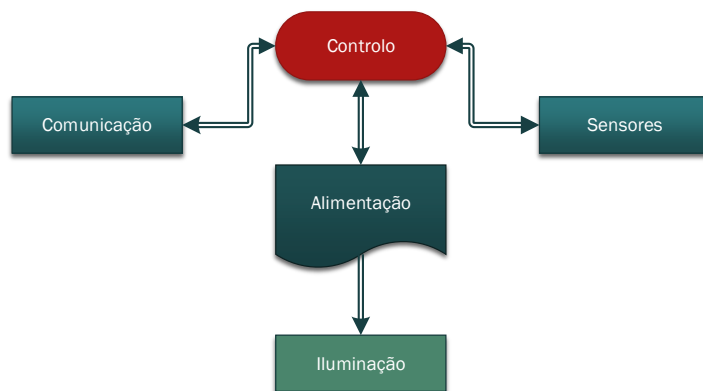


Figura 3.1: Diagrama de Blocos de um sistema de Iluminação Pública Inteligente.

Na Figura 3.1 é possível observar-se o diagrama de blocos que constituem um típico sistema de iluminação pública inteligente. Destacam-se perante um sistema público tradicional o bloco de comunicação, o bloco de sensores e o bloco de controlo. Os dois primeiros, simplesmente não existem num sistema tradicional e o último desempenha um papel mais ativo neste tipo de sistemas. O bloco de alimentação tem que se adaptar à tecnologia de iluminação utilizada e, também, ao tipo de controlo que se pretende ter sobre a mesma.

3.1 Sensores

Num sistema de iluminação pública inteligente é indispensável o uso de sensores, pois são estes dispositivos que nos fornecem as informações necessárias para ser possível atuar em conformidade. Só desta forma será possível aplicar um controlo ativo de acordo com os fatores externos, de modo a melhorar a eficiência da iluminação pública. Os sensores são, assim, uma peça fundamental nesta dissertação, e como existem diversos tipos, far-se-á de seguida um pequeno estudo sobre quais são passíveis de ser utilizados na iluminação pública. Como podemos ver pelo esquema da Figura 3.2, os sensores na iluminação pública podem, de acordo com a sua função no sistema, agrupar-se em 4 grupos distintos.

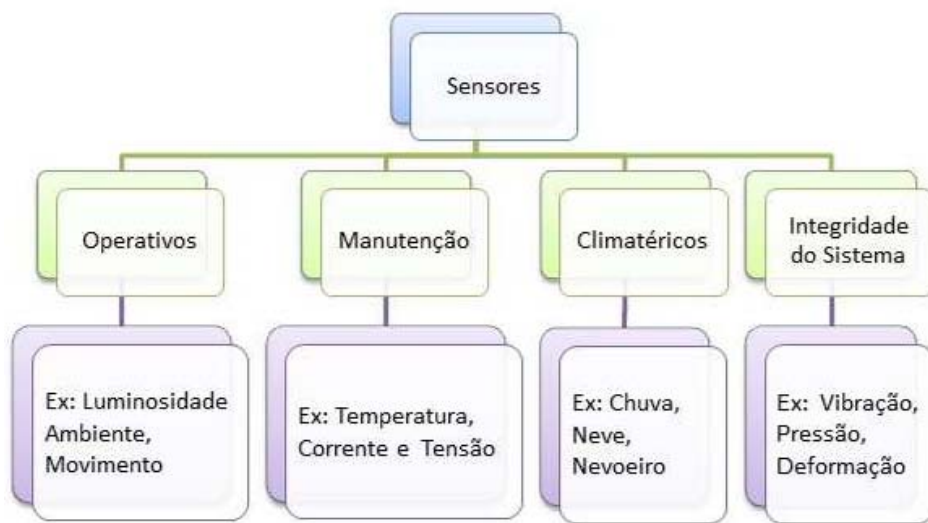


Figura 3.2: Sensores na Iluminação Pública.

Os sensores operativos, tal como o nome indica, são aqueles que recolhem informação fundamental para a operação da luminária. De acordo com os dados fornecidos por estes sensores, a luminária pode, assim, ajustar o seu fluxo luminoso, diminuindo ou aumentando a sua intensidade, ou até ligar ou desligar a luminária. Neste grupo encontram-se os sensores de luminosidade ambiente e os sensores de movimento/presença.

No segundo grupo, os sensores de manutenção, podemos inserir os sensores que nos fornecem a temperatura dos LED, e informação sobre a corrente e a tensão que está a ser fornecida à luminária. Como é lógico, estes sensores têm como principal funcionalidade monitorizar o correto funcionamento da luminária e, assim, permitir que se possa atuar em caso de existência de alguma anomalia.

O nome deste terceiro grupo de sensores - sensores climatéricos - também é intuitivo e podem ter esta classificação todos os sensores que nos disponibilizem dados sobre as condições climatéricas. Estas informações são importantes para que, de acordo com o cenário apresentado, as luminárias possam atuar de forma a proporcionar maior segurança e conforto aos cidadãos. Por fim, os sensores de integridade do sistema são todos aqueles que monitorizam o estado da luminária, incluindo o seu suporte, para que seja detetado qualquer tipo de derrube ou impacto na estrutura.

3.1.1 Sensores luminosidade ambiente

Com o intuito de aumentar a eficiência dos sistemas de iluminação pública, estes sensores têm uma importância muito grande porque permitem identificar a necessidade real da luz artificial. Através da análise do nível de luz ambiente, é possível à luminária adaptar-se gradualmente e também ajustar o fluxo para diferentes intensidades dependendo, por exemplo, se está uma noite de lua nova ou de lua cheia, que possivelmente não necessitará de uma intensidade tao elevada. Em fotometria a unidade utilizada para medir a luminosidade ambiente é a iluminância (E), que mede o fluxo luminoso total por unidade de área:

$$E = dF/dA \quad (3.1)$$

Para obter o valor da luminosidade ambiente, pode-se fazer uso do efeito fotoelétrico, que nos dá uma relação direta entre a variável a medir e uma corrente elétrica. Os dispositivos mais utilizados que fazem uso deste princípio são:

- **Foto-díodo:** é, tal como o nome indica, um díodo fotossensível, no qual a junção semicondutora encontra-se exposta à luz. É a incidência desta na junção que fornece a energia necessária para a criação de pares eletrão-lacuna. Estes pares, uma vez sobre o efeito de um campo elétrico externo, podem conduzir corrente. Embora possam ser usados nos dois tipos de polarização, a forma mais comum é a polarização inversa, principalmente devido à linearidade da variação entre a corrente na junção e a intensidade da luz. Este tipo de configuração está apresentado na Figura 3.3.

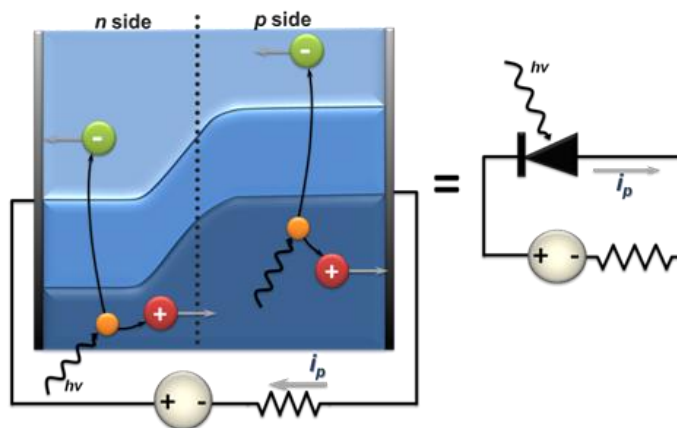


Figura 3.3: Estrutura de um foto-díodo inversamente polarizado.

- **Foto-transístores:** têm um princípio de funcionamento idêntico aos foto-díodos, a base do foto-transistor é sensível à luz, sendo a corrente de base proporcional à luz incidente, implicando uma variação da corrente no coletor maior.
- **Foto-resistências:** são dispositivos que variam a sua resistência elétrica consoante a luz a que estão expostos. Na ausência de luz apresentam uma resistência muito elevada e com a incidência da mesma os fotões são absorvidos pela estrutura cristalina, aumentando assim a condutividade do dispositivo. Isto deve-se ao facto dos fotões absorvidos

provocarem o aumento da energia dos elétrons na camada de valência, fazendo-os mover para a banda de condução onde se tornam portadores de carga livre.

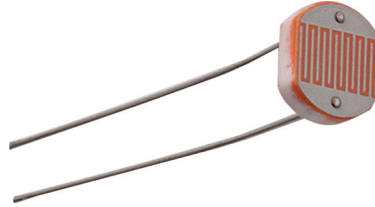


Figura 3.4: Foto-resistência.

As foto-resistências apresentam a vantagem de possuírem um custo muito reduzido e serem muito sensíveis, no entanto, são sensores lentos e muito sensíveis a variações de temperatura, o que pode ser problemático em certos ambientes. Para além disso, as foto-resistências também não geram corrente, o que implica a necessidade de uma fonte de energia para funcionar. Os foto-díodos e os foto-transístores, são ambos dispositivos rápidos, com baixo ruído, no entanto, os foto-díodos apresentam um sinal de saída baixo, enquanto os foto-transístores não são lineares e são componentes mais caros. Adicionalmente, os foto-transístores são dispositivos mais sensíveis, o que se pode tornar numa desvantagem, pois facilmente podem atingir o nível de saturação.

3.1.2 Sensores de Movimento/Presença

Se em alguns ambientes, em que há muito tráfego, estes tipos de sensores não fazem sentido, em outros ambientes, menos movimentados, estes podem ser fulcrais para o aumento da eficiência energética da luminária. Utilizando como exemplo uma zona rural, em que habitualmente não se verifica muito tráfego ao longo da noite, não faz sentido que a luminária esteja constantemente ligada com máxima intensidade.

Para esse efeito existem inúmeras tecnologias, sendo que estes sensores podem ser divididos em dois tipos: movimento e presença. Os primeiros apenas detetam se algum objeto está em movimento, enquanto os segundos detetam a presença de pessoas ou objetos dentro da área que está a ser monitorizada. Será feita, de seguida, uma breve descrição de algumas delas:

- **Detetores de pressão, vibração e stress:** embora sejam detetores precisos, têm um custo elevado e necessitam de uma colocação específica no pavimento, o que não os torna práticos para um sistema de iluminação pública.
- **Detetores acústicos:** têm como grande desvantagem a possibilidade de ser ativados com outros ruídos que não dos veículos ou de pessoas, no entanto, isto pode ser melhorado com pós-processamento de sinal, o que por sua vez eleva os custos da implementação.
- **Detetores de movimento com vídeo:** podem ser muito precisos, no entanto, também requerem processamento de sinal. Assim são dispositivos que envolvem custos elevados na sua implementação e podem não ser autorizados pelas autoridades locais por questões de privacidade ou por outras questões legais. Embora este tipo de sensor seja

preciso na distinção de diferentes tipos de objetos, pode facilmente ficar comprometido em situações de nevoeiro ou poeira.

- **Detetores capacitivos:** o princípio de funcionamento destes sensores é baseado na alteração da capacidade global que varia com a capacidade de acoplamento introduzida por uma pessoa ou um objeto que entra no campo do sensor. As condições climáticas podem ser uma forte condicionante no uso deste tipo de sensores, pois torna o processo de calibração uma tarefa muito difícil. Além disso, o correto funcionamento deste tipo de sensores implica a necessidade de um isolamento elétrico entre o placa de teste e a terra.

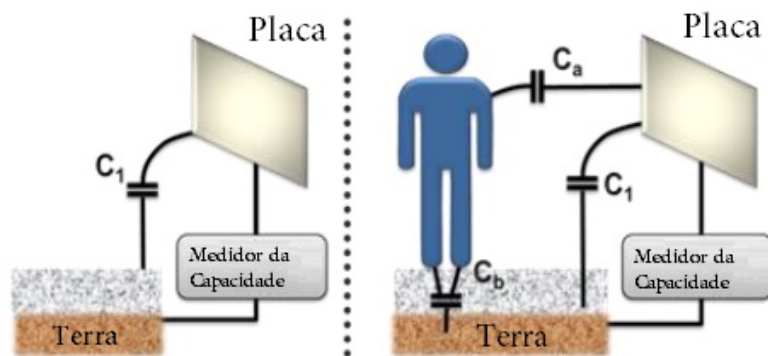


Figura 3.5: Funcionamento de um sensor de movimento capacitivo.

Quando uma pessoa ou objeto se aproxima da placa (Figura 3.5), são criadas duas capacidades adicionais, C_a e C_b , aumentando assim a capacidade global:

$$C = C1 + Ca * Cb / (Ca + Cb) \quad (3.2)$$

- **Detetores triboelétricos:** visto que qualquer objeto é capaz de armazenar eletricidade estática, pode detetar-se movimento pela alteração do campo elétrico na presença dum objeto. O grande problema destes sensores é que a eletricidade estática presente num objeto é dependente do objeto e do clima e são também muito sensíveis a fontes externas de ruído, tais como, por exemplo, sistemas RF ou aos 50/60Hz da rede elétrica.
- **Detetores ultrassónicos e micro-ondas:** funcionam através da emissão de ondas que, ao colidir com um objeto, são refletidas e recebidas de novo pelos sensores. No entanto, no confronto entre os dois tipos, os detetores de micro-ondas são preferíveis aos detetores ultrassónicos visto que não interferem com animais e podem operar em condições climáticas adversas como sendo a chuva ou o nevoeiro. Contudo, estes detetores são dispositivos com grande consumo energético.
- **Detetores optoelectrónicos:** Os detetores optoelectrónicos são os mais usados na deteção de movimento. Estes sensores convertem radiação eletromagnética em sinais elétricos e apenas respondem a movimentos, não são sensíveis a objetos estáticos. Entre os detetores optoelectrónicos, temos dois tipos, os ativos e os passivos, sendo que os passivos têm um baixo consumo mas são sensíveis a variações de temperatura e os

ativos têm a grande desvantagem de ter um consumo considerável de energia. Dentro deste grupo de sensores encontra-se o PIR (Passive Infrared), que é muito comum no uso para detecção de movimento. Como se percebe pelo seu nome, este é um sensor passivo, sensível à radiação de infravermelhos.

Uma opção viável para monitorização de movimento é o recurso a uma solução combinada do PIR com um detetor de micro-ondas. Consegue-se, assim, uma detecção de movimento relativamente fiável, com um baixo consumo de energia. O esquema de funcionamento de uma solução deste género está apresentada na Figura 3.6.

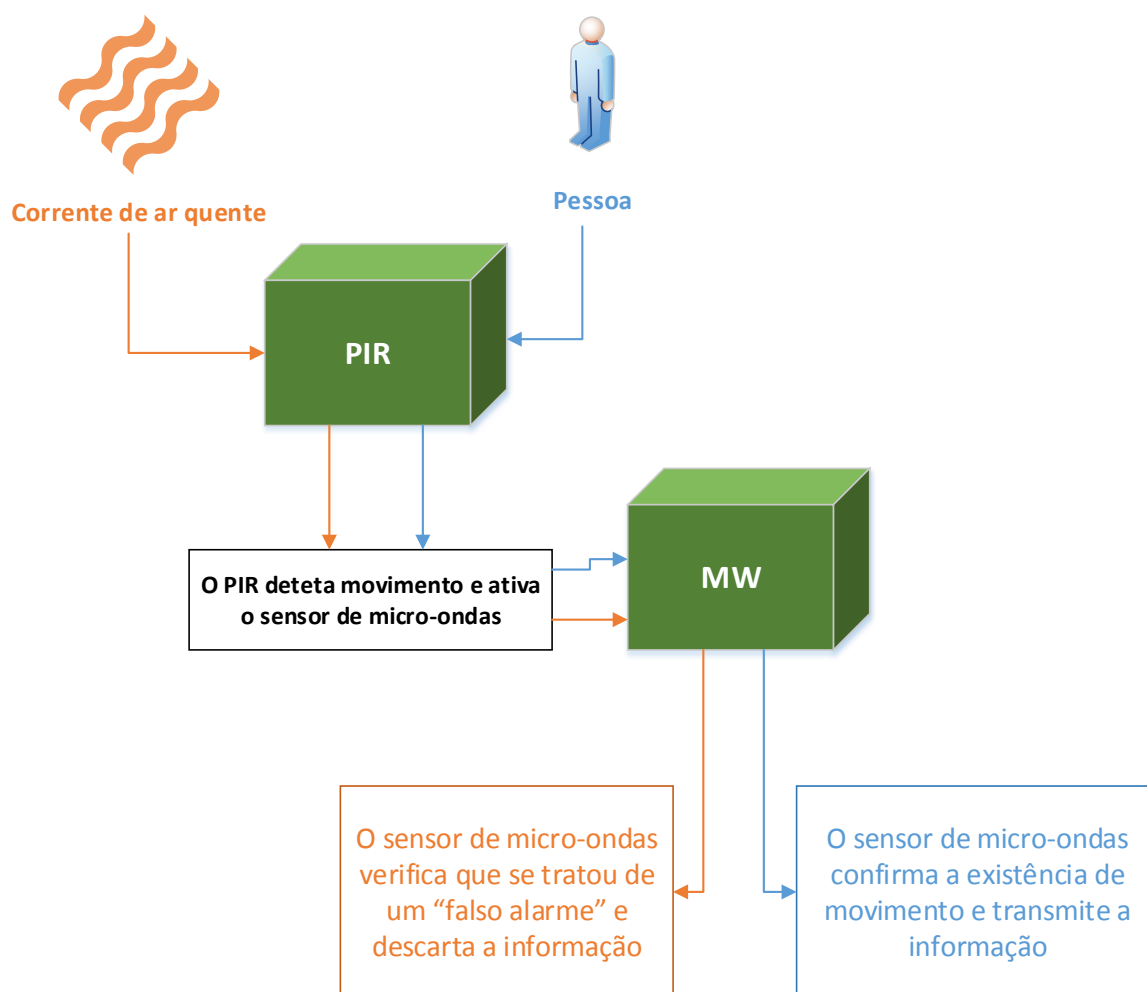


Figura 3.6: Funcionamento de uma solução híbrida (PIR e MW).

Para resumir todas as vantagens e desvantagens dos sensores de movimento apresentados, estas são apresentadas em forma de tabela na Tabela 3.1:

Sensor		Vantagens	Desvantagens
Detetores de pressão, Vibração e Stress		✓ Preciso	✓ Exigem uma colocação específica no pavimento
		✓ Rápido	
Detetores Acústicos		✓ Rápido	✓ Sensível a fontes de ruído
		✓ Pequeno	✓ Requer pós-processamento do sinal
		✓ Simples	
Detetores de movimento com vídeo		✓ Preciso	✓ Muito caro
		✓ Permite distinção de diferentes objetos	✓ Requer processamento de sinal avançado
Detetores Capacitivos			✓ Funcionamento pode ser comprometido por nevoeiro ou poeira
		✓ Simples principio de funcionamento	✓ Alcance de deteção pequeno
		✓ Baixo consumo	✓ Pouco preciso
Detetores Triboelétricos			✓ Requer isolamento elétrico
		✓ Baixo consumo	✓ Alcance de deteção pequeno ✓ Suscetível a condições climatéricas
Detetores Micro-ondas		✓ Preciso	✓ Consumo de energia considerável
		✓ Rápido	✓ Custo de implementação considerável
		✓ Pouco sensível a variações de temperatura	✓ Restrições legais para emissões de potência elevadas
		✓ Cobertura de uma grande área de deteção	
		✓ Insuscetível a nevoeiro e poeiras	
Detetores Ultrassónicos		✓ Rápido	✓ Consumo de energia considerável
		✓ Preciso	✓ Podem interferir com os animais
		✓ Pouco sensível a variações de temperatura	✓ Suscetíveis a ruído de alta frequência
			✓ Restrições legais para emissões de potência elevadas
Detetores optoelectrónicos	Passivo	✓ Rápido	✓ Suscetível a variações de temperatura
		✓ Preciso	
		✓ Simples	
		✓ Baixo Custo	
	Ativo	✓ Baixo Consumo	✓ Consumo de energia considerável
		✓ Alcance de deteção ajustável	
		✓ Rápido	
		✓ Preciso	
		✓ Baixo custo	
		✓ Alcance de deteção ajustável	

Tabela 3.1: Principais vantagens e desvantagens dos sensores de movimento.

3.1.3 Sensores de temperatura

Os sensores de temperatura podem ser classificados como sensores de manutenção ou sensores climatéricos dependendo da função que estão a desempenhar no sistema.

De seguida será feita uma breve abordagem aos diferentes tipos de sensores de temperatura:

- **Termopar:** é um dos sensores de temperatura mais comum e a medição de temperatura é feita através duma junção de dois metais distintos por efeito de Seebeck, quando uma das extremidades é aquecida, há geração de corrente elétrica, como se pode ver na Figura 3.2. Quando o circuito é aberto, na extremidade não aquecida, surge uma força eletromotriz que é função do par de metais e da temperatura, Figura 3.3.

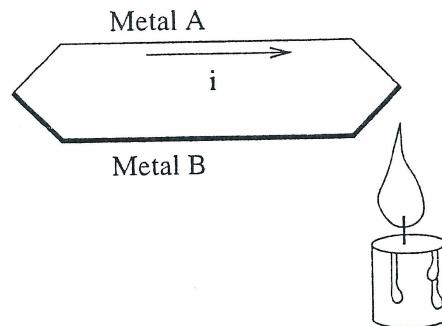


Tabela 3.2: Efeito de Seebeck. [6]

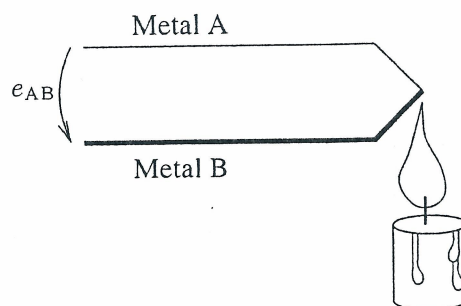


Tabela 3.3: Geração de tensão de Seebeck (termopar.) [6]

- **Sensores de Resistência térmica (RTD – Resistive Thermal Devices):** baseiam-se no princípio da dependência da resistividade de um material condutor com a temperatura. Os RTDs são, em comparação com os termopares, sensores mais frágeis e não são dispositivos passivos. Deste modo, é necessário injetar uma corrente no RTD para medir a tensão aos seus terminais.
- **Termístor:** Os termístores derivam o seu nome da contração de térmico com transistor e são, assim, sensores de temperatura baseados em semicondutores. Entre os termístores,

o mais utilizado é o NTC (Negative Temperature Coefficient), que apresenta a particularidade de a sua resistência diminuir com a temperatura.

- **Sensores de temperatura Integrados:** Por fim os sensores de temperatura integrados são mais complexos que os anteriores e são baseados num circuito eletrónico que se comporta como uma fonte de corrente ou como um regulador de tensão. Estes sensores apresentam, em geral, uma boa linearidade, em que, para tornar o valor da corrente ou da tensão diretamente proporcional à temperatura, é apenas necessário somar ou subtrair um valor constante. No entanto, estes sensores estão limitados às temperaturas a que podem operar os circuitos integrados, limitando assim o leque de aplicações destes sensores.

Na tabela 3.4 estão resumidas as principais vantagens e desvantagens dos sensores de temperatura apresentados:

Sensor	Vantagens	Desvantagens
Termopar	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Não necessita de alimentação direta ✓ Simples ✓ Robusto ✓ Elevada gama de temperatura ✓ Barato 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Não linear ✓ Baixo sinal de saída ✓ Pouco estável ✓ Pouco sensível
RTD	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estável ✓ Elevada Exatidão 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Caro ✓ Lento
Termístor	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Elevada sensibilidade ✓ Rápido 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Não linear ✓ Gama de temperatura limitada ✓ Frágil ✓ Auto aquecimento
Sensor Integrado	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Elevada linearidade ✓ Barato 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Configurações limitadas ✓ Auto aquecimento ✓ Necessita de alimentação ✓ Lento ✓ $T < 250^{\circ} \text{C}$

Tabela 3.4: Vantagens e desvantagens dos sensores de temperatura. [6]

3.1.4 Sensores de corrente e tensão

Estes sensores são importantes para a monitorização dos consumos de cada luminária, sejam eles instantâneos ou para avaliar tendências ou padrões de consumo. Contudo, estes podem também ser úteis na deteção de anomalias através do aparecimento de valores anormais. Para desempenhar esta função existem inúmeros tipos de sensores:

- Sensor capacitivo
- Divisor de tensão
- Circuitos integrados
- Transformador de Tensão
- Transformador de Corrente
- Sensor de Efeito de Hall

Quando é necessário efetuar medições a uma variável de um sistema, deve-se ter em atenção, o facto do instrumento de medição poder interferir com a mesma. Desta forma, pode-se estar a recolher valores erróneos, que poderão levar a conclusões erradas.

Assim sendo, sempre que possível, deve dar-se preferência a sensores não invasivos. Por exemplo, no caso da medição da corrente, há sensores que não necessitam de interromper o circuito para fazer a medição, fazendo antes uso da relação direta entre o campo magnético e a corrente.

3.1.5 Sensores climatéricos

Neste tipo de sensores, estão enquadrados todos os que fornecerem informações acerca das condições ambientais. Estas podem ser importantes ao nível da segurança, no caso da existência de nevoeiro, por exemplo, mas também podem servir meramente para um uso posterior, como seja o caso de um estudo sobre o nível de CO₂ de uma determinada rua ou sobre a exposição solar das luminárias, permitindo averiguar a possibilidade de uso de um painel solar para alimentar as mesmas.

Assim alguns fatores passíveis de ser medidos serão: a temperatura, a humidade, precipitação, a visibilidade, o vento, a radiação solar ou os níveis de CO₂.

Alguns destes sensores têm um custo muito elevado, no entanto, com a partilha de informação entre luminárias pode fazer-se um uso coletivo desse sensor, permitindo, assim, baixar o custo de implementação.

3.1.6 Sensores de integridade do sistema

Para verificar a estabilidade da estrutura de iluminação podem ser usados vários tipos de sensores. A importância destes é vital para relatar danos que sejam causados à estrutura e que possam impedir o seu correto funcionamento. Para este efeito existem várias tecnologias, tais como:

- Potenciómetros;
- Acelerómetros;
- Sensores Capacitivos;
- Sensores Indutivos e Magnéticos (LVDT, RVDT);
- Sensores Óticos;

- Sensores de tilt;
- Giroscópio;

Devido ao preço relativamente baixo dos sensores de *tilt* e, também, à sua simplicidade, estes podem ser uma boa opção para averiguar a integridade da estrutura de iluminação. Este tipo de sensores funciona como um interruptor, sendo "ligado" ou "desligado" para um certo ângulo.

Outra solução viável é o uso de um acelerómetro e/ou de um giroscópio. O acelerómetro baseia-se na 2ª Lei de Newton para medir a aceleração e o giroscópio faz uso do princípio de conservação do momento angular para medir a orientação do objeto.

3.2 Comunicação

Se o objetivo é maximizar o desempenho por parte de um sistema de IP, então é necessário que o mesmo esteja equipado de meios que lhe permitam comunicar. Em caso contrário, as luminárias surgirão como pontos isolados, incapazes de reportar anomalias no seu funcionamento, de transmitir informações úteis às luminárias vizinhas ou de receber comandos de controlo remotos.

Numa rede de IP pública a comunicação pode ser efetuada localmente, isto é, entre as luminárias pertencentes ao mesmo agrupamento. Este tipo de comunicação pode ser efetuado com diferentes objetivos: para partilha de valores de sensores, permitindo a redução de custo ao nível da rede sensorial (porque se elimina a necessidade de todas as luminárias possuírem os mesmos tipos de sensores), e tornando também o sistema mais tolerante a falhas (pois em caso de avaria dos seus sensores internos, as luminárias, podem-se servir de valores dos sensores das suas vizinhas), para reportar anomalias de funcionamento às luminárias vizinhas (de modo a que as mesmas possam reagir, por exemplo, aumentando o seu fluxo de iluminação), ou para comunicação entre as luminárias (para que haja retransmissão dos dados até os mesmos chegarem à gateway, no caso de luminárias que estejam fora do alcance da mesma).

O outro tipo de comunicação é efetuado através da gateway, sendo assim criado um canal de comunicação por parte do sistema de iluminação com o exterior. Este canal pode ser bidirecional, o que permitirá ao sistema de IP enviar constantemente dados recolhidos pela rede de iluminação ou receber comandos de controlo para configurar o funcionamento das luminárias, executados pelo operador responsável pelo sistema.

3.2.1 Tecnologias de Comunicação

Ao nível da comunicação interna, pode aproveitar-se o facto de as luminárias já estarem todas interligadas pelos cabos da rede elétrica e usar os mesmos como meio de comunicação. Este tipo de comunicação é designado por Powerline Communication (PLC). Outra forma de comunicar é recorrer à tecnologia sem fios, através de módulos de RF (radio-frequência).

Para a comunicação exterior com a unidade central, há também a possibilidade de comunicar através de uma tecnologia sem fios, por exemplo, através de GPRS, ou por cabo, através da tão conhecida ethernet. Pode recorrer-se, como é evidente, a outros tipos de comunicação, como por exemplo Wifi, LTE, WiMax ou RS-485.

Nesta dissertação dar-se-á ênfase apenas à comunicação ao nível interno, com destaque para as duas tecnologias atrás referidas.

Comunicação sem fios: ZigBee

No campo das redes sem fio de controlo e de sensores, em que são definidas como prioridades o baixo consumo e o custo reduzido, o ZigBee é o padrão dominante.

Esta tecnologia foi criada, e é desenvolvida, pela ZigBee Alliance e o seu nome é baseado no voo das abelhas, que quando trabalham em colmeias, voam em zig zag trocando informações com outros membros da colmeia.

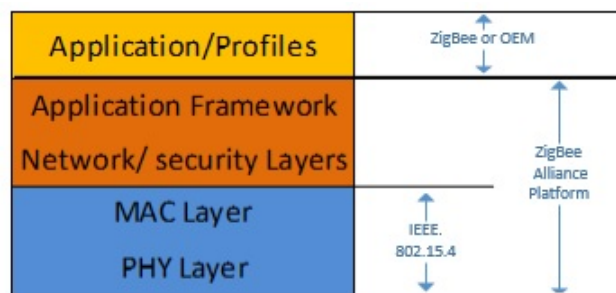


Figura 3.7: Stack do Protocolo de ZigBee.

Como se pode ver na Figura 3.7, onde é apresentada a estrutura das camadas numa rede ZigBee, esta é implementada na camada física IEEE.802.15.4 e opera nas bandas de frequência não licenciadas ISM: ¹ 868 MHz – Europa, 915 MHz –EUA e 2.4 GHz – Global.

O padrão IEEE.802.15.4 é, para além da camada física, também responsável pela camada MAC. Na camada física é aplicada modulação DSSS, que apesar de requerer uma maior largura de banda, protege o sinal, tornando-o mais robusto contra interferências. A camada MAC é responsável pelo encapsulamento dos dados provenientes das camadas superiores de modo a que possam ser transmitidos. Desempenha, também, o papel de controlo do acesso ao meio, tentando evitar colisões de pacotes, fazendo, para isso, uso do protocolo de acesso CSMA/CA.

Uma rede ZigBee é constituída por vários nós que podem desempenhar diferentes funções. Dependendo da função desempenhada, têm diferentes designações. Deste modo, numa rede típica ZigBee (Figura 3.8) existem o nó coordenador, o nó router e o nó final.

¹ISM- Industrial, Scientific and Medical, são bandas de RF reservadas internacionalmente para uso não comercial. Podem ser usadas por todas as pessoas, sem necessidade de licença, desde que se respeitem os níveis de potência transmitidos.

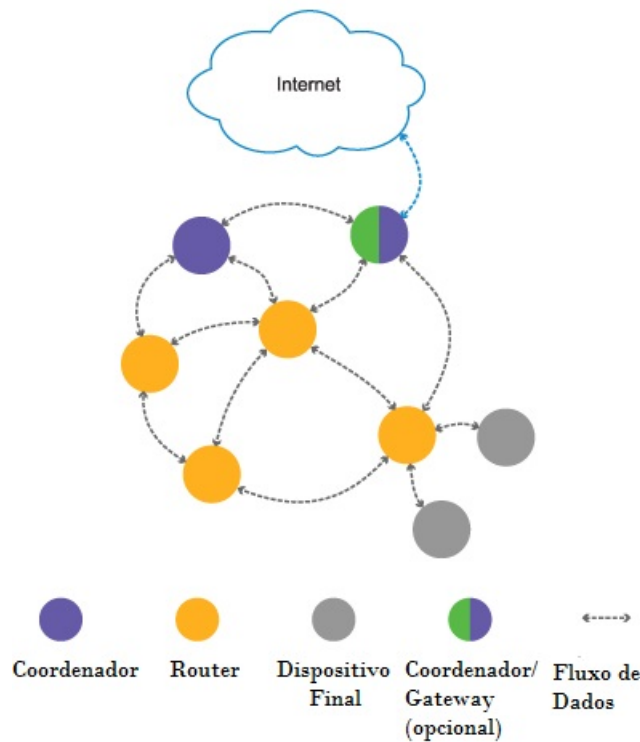


Figura 3.8: Rede típica ZigBee.

Os coordenadores são responsáveis pela iniciação, manutenção e segurança da rede. Enquanto que os routers, tal como o próprio nome indica, fazem o routing das mensagens, estendendo o alcance da rede. Por fim, os nós finais desempenham funções de controlo ou monitorização. Poderá, em alguns casos, existir ainda um nó coordenador, que também combina a função de gateway.

O padrão IEEE.802.15.4 define a existência de dois tipos de nós: FFD (Full Function Device) – dispositivos mais complexos, que no caso de uma rede ZigBee estão aptos a desempenhar qualquer função (coordenador, router, dispositivo final); e RFD (Reduced Function Device) – são dispositivos mais simples, que apenas podem comunicar com dispositivos FFD, o que, conseqüentemente, implica que só podem operar como dispositivos finais numa rede de ZigBee.

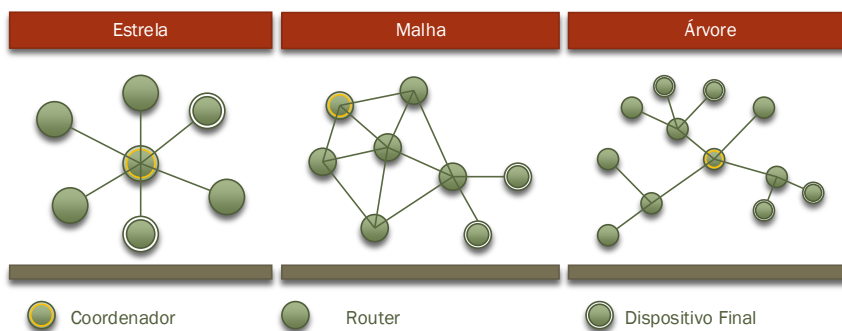


Figura 3.9: Topologias numa rede ZigBee.

Estes nós podem ser organizados em diversas topologias de rede (Figura 3.9), no entanto, é a capacidade de funcionamento em mesh (malha) que torna esta tecnologia bastante robusta. Possui habilidade de se auto-organizar e auto-restruturar, tornando a rede tolerante a falhas, ao que acresce a capacidade de suportar até mais d 6400 nós numa só rede.

O baixo consumo de potência é um dos objectivos prioritários numa rede de dispositivos ZigBee. Assim sendo, para além do método de operação em que o dispositivo está permanentemente ativo, designado por non-beaconing, há o método de operação beaconing, que se baseia na transmissão periódica de beacons (pacotes de sinalização), para avisar os outros nós da sua existência. Este modo permite uma elevada redução ao nível do consumo energético, pois os nós ficam adormecidos entre as sinalizações, prolongando a autonomia da bateria dos dispositivos requerendo, no entanto, uma sincronização de elevada precisão.

Foi apresentada em detalhe a comunicação por radiofrequência através da tecnologia ZigBee, por esta se apresentar como o padrão dominante para redes de sensores e de controlo. No entanto, existem no mercado inúmeros rádios que fazem uso das bandas ISM, que podem ser utilizados como módulos de comunicação para sistemas de iluminação pública.

Comunicação com fios: PLC

A rede de IP , constitui ela própria uma rede, interligada pela rede eléctrica. O que a tecnologia PLC faz é aproveitar essa mesma rede eléctrica, e para além de uma rede de alimentação, utiliza-la como meio de comunicação. Esta constitui uma enorme vantagem em relação a outras tecnologias cabladas, pois para essas seria necessário construir de raiz uma nova rede de comunicação, através da instalação de cabos ao longo da rede de IP. Claro que essa situação pode ser praticável em situações pontuais, mas dada a dimensão da rede de IP, essa solução não deve passar disso mesmo.

Assim, fazer uso da rede já existente é, então, o ponto forte desta tecnologia de comunicação. No entanto, isto tem custos. Os cabos eléctricos representam um meio físico hostil, muito suscetível a ruído e interferências, e em que os valores de impedância, capacitância, indutância, atenuação e resposta em frequência não são constantes ao longo do tempo. Verifica-se, deste modo, uma distorção do canal, em que a amplitude e a fase do sinal vão variar com o tempo e com a frequência. Consequentemente, são necessários muitos componentes para realizar a comunicação, o que encarece a implementação total do sistema.

	Baixa	Média	Alta
Taxa de Transmissão	0-10 kbps	10 kbps - 1Mbps	> 1Mbps
Modulação	BPSK, FSK, SFSK, QAM	PSK + OFDM	PSK + OFMD
Standards	IEC 61334, ANSI/EIA 709.1, .2, UPB	PRIME, G3, P1901.2	G.hn, IEEE 1901
Limite Frequências	Até 500 kHz	Até 500 kHz	Mhz
Aplicações	Controlo	Controlo, Voz	Banda Larga sobre PLC, Rede doméstica

Tabela 3.5: Características PLC.

Na Tabela 3.5, são apresentadas algumas características da comunicação por PLC para dife-

rentes taxas de transmissão:

As bandas de frequência de operação reservadas para este tipo de comunicação diferem para as diferentes regiões do globo, sendo que, na Europa, o corpo regulatório responsável pela atribuição dessas bandas de frequências, o CENELEC, definiu 4 bandas de operação: A[3-95]KHz, B[95-125]KHz, C[125-140]KHz e D[140-148.5] KHz.

Na Figura 3.10 é apresentado um esquema de interligação de um sistema de comunicação por PLC num cenário de IP.

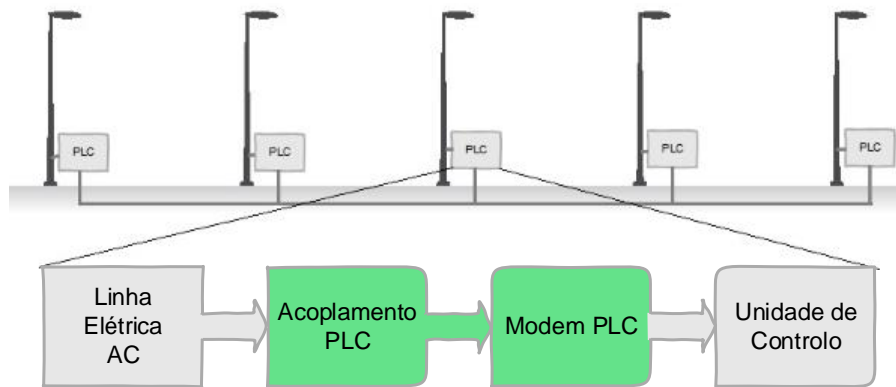


Figura 3.10: Comunicação PLC na Iluminação Pública

Através desta figura é possível ver os blocos necessários para a comunicação por PLC num sistema de iluminação pública. Dado que não é possível haver uma ligação direta entre o modem PLC e a linha elétrica, é necessário existir um circuito de acoplamento entre ambos. No modem PLC, é feita principalmente a desmodulação do sinal. Este está também conectado à unidade de controlo, para lhe transmitir as informações recolhidas da rede. Este diagrama representa uma comunicação da rede elétrica para a unidade de controlo, contudo, a comunicação por PLC é bidirecional, sendo também possível efetuar-se no sentido inverso.

3.3 Gestão Remota

A gestão remota é um serviço que permite ter um controlo maior sobre o sistema de iluminação pública em que está implementado. As vantagens da instalação da gestão remota são inúmeras e é um serviço que permite, de uma forma global, reduzir os custos relativos à rede de IP associada, quer ao nível de consumos energéticos, quer ao nível de manutenção.

Este serviço pode ser usado com duas finalidades: monitorização e controlo. Em ambas as funções as limitações são provenientes das unidades sensorial e de controlo instaladas. Ou seja, como é evidente, não será possível obter dados acerca das temperaturas a que estão sujeitas as luminárias se não existir um sensor de temperatura, ou então, não será possível controlar apenas uma luminária, se o controlo for centralizado e não individual.

Monitorização

Um sistema de IP que tenha associado um serviço de gestão remota, permite receber e monitorizar, em tempo real, informações acerca do funcionamento dessa rede de iluminação pública. Não há restrições quanto ao tipo de dados que possam ser monitorizados, sendo estes definidos apenas pelos dados que são enviados pelas luminárias para a central de dados.

Assim, através de gestão remota é possível: monitorizar dados de diversos sensores; monitorizar consumos por parte das luminárias; diagnosticar em tempo real cada ponto de iluminação; produzir relatórios automaticamente.

Com os dados obtidos, é possível, posteriormente, adotar novos planos mais eficientes para as luminárias, enviar técnicos para consertar as falhas reportadas, alertar uma unidade de emergência em caso de aviso de derrube de uma luminária, etc.

Controlo

Tal como já foi dito, o tipo de controlo passível de ser realizado é limitado pelo controlo implementado no sistema de IP, a que a gestão remota está associada. No entanto, considerando que está implementada a solução mais flexível, é permitido controlar quase tudo. Deste modo, será então possível configurar remotamente vários tipos de valores, como por exemplo: valor da intensidade máxima, valor da intensidade mínima, tempo de fading, ligar/desligar as luminárias, alterar o plano de funcionamento das luminárias. Na Figura 3.11 está ilustrado um esquema de funcionamento da gestão remota, onde é visível que com este serviço é possível fazer-se o controlo e monitorização de todo o sistema de iluminação pública, através de uma interface com o utilizador.

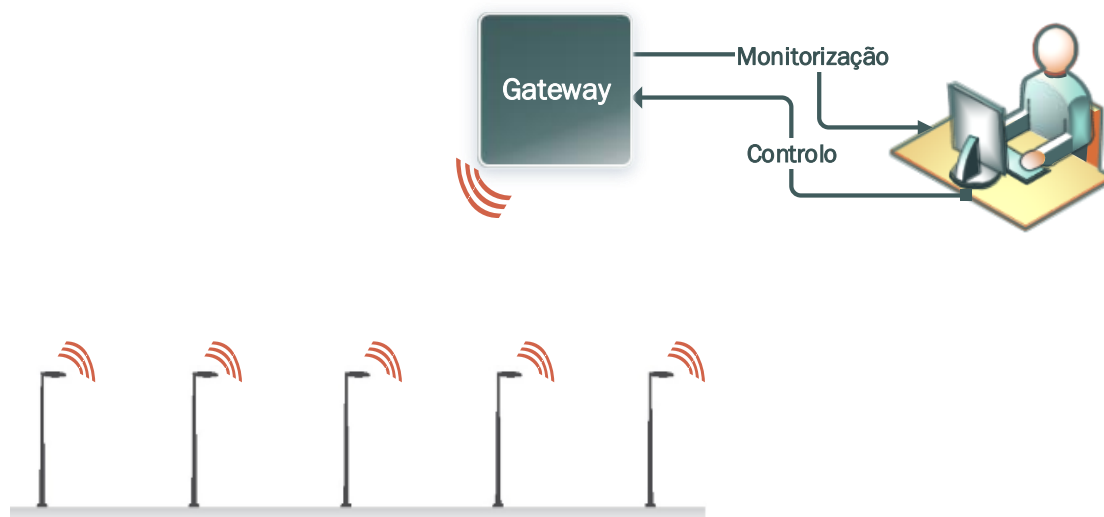


Figura 3.11: Gestão remota.

Conclusões

Neste capítulo ficou assente que para ser possível um controlo mais eficiente, de modo a luminosidade fornecida seja apenas a estritamente necessária, é necessário o uso de sensores. Para isso, foram então apresentadas diversas tecnologias existentes.

Ficou também claro que o uso de comunicação num sistema de iluminação pública é essencial, quer localmente, para partilha de informação, quer externamente para haver possibilidade de integrar o serviço de gestão remota.

Por fim, foram apresentadas as vantagens de ter um sistema de iluminação pública com gestão remota. Verificou que não só o sistema é mais eficiente, possibilitando reduzir as despesas, quer em termo de consumos, como também no que diz respeito à manutenção, mas também torna o sistema mais prático. Toda a informação pode ser visualizada através de uma interface com o utilizador e, nessa mesma interface, é possível proceder-se às configurações remotamente.

Capítulo 4

Casos de Estudo

Neste capítulo será feita uma apresentação de dois casos de estudo. O primeiro caso é um protótipo laboratorial que teve como objetivo a implementação prática dos conceitos teóricos inerentes a um sistema de iluminação pública inteligente, anteriormente estudados. O segundo caso é o tema de estudo principal desta dissertação e é apresentado como a implementação piloto de um sistema inteligente de iluminação pública, ao abrigo do projeto LITES (CIP-PSP-ICT ref/2008). Este projecto encontra-se em exercício na Universidade de Aveiro desde Dezembro de 2009.

A descrição detalhada deste projeto será feita na secção 4.2.

4.1 Caso de Estudo I: Protótipo Laboratorial

Numa primeira abordagem prática, ao desafio proposto por esta dissertação, desenvolveu-se um protótipo laboratorial em placa branca. Através deste protótipo foi possível simular, de uma forma básica, um sistema inteligente de iluminação pública que, conseqüentemente, permitiu a implementação prática dos conceitos teóricos e das tecnologias inerentes a um sistema de iluminação pública inteligente, abordados nos primeiros capítulos desta dissertação.

4.1.1 Arquitetura do Protótipo

Na Figura 4.1 é possível ver o diagrama de blocos do sistema desenvolvido. Para esta primeira abordagem foram criados três módulos (ver Anexo A), todos eles constituídos pela mesma unidade de controlo, um Arduino Nano, comunicando entre si através de rádios RF, e todos conectados a um LED, com o qual se pretendia simular o elemento de iluminação. Assim, os elementos variáveis entre os 3 módulos eram os sensores. Um módulo continha um sensor para a deteção de movimento, um sensor de tilt e um sensor de luminosidade ambiente. Outro módulo possuía apenas um sensor de temperatura. Por fim, foi desenvolvido um módulo sem nenhum sensor.

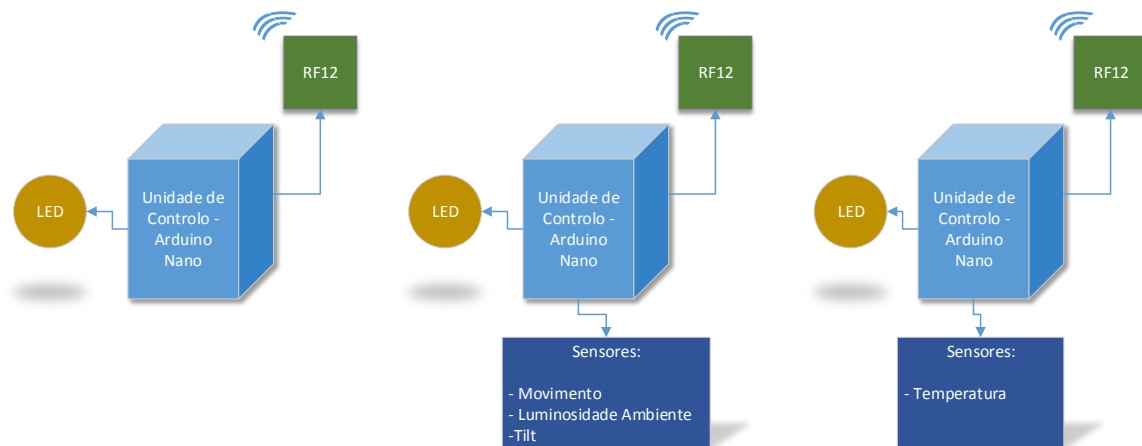


Figura 4.1: Diagrama de blocos do protótipo laboratorial

Os objetivos desta arquitetura foram simular um cenário em que luminárias com sensores diferentes, ou até sem sensores, teriam acesso a todos os valores sensoriais, através da comunicação com os seus pares, e atuar de acordo com os valores recolhidos.

4.1.2 Tecnologias Utilizadas

Na elaboração deste protótipo, no que se refere aos blocos típicos de um sistema de iluminação pública inteligente (ver Figura 3.1), foi dado maior relevo aos blocos de controlo, de comunicação e de sensores. De seguida serão apresentados detalhadamente os elementos constituintes de cada um destes módulos.

Unidade de Controlo

Para desempenhar esta função foi utilizado um Arduino Nano, uma placa de prototipagem perfeita para este tipo de projetos. Fisicamente, tem um tamanho reduzido e apresenta uma disposição de pinos ideal para se acoplar a uma placa branca. Para programar, basta uma ligação USB entre o Arduino Nano e um computador que tenha o IDE do Arduino instalado. Esta placa tem como elemento principal o microcontrolador ATmega328, um microcontrolador RISC da família Atmel AVR de 8 bits. Na Tabela 4.1 pode-se visualizar as principais especificações desta placa.

Microcontrolador	ATmega328
Tensão de operação (nível lógico)	5V
Tensão de alimentação (recomendada)	7-12V
Tensão de alimentação (limites)	6-20V
Entradas/saídas digitais	14 (6 permitem PWM)
Entradas analógicas	8
Corrente DC por pino	40mA
Memória Flash	32KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Frequência de operação	16MHz
Comunicação	UART TTL(5V)/SPI/I2C

Tabela 4.1: Principais características do Arduino Nano [7].

Comunicação

Ao nível da comunicação foram utilizados os módulos RFM12, dispositivos para comunicações sem fios nas bandas ISM (433/868/915MHz), com baixo consumo energético. A frequência a que operam é definida pelo sintetizador de frequências PLL (Phase Locked Loop) de elevada precisão, que pode ser programado para operar em múltiplos canais das diferentes bandas. Possuem ainda um amplificador de potência e um amplificador de baixo ruído, ambos com diferentes níveis programáveis. As suas principais características são apresentadas a seguir [16]:

- Baixo custo;
- Baixo consumo;
- Comunicação por SPI;
- Amplificador de potência integrado;
- RX FIFO de 16 bits;
- TX registos de 28 bits;
- Sintetizador de frequências PLL de elevada precisão;
- Tensão de alimentação: 2.2V até 5.4V;
- wake-up timer
- Desvio de frequência de transmissão programável: 15 até 240 KHz;
- Largura de banda de receção programável: 67 até 400 KHz.

Sensores

Neste protótipo foram integrados quatro tipos diferentes de sensores, sendo dois deles analógicos (o sensor de temperatura e o foto-transistor) e os outros dois digitais (o sensor de Tilt e o sensor de movimento).

O sensor de temperatura utilizado foi o LM335, um sensor de temperatura em circuito integrado, que se comporta como um diodo de zener de dois terminais, em que a tensão de ruptura é diretamente proporcional à temperatura absoluta, sendo a constante de proporcionalidade de 10mV/K [17]. Desta forma, e dada a elevada linearidade do mesmo, é relativamente fácil medir a temperatura com este sensor. Visto apresentar uma saída analógica, lê-se o seu valor recorrendo à ADC do microcontrolador e, de seguida, calcula-se a temperatura por software através da expressão (4.1), em que T_0 é a temperatura de referência:

$$T = T_0 * V_{out}/V_{outT_0} \quad (4.1)$$

Para medir a luminosidade ambiente, o sensor utilizado foi um foto-transistor, mais precisamente o TEPT-5700. Este possui uma sensibilidade à luz visível muito similar ao olho humano, o que o torna adequado para este tipo de aplicações. Além disso, dado o seu ganho de corrente, simplifica-se o circuito de condicionamento, sendo apenas necessária uma resistência para converter o valor para uma tensão, de modo a ser legível pela ADC.

O sensor responsável pela deteção de movimento, foi um módulo constituído por um sensor PIR, com o respetivo circuito de acondicionamento e processamento de sinal, por forma a apresentar uma saída digital. Para além disso, este módulo possuía uma lente de fresnel que permitia aumentar o alcance de deteção.

Por fim, o último sensor utilizado, para verificar a integridade da luminária, foi um sensor desenvolvido numa dissertação anterior, também integrada no projeto LITES [18]. Este sensor era constituído por três sensores de tilt, que funcionavam como interruptores, sendo ativados para uma certa inclinação. Assim, era possível monitorizar o estado da estrutura e, em caso de se verificar uma inclinação anómala, sem retorno à posição original, atuar de acordo com o procedimento definido para esta situação.

4.1.3 Cenários

Na Figura 4.1 pode-se visualizar a forma como os sensores estavam distribuídos pelos 3 módulos. Dos quatro sensores existentes, apenas os três do módulo central (movimento, luminosidade e tilt), estavam associados a um controlo ativo. O valor medido pelo sensor de temperatura restringiu-se apenas para efeitos de monitorização e partilha com os restantes módulos.

Desta forma, os cenários previstos para as alterações dos restantes sensores e respetivos comportamentos encontram-se ilustrados a seguir:

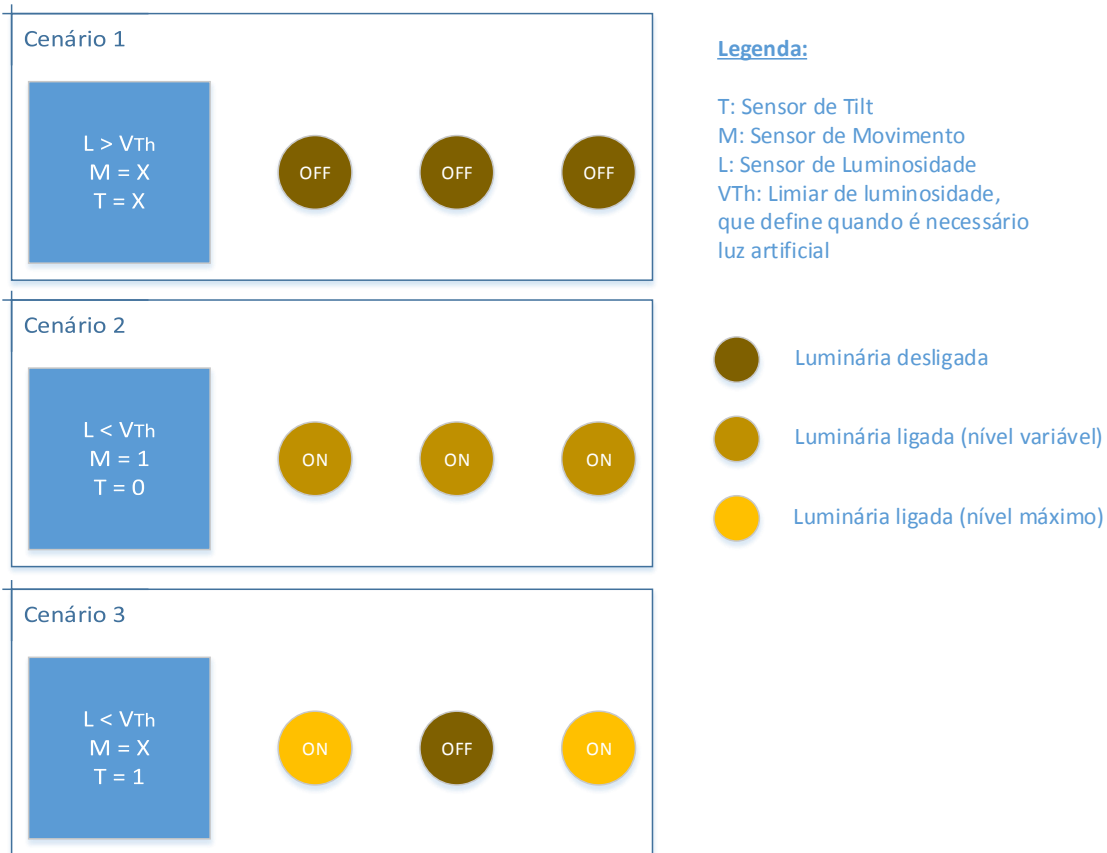


Figura 4.2: Cenários programados no protótipo laboratorial.

No cenário 1 encontra-se ilustrada a situação em que o sensor de luminosidade ambiente reporta um valor acima do limiar definido, para o qual seria necessário complementar a iluminação recorrendo à luz artificial. Deste modo, todas as luminárias permanecem desligadas. No cenário 2, o valor de luminosidade é inferior ao limiar definido, o que implica que as luminárias sejam ligadas. Contudo, o seu fluxo de iluminação é dependente desse valor de luminosidade, ou seja, se for detetado um nível muito baixo o fluxo toma um valor perto do seu valor máximo, caso contrário, apresentará um fluxo de iluminação reduzido. Para isso, recorreu-se à técnica de PWM, com variação dinâmica do duty-cycle de acordo com o valor medido pelo foto-transistor.

No cenário 3, é ilustrada a situação em que a luminária central se encontra danificada. Esta avaria é comunicada às luminárias que são suas vizinhas, para que estas passem automaticamente o seu fluxo para o nível máximo.

Dado que, quer a deteção de movimento, quer a deteção de possíveis danos na estrutura, são acontecimentos críticos, os sensores responsáveis por monitorizar estes acontecimentos foram conectados a uma porta OR em que a saída se conectava, por sua vez, a um pino do Arduino Nano, programável para responder a interrupções externas. A desambiguação de qual dos sensores despoletou a interrupção, era feita posteriormente por software.

4.2 Caso de Estudo II: Solução LITES

O projeto LITES é um projeto cofinanciado pela UE cujo objetivo principal é desenvolver e produzir uma solução inteligente para IP, baseada na tecnologia LED, compatível com os standards elétricos da União Europeia e que apresente uma redução drástica ao nível do consumo energético.

O elemento chave desta solução é alterar dinamicamente a intensidade da luz fornecida pela luminária, em resposta a mudanças ocorridas ao seu redor. Para esse efeito, serão integrados sensores que meçam a luminosidade ambiente, a temperatura e a corrente, e sensores que detetem movimento, permitindo deste modo, que a luminária ajuste a intensidade do seu fluxo luminoso para um valor adequado.

Como fonte de luz, este projeto pretende explorar as vantagens dos LEDs de alta potência que, em comparação com outras tecnologias de iluminação (apresentadas no Capítulo II), são mais robustas e apresentam um tempo de vida superior. Além disso, permitem a alteração dinâmica do fluxo de iluminação de uma forma eficiente.

Este projeto pretende fornecer um serviço de iluminação pública inteligente compatível com as classes de estradas CE2-CE5, S e A-, de acordo com a norma EN13201. Isto significa que a solução desenvolvida poderá ser instalada em ruas secundárias, estradas de acesso, acessos a zonas comerciais, loteamentos, vias pedonais, ciclovias e zonas residências. De igual forma, apresentará conformidade com as normas EN 60598-1 e EN 60598-3 relativas aos padrões elétricos para luminárias, requisitos gerais e condições de teste.

Para este efeito, o LITES prevê a implementação das soluções desenvolvidas em três locais piloto, por forma a testar a performance e a viabilidade das soluções propostas em vários cenários do nosso quotidiano. Assim, os quatro locais escolhidos foram: a cidade de Bordéus (França), Universidade Técnica de Riga (Letónia) e a Universidade de Aveiro (Portugal). Assim sendo, está prevista a instalação de 200 luminárias.

No caso da instalação piloto da Universidade de Aveiro, foi selecionada a infraestrutura da Ponte do Crasto. Várias razões contribuíram para esta escolha, entre elas salientam-se:

- as condições climáticas variáveis, sendo um local propício a nevoeiro e sujeito a elevados níveis de humidade e de salinidade;
- o facto de a estrutura ser uma ponte, implica que esta esteja sujeita a elevadas vibrações que, por sua vez, são induzidas nos LEDs e podem, conseqüentemente, ter influência no seu tempo de vida ou na sua eficiência luminosa. Desta forma, este é um bom local para estudar essa relação;
- a modernização do sistema de iluminação existente que, para além de ser mais dispendioso em termos de consumos energéticos, não era um sistema eficiente ao nível da iluminação, provocando mais poluição luminosa que iluminação útil.

Visto que os gastos da IP representam uma elevada fatia no orçamento da maior parte dos municípios, um dos objetivos deste projeto é apresentar uma solução que, por um lado, possa gerar poupanças energéticas até 70% e que, por outro, seja uma solução economicamente acessível, com um retorno do investimento num curto espaço de tempo.

Deste modo, pretende-se que a solução obtida seja apetecível para os municípios, que para além dos benefícios económicos e ecológicos, represente também um aumento da segurança rodoviária e do conforto para a população em geral.

4.2.1 Arquitetura geral do sistema

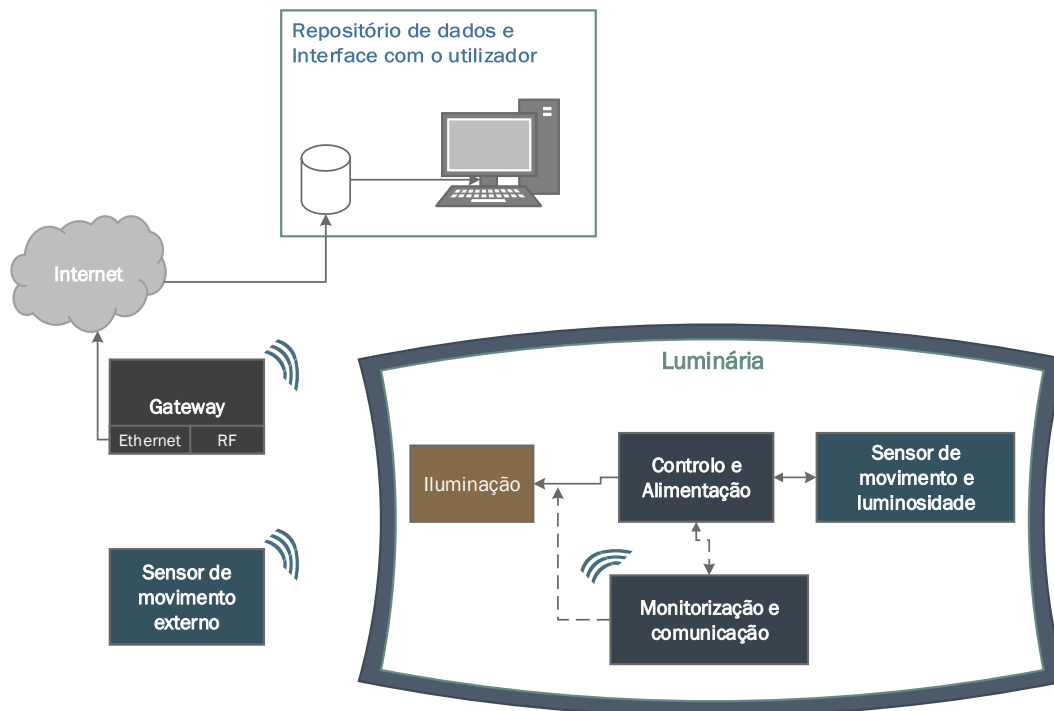


Figura 4.3: Arquitetura geral da solução LITES.

A arquitetura geral do sistema está representada na Figura 4.3, onde podemos distinguir dois grupos: o grupo dos blocos interiores à luminária e o grupo dos blocos externos a esta. Começando pelo primeiro grupo, podemos identificar os dois blocos essenciais a um sistema de iluminação: o bloco de iluminação e o bloco de alimentação e controlo. Conectados a este último, encontram-se os sensores que recolhem as informações relativas ao ambiente exterior à luminária, um sensor de movimento e um sensor de luminosidade. Serão estes sensores que permitirão efetuar um controlo ativo sobre a unidade de iluminação. Por fim, existe o módulo de monitorização e de comunicação, que desempenha o papel de recolha e processamento de dados provenientes de diversos sensores e os envia para uma gateway, através do módulo de comunicação.

No grupo dos módulos exteriores à luminária, existe um sensor de movimento, que permite aumentar o alcance de deteção das luminárias que se encontram nas extremidades da infraestrutura de iluminação (ver secção 5.1). Pode-se ainda identificar a gateway, que tem como funcionalidade receber os dados provenientes das luminárias através de um módulo de RF e, após validação e processamento dos mesmos, enviá-los para um repositório na web. Este repositório pertence ao último bloco, onde para além da funcionalidade de armazenamento, os dados são apresentados ao utilizador através de uma interface web.

4.2.2 Os diversos módulos em detalhe

Tal como foi referido na secção anterior, podemos dividir os blocos constituintes do sistema em dois grupos: os internos e os externos à luminária. Deste modo, na apresentação detalhada de cada bloco, será feita a mesma diferenciação.

Antes de descrever cada bloco, é importante sublinhar que no âmbito desta dissertação foram apenas desenvolvidos o bloco de monitorização e comunicação, o sensor de movimento externo, a gateway e a interface com o utilizador. No fim, proceder-se-á à interligação dos módulos desenvolvidos com os restantes, de modo a obter um sistema final completamente funcional.

Blocos internos à luminária

O protótipo da Ponte do Crasto consistirá num total de 31 luminárias, que estarão divididas em sete grupos de 4 e um grupo de 3. Pode-se observar na Figura 4.3 o bloco de iluminação, o bloco de controlo e alimentação, o sensor de movimento e o sensor de iluminação. Estes serão comuns a todas as luminárias. Já o bloco de monitorização e de comunicação, irá apenas figurar em uma luminária por grupo, o que perfaz um total de 8 luminárias. Dessas 8 luminárias, as duas que pertencem aos grupos que se encontram nos extremos da ponte, estarão ainda dotadas de um relé. Este atuará quando o sensor de movimento externo indicar que há peões a aproximarem-se da entrada da ponte (para perceber melhor o esquema de funcionamento do sistema ver secção 5.1).

Na Figura 4.4 pode visualizar-se uma das 8 luminárias. Os principais elementos encontram-se legendados na própria figura.



Figura 4.4: Luminária. (Legenda: 1- Unidade de iluminação; 2- Unidade de controlo e alimentação; 3- Sensor de luminosidade e de movimento; 4- Unidade de monitorização e comunicação; 4.1- Rádio pertencente à unidade 4).

De seguida, será então feita uma descrição dos módulos e dos respetivos elementos que os integram.

- **Unidade de Iluminação:**

Como já foi referido, é um dos objetivos do Projeto LITES o desenvolvimento de uma solução baseada na tecnologia LED. No entanto, no mundo dos LEDs, há inúmeros tipos com diferentes características. Posto isto, apresentam-se os LEDs que foram utilizados neste projeto e as suas principais características.

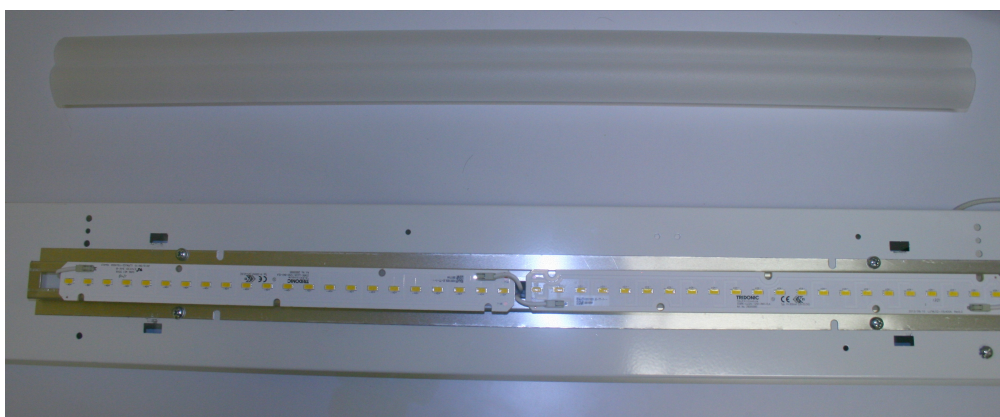


Figura 4.5: LEDs e difusor.

Os LEDs estão visíveis na Figura 4.5, onde é também possível visualizar um difusor. A função deste elemento é difundir a luz total emitida pelos LEDs de uma forma homogénea. Relativamente aos LEDs, como se pode verificar pela Figura 4.5, serão usados para iluminação dois arrays de 22 LEDs. As principais características destes estão presentes na Tabela 4.2:

STARK-LLE24-280-1250-840-CLA	
IRC	> 80
Tempo de vida	até 50 000h
Temperatura de cor	4000K
Fluxo luminoso (típico)	1360lm
Consumo de potência (típico)	11,8W

Tabela 4.2: Principais características do módulo de LEDs.

- **Unidade de Controlo e de Alimentação:**

Este papel é desempenhado pelo conversor “Talex LCAI 30W 700mA one4all”, ou seja, este dispositivo não só se comporta como um regulador de tensão para alimentar os LEDs, como também possui funcionalidades de dimming imbuídas.

Através da Figura 4.6, que ilustra o funcionamento típico de uma luminária LED com capacidade de dimming, pode perceber-se melhor que variáveis podem ser programáveis. Assim, há dois valores temporais (representados por 1 e 2 na figura) e dois valores de nível de fluxo luminoso (representados por A e B na figura).

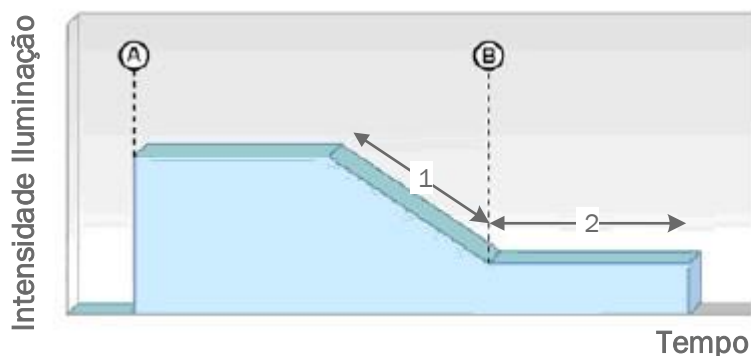


Figura 4.6: Funcionamento típico de uma luminária LED com desvanecimento.

Os valores de A e B representam, respetivamente, o valor máximo e o valor mínimo de intensidade que a luminária deve atingir, sendo que o intervalo programável vai de 1% a 100%.

O tempo representado por 1 é o tempo de desvanecimento e pode tomar valores entre 0.05s e 90s, programável no driver.

Por fim, a outra variável temporal, o valor 2, representa o tempo durante o qual a luminária deve permanecer no estado mínimo antes de se desligar por completo. Este valor pode ser programável para ter valores entre 0 e 40 minutos, mas há também a possibilidade de “Nunca-desligar”, em que este tempo deixa de ter efeito e a luminária ficará sempre no estado de iluminação mínimo até algo despoletar novamente a alteração para o valor máximo.

Para finalizar a descrição deste módulo, falta apenas referir que a curva de dimming está adaptada à sensibilidade do olho humano, uma vez que este não processa o brilho de uma forma linear.

- **Sensor de movimento e luminosidade:**

No cenário em causa, a melhor solução encontrada para deteção de movimento, foi um sensor de alta frequência, mais precisamente o Micas AUTOLIGHTxs (Figura 4.7). Há que ressaltar que este módulo contém também um sensor de luminosidade integrado, mas que, no entanto, não teve utilização prática no sistema final. Isto deve-se ao facto de se ter optado antes pelo uso de um sensor crepuscular para controlar a alimentação de todo o sistema de iluminação.

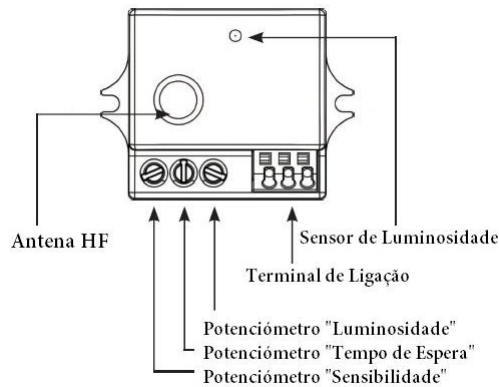


Figura 4.7: Módulo Micas AUTOLIGHTxs.

Este sensor tem alguns parâmetros variáveis, que podem ser programados através de potenciômetros, tal como se pode ver na Figura 4.7.

O valor da luminosidade pode estar contido no intervalo 1 a 1000 Lux e será este valor que definirá para que valor de luminosidade exterior o sensor de movimento funcionará, de modo a poder despoletar a luminária para o seu nível máximo. O potenciômetro “tempo de espera”, define o tempo que a luminária tem de estar com o seu brilho máximo (pré-programado na unidade de controlo e de alimentação), após ter sido detetado movimento. Por fim, o potenciômetro “sensibilidade” define, tal como o nome indica, a sensibilidade do sensor de movimento, que pode ir desde 20% até 100%. No caso de este último potenciômetro ser programado para o sensor atuar com a máxima sensibilidade, isto representa uma área de deteção com um diâmetro de 10m, quando colocado a uma altura de 2,6m.

Este sensor de alta frequência funciona a 5,8 GHz e emite uma potência inferior a 5mW. O controlo do driver promovido por este sensor de movimento é baseado na simples comutação de fase (220v), o que torna este tipo de sistemas simples e compatível com outras soluções existentes no mercado anteriores ao LED. Para se perceber melhor o esquema de funcionamento, o mesmo encontra-se ilustrado na Figura 4.8.

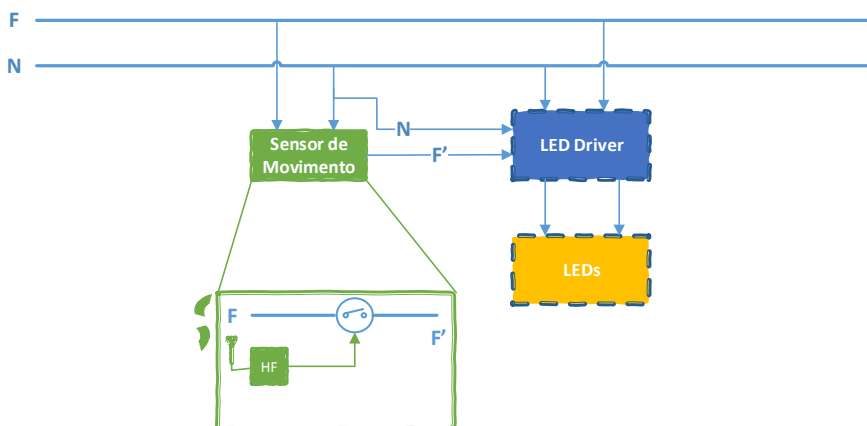


Figura 4.8: Diagrama de atuação do sensor de movimento no LED driver.

- **Unidade de Monitorização e Comunicação:**

Através da Figura 4.9, pode-se esperar identificar mais detalhadamente todos os elementos que constituem esta unidade.

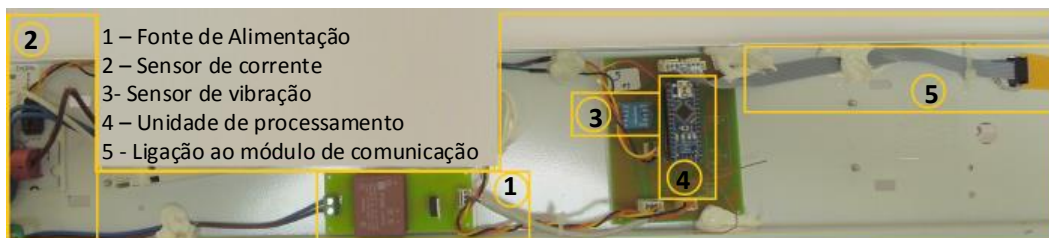


Figura 4.9: Elementos que constituem a unidade de monitorização e comunicação.

Assim, pode começar-se por identificar a unidade de alimentação, que tem como função fornecer a energia necessária aos sensores, à unidade de comunicação e à unidade de processamento. Dado que estes elementos operam a diferentes níveis de tensão, são disponibilizados para esta placa: 12V, 5V, 3.3V e o sinal terra.

De seguida, pode identificar-se os sensores incluídos na luminária, que são essencialmente sensores de manutenção e sensores de integridade da luminária. Por forma a perceber melhor o tipo de sensores utilizados, é feita a seguir uma breve descrição.

Sensor de corrente: O sensor de corrente escolhido foi o TA12-100(Figura 4.10). Este sensor consiste de um transformador de corrente o que permite, por um lado, obter um isolamento galvânico entre o circuito primário (neste caso e o próprio condutor) e o circuito de medição e, por outro, a medição de corrente é efetuada de forma não invasiva. Estes foram fatores fundamentais na sua escolha.



Figura 4.10: Sensor de corrente.

O funcionamento deste tipo de sensores é relativamente simples. O transformador de corrente faz uso da intensidade do campo magnético em torno do fio condutor, que induz uma corrente I_s (Figura 4.11) no enrolamento secundário. Essa corrente irá percorrer uma resistência R_s (200 Ohm no TA12-100), resultando numa queda de tensão aos seus terminais que pode ser lida através de uma ADC. O valor da corrente primária, que é no fim de tudo o que se pretende saber, pode ser calculado por software, sendo apenas

necessário saber qual é a relação de transformação da corrente. Esta relação é definida pelo número de espiras do transformador. No caso do TA12-100, essa relação é de 1:1000.

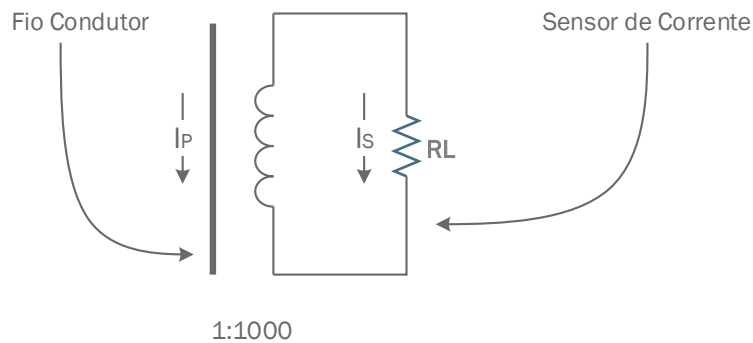


Figura 4.11: Circuito de funcionamento do sensor de corrente.

Dado o princípio de funcionamento deste tipo de sensores, estes só funcionam para correntes alternadas, pelo que a corrente global consumida pela luminária é medida diretamente no cabo de alimentação de 220V. No caso deste sensor, o valor de corrente máximo mensurável é 5A.

Sensor de temperatura e humidade: Para desempenhar esta função foi selecionado o módulo DHT21 (ou AM 2301), representado na Figura 4.12. Este módulo integra um sensor de humidade capacitivo, que permite a medição da humidade relativa, e um termistor, para monitorizar a temperatura. Este é um sensor digital, sendo apenas necessário um fio para a obtenção dos dados pelo microcontrolador. A precisão do sensor de humidade presente neste módulo é de +3% e a precisão do sensor de temperatura é de +0,5%.



Figura 4.12: DHT21 (ou AM2301).

Visto que o objetivo principal deste módulo é a monitorização da temperatura dos LEDs, este foi colocado na parte traseira da matriz de LEDs, fixado no dissipador de calor, o que torna impossível a sua visualização na Figura 4.9.

Sensor de vibração: Como sensor de vibração foi utilizado o ADXL345, um acelerómetro digital de 3 eixos, de elevada resolução (13bits). A comunicação pode ser efetuada através de SPI ou de I2C, sendo que foi dada preferência à comunicação por I2C, pelo facto do módulo de comunicação estar a utilizar o barramento de SPI para comunicação com o microcontrolador.

Na Figura 4.13 está ilustrado o diagrama de blocos do ADXL345, e, como se pode verificar, este inclui um buffer de 32 níveis que permite minimizar a intervenção do microcontrolador.

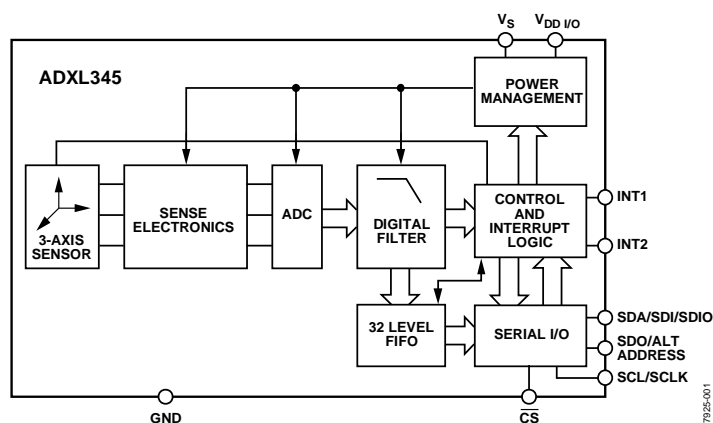


Figura 4.13: Diagrama de blocos do ADXL345. Fonte [5]

Outra vantagem deste sensor é a sua performance em termos de consumo. A corrente consumida pode ser tão baixa como 23uA quando em medição, ou 0,1uA se estiver em standby.

Com este sensor pretende-se então medir a vibração a que os LEDs estarão sujeitos e, desta forma, poder futuramente correlacionar essa vibração com o desempenho dos LEDs. Além disso, este sensor será útil como medida preventiva no caso de tentativas de danificar ou violar intencionalmente a luminária. Assim, após se verificar uma vibração anormal, poder-se-á enviar um aviso para que os responsáveis pela segurança se dirijam ao local.

• **Unidade de processamento:**

Esta é a unidade central, onde se ligam os sensores e o módulo de comunicação. De um modo geral, é responsável pela aquisição, processamento e envio dos dados sensoriais. Para este efeito foi utilizado um Arduino Nano, também utilizado anteriormente no protótipo laboratorial (ver secção 4.1.2). Esta placa de prototipagem, para além de ter um tamanho reduzido e ser de fácil integração, possui um microcontrolador ATmega328 que cumpre todos os requisitos necessários para este projeto nomeadamente:

- Tamanho Reduzido;
- Baixo custo;
- Suporte para comunicação SPI;

- Suporte para comunicação I2C;
- ADC;
- Entradas e saídas digitais;

O uso prévio deste dispositivo, representa também uma vantagem.

- **Software:**

A linguagem de programação do Arduino é uma implementação de Wiring, framework open-source de programação para microcontroladores.

O código desenvolvido para este módulo encontra-se disponível no Anexo B.1.

- **Módulo de comunicação:**

O dispositivo de comunicação escolhido (lado externo da Figura 4.4) foi um módulo constituído pelo chip nRF24L01+, transceptor de 2,4 GHz, com um amplificador de potência e um amplificador de baixo ruído. Este rádio opera na banda ISM e pode funcionar em 126 canais. Dado que a resolução é de 1MHz, o intervalo de frequências em que pode operar vai de 2400MHz até 2525MHz.

Outra característica deste rádio, é a capacidade de suportar pacotes com tamanho desde 1 byte até a um máximo de 32 bytes e pode transmitir a 250kbps, a 1Mbps ou a 2Mbps. Em termos de consumos, a potência de transmissão do rádio pode ser programada para 0, -6, -12, -18dBm, sendo que a transmitir a 0dBm apresenta um consumo de 11,3mA. Por sua vez o recetor apresenta um consumo de 13,5mA a operar a uma taxa de transmissão de 2Mbps [19].

Tal como o Bluetooth, este rádio também modula o sinal por GFSK, que é semelhante à modulação por FSK, mas neste caso os impulsos antes de serem modulados passam por um filtro gaussiano de modo a suavizar a transição entre os impulsos e, assim, diminuir a largura espectral dos mesmos.

Ao nível da comunicação com o microcontrolador, esta é feita por SPI. Outra característica importante no que se refere à interligação com o microcontrolador, é a tolerância deste chip a sinais até 5V, apesar de requerer uma alimentação entre 1.9V até 3.6V.

Blocos externos à luminária

No que diz respeito aos blocos exteriores à luminária, podemos identificar os seguintes blocos:

- **Sensor de movimento externo:**

Este sensor foi desenvolvido anteriormente, também ao abrigo do projeto LITES, sendo que foram efetuadas algumas alterações relativamente ao protótipo inicial, por forma a adaptá-lo ao sistema final.

Assim, ao nível do hardware, a PCB foi redesenhada para se adaptar o circuito ao Arduino Nano (que substitui a PIC 18F26K22), para suportar ligação com o módulo de comunicação (igual ao que se encontra nas luminárias) e para suportar ligação ao módulo de alimentação.

Este sensor é constituído por duas tecnologias distintas, mas ambas capazes de detetar

movimento. O objetivo é então tirar partido das vantagens de ambas para se obter um sensor de movimento fiável mas de baixo consumo.

Para conseguir atingir esse objetivo, este sensor integra um PIR, que é um elemento passivo, para a monitorização constante de movimento, mas que no entanto, dado que não é um sensor muito fiável, ativa por sua vez um sensor de micro-ondas que vai confirmar a existência ou não de movimento. Apesar de este tipo de sensores ser mais confiável, apresentam elevados consumos energéticos. Contudo, com esta solução híbrida, em que apenas funciona quando há necessidade de averiguar a veracidade da existência de movimento, é contornado esse problema.

Para se perceber melhor o funcionamento deste sensor, o mesmo encontra-se ilustrado na Figura 4.14. Após ser detetado movimento por este sensor (1), este comunicará com a luminária do extremo (2), para que esta altere o fluxo de iluminação para o nível máximo (3). Para que isto seja possível é necessário que as luminárias dos extremos estejam dotadas de um dispositivo que funcione como um interruptor, pois o princípio de funcionamento é o mesmo que o sensor de movimento presente nas luminárias, isto é, através da comutação de fase (220V). Para este efeito foi utilizado um relé (4).

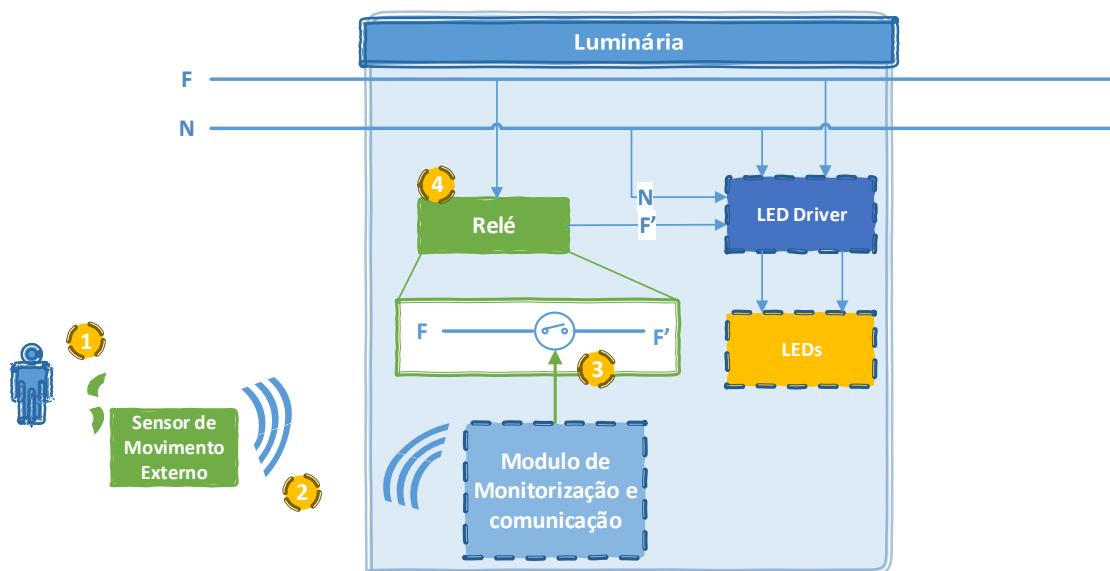


Figura 4.14: Diagrama de funcionamento do sensor de movimento externo.

- **Gateway:**

A gateway desenvolvida encontra-se representada na Figura 4.15. Nessa figura pode identificar-se quatro elementos principais: a caixa de proteção, a fonte de alimentação, o módulo de comunicação e o Beaglebone Black.

A caixa, tem a funcionalidade de proteger todos os componentes que se encontram no seu interior. Deste modo, a caixa escolhida tem um IP (índice de proteção) de 65 o que permitirá uma boa proteção contra àgua e poeiras.

O módulo de comunicação já foi apresentado, pois é igual ao que se encontra nas luminárias.

A fonte de alimentação tem como função fornecer a energia necessária para o correto funcionamento do Beaglebone Black e, portanto, foi projetada para fornecer 5V e até um máximo de 1A.

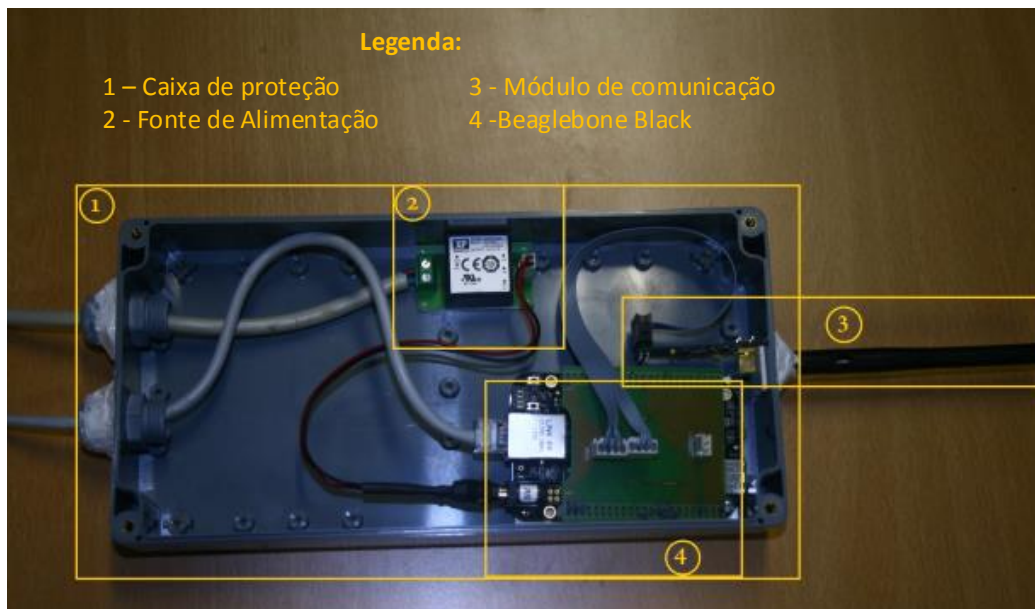


Figura 4.15: Gateway desenvolvida.

O elemento principal é o Beaglebone black, representado na Figura 4.16, que se apresenta como uma poderosa placa de desenvolvimento de baixo custo. Como processador, esta placa inclui um AM335x (ARM Cortex-A8), baseado na arquitetura ARMv7, que tem a capacidade de funcionar a uma velocidade desde 600MHz até a uma velocidade superior a 1GHz. Possui ainda, 512Mb de memória RAM (DDR3), uma memória flash eMMC de 2Gb, acelerador de gráficos 3D e dois microcontroladores (PRU) de 32bits. Em termos de ligações, tal como se pode ver na Figura 4.16, tem capacidade para se conectar por USB, por ethernet, HDMI e tem ainda 4 colunas de 23 pinos programáveis [20]. Para uma ligação mais prática e eficaz entre o módulo de comunicação e o Beaglebone, foi desenhada uma PCB, visível na Figura 4.15.

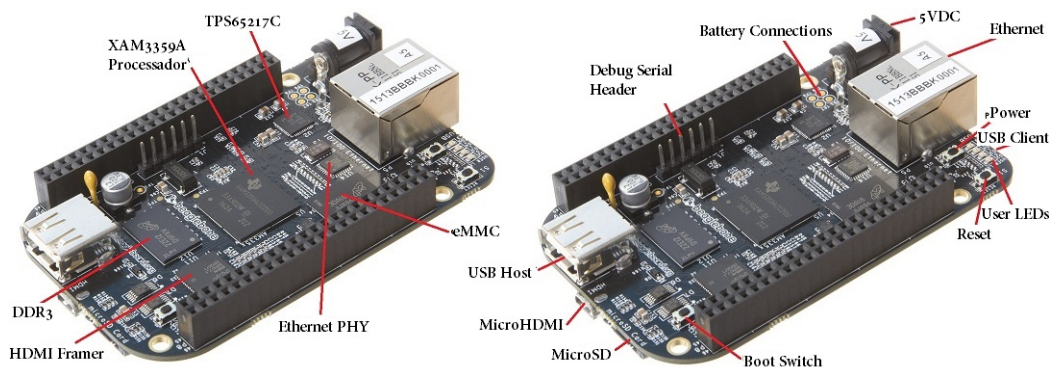


Figura 4.16: Beaglebone Black.

- **Software:**

O Beaglebone Black suporta diversos sistemas operativos, sendo que o que vem de origem é o Angstrom. Este é uma distribuição de Linux desenvolvida para sistemas embebidos.

Em termos de programação, a escolha recaiu sobre a linguagem de programação Python. O código desenvolvido para esta plataforma encontra-se no Anexo B.2.

- **Plataforma de recolha de dados e interface com o utilizador:**

Para a recolha dos dados provenientes dos sensores, foi usada uma plataforma desenvolvida pelo ATNOG¹, o OpenEnergy Monitor. Com esta plataforma é possível coletar os dados, armazená-los e, posteriormente, visualizá-los graficamente.

Visto que a interface com o utilizador deve ser algo simples e intuitivo, foi criado um web site por forma a facilitar a monitorização dos sensores das diferentes luminárias. Pode ver-se uma representação do mesmo na Figura 4.17.

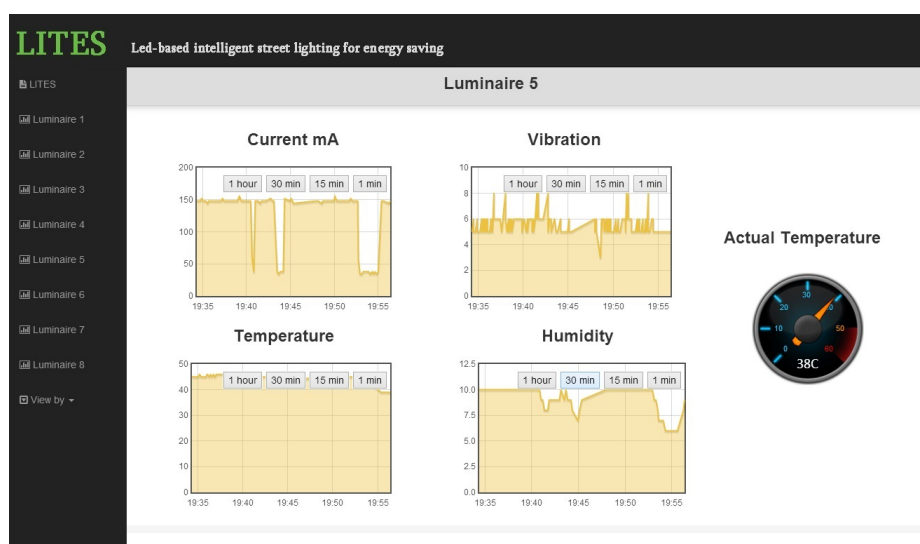


Figura 4.17: Interface web.

Através desta interface é possível visualizar os gráficos referentes aos sensores das luminárias, sendo que no caso da Figura 4.17 estão a ser apresentados os gráficos referentes à luminária 5. A luminária que se pretende monitorizar é escolhida na barra lateral, sendo também possível visualizar por tipo de sensor (corrente, humidade, temperatura ou vibração).

¹Advanced Telecommunications and Network Group, um grupo de investigação do IT de Aveiro, fundado em 2011

Em suma

Este capítulo serviu para fazer a apresentação dos dois casos de estudo desta dissertação. Relativamente ao protótipo laboratorial, foram cumpridos os objetivos propostos. Quanto ao segundo caso de estudo, foi apresentada a arquitetura geral do sistema, com a posterior apresentação em detalhe de cada módulo integrante no sistema.

Capítulo 5

Implementação do LITES

No presente capítulo será descrita a forma como os módulos apresentados no capítulo anterior foram interligados e explicar-se-á o funcionamento global do sistema. Será ainda efetuada a apresentação e respetiva análise dos dados obtidos após a instalação do sistema.

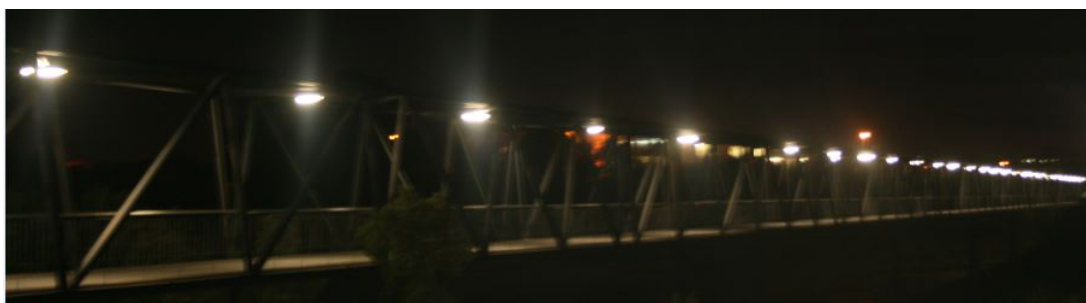


Figura 5.1: Iluminação da Ponte do Crasto com a solução desenvolvida no projeto LITES .

5.1 Funcionamento global do sistema

Para se perceber melhor o funcionamento global de todo o sistema implementado, encontra-se na Figura 5.2 uma representação do mesmo.

1. A alimentação necessária para o funcionamento do sistema é controlada por um sensor crepuscular. Isto permite aumentar a eficiência do sistema, uma vez que desta forma, o mesmo só é alimentado quando for detetado, pela célula crepuscular, um nível de luminosidade que pressupõe a necessidade de complementar a iluminação com luz artificial.
2. Como se pode visualizar na Figura 5.2, as luminárias encontram-se agrupadas em grupos de 4. Significa isto que, quando um sensor de movimento de uma luminária de um certo grupo deteta movimento, não só provoca a passagem para o nível de luminosidade máximo da própria luminária, como também o faz para todas as luminárias desse mesmo grupo.
É possível verificar ainda, a existência de luminárias com dois sensores de movimento.

O objetivo desta solução é, para além de ter um sensor de movimento que ativa o grupo, ter outro sensor que ative o grupo de luminárias seguinte. Consegue-se, assim, anunciar previamente a chegada do peão a esse grupo e com isto, evitar que as luminárias apresentem um nível de intensidade máximo, apenas quando o peão entrar no seu raio de deteção.

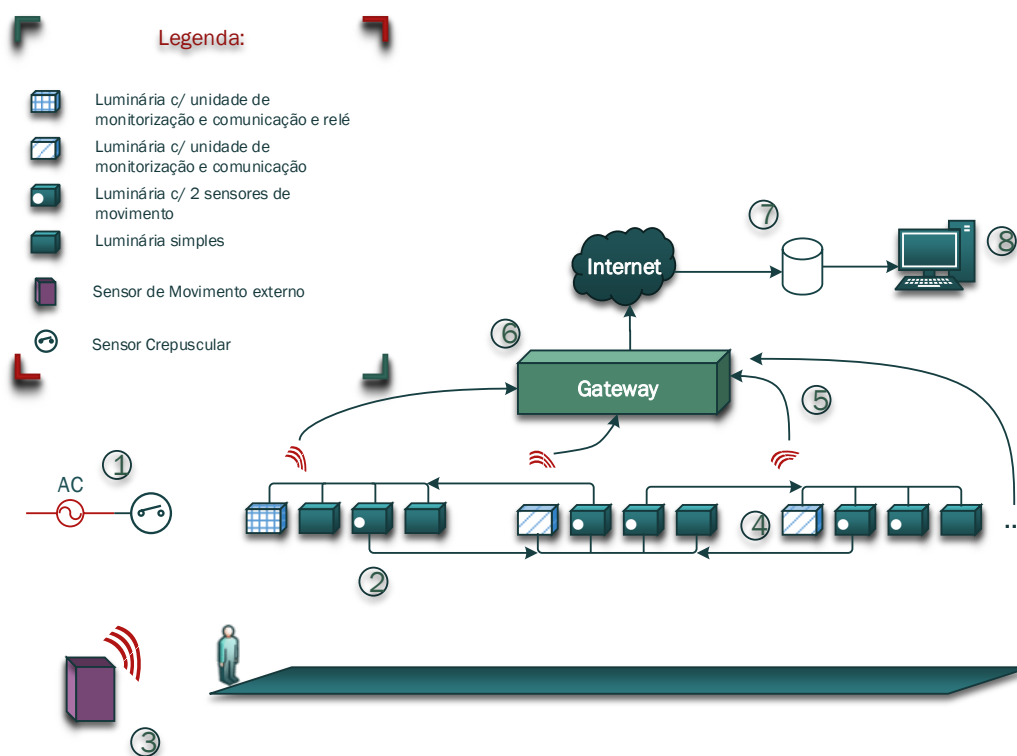


Figura 5.2: Esquema global do sistema final.

- Os grupos de luminárias dos extremos não têm, do ponto de vista de quem vai entrar na ponte, nenhum grupo precedente. Desta forma, não havendo nenhum sensor de movimento que antecipe a chegada de alguém a esse grupo, a solução desenvolvida foi a colocação de um sensor de movimento externo que, através de comunicação por RF, forneça informações acerca da existência, ou não, de movimento junto às extremidades da ponte.

Para que seja possível à luminária comutar para o seu nível máximo, é necessário que esta esteja dotada de um dispositivo que funcione como interruptor. Deste modo, as luminárias dos grupos localizadas nos extremos que possuam o módulo de monitorização e comunicação, estão também dotadas de um relé, que é controlado pelo Arduino para esse efeito. De notar que a acção deste relé é semelhante à acção promovida pelos sensores de movimento no LED driver, ou seja, apenas comuta a fase do sinal de alimentação.

- Como se pode ver na Figura 5.2, todos os grupos contêm uma luminária dotada de uma unidade de monitorização e comunicação. As variáveis que são monitorizadas por esta unidade são a temperatura dos LEDs, a humidade presente na luminária, a vibração

a que esta está sujeita e a corrente consumida durante o seu funcionamento. Com estes valores, é possível supervisionar o correto funcionamento da luminária, detetar a integridade da estrutura através dos sensores de vibração e de humidade, e verificar os consumos realizados pela luminária. Estes dados poderão também ser úteis para estudos futuros, como por exemplo, sobre a influência da vibração no tempo de vida útil dos LEDs.

5. Após a monitorização, é necessário extrair os dados das luminárias e concentrá-los numa gateway que fará o posterior reencaminhamento. Para este efeito, foi necessário implementar uma rede de comunicação entre as luminárias e a gateway.

A topologia utilizada foi uma topologia em árvore dinâmica. Esta topologia foi pensada com o intuito de se obter uma rede mais tolerante a falhas. Para se perceber melhor as vantagens do uso desta topologia, são ilustrados na Figura 5.3 dois possíveis casos de falha na rede de comunicação. Primeiro, o caso em que o nó L3 avarie e, portanto, deixe de comunicar. Com esta topologia esta falha não compromete a comunicação entre o nó que é seu descendente, L2, e a gateway. Isto acontece porque quando um nó perde a comunicação com o seu "pai", ele passa a ser "filho" de outro nó com o qual consiga comunicar. O outro cenário é o caso em que a distância entre um nó descendente direto da gateway e a própria gateway (representado na Figura 5.3 pelo caminho entre a gateway e o nó L8) não é suficiente para que se realize a comunicação entre ambos. Neste caso, o nó irá desempenhar o papel de "filho" de um nó mais próximo da gateway, L5, e obterá assim um caminho de comunicação para a mesma.

Nesta primeira implementação, as luminárias foram programadas para enviar um pacote de dados a cada 10s, a uma taxa de 250kbps. Esse pacote de dados tem um tamanho de 22bytes, em que 8 estão reservados para o cabeçalho, onde figurarão informações como: a identificação da luminária transmissora, a identificação do nó recetor, o número do pacote, entre outras. Os restantes 14 bytes, são destinados para os dados recolhidos dos sensores.

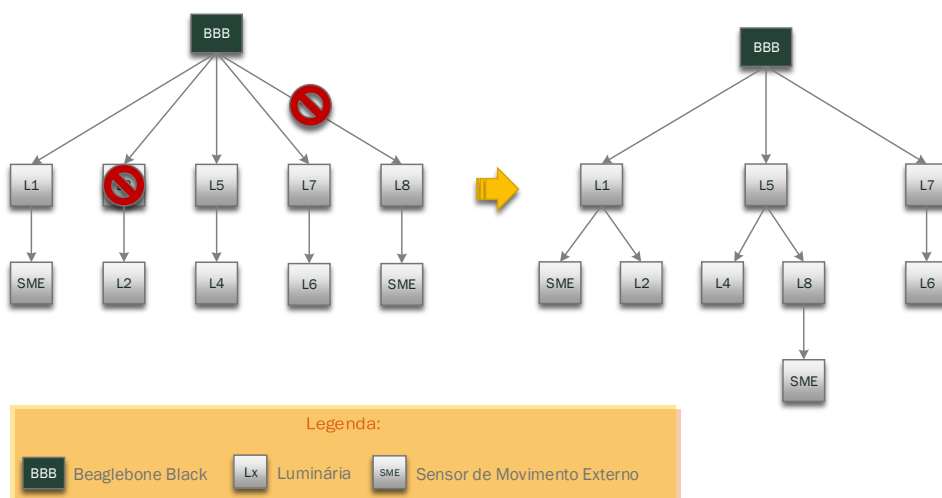


Figura 5.3: Tolerância a falhas da topologia de comunicação utilizada.

6. É na gateway que se concentram os dados transmitidos por todas as luminárias. Esta unidade é, então, responsável por tratar e validar os dados recebidos e proceder ao posterior envio dos mesmos através de uma ligação à internet, para um servidor de base de dados.
7. O servidor de base de dados, após o pedido da gateway, armazena os dados recebidos na respetiva base de dados.
8. Por fim, através de uma interface web, é possível monitorizar em tempo real as medições que estão a ser efetuadas pelos sensores nas luminárias, bem como valores passados.

5.2 Recolha de dados

Após a implementação de todo o sistema, é então possível proceder-se à recolha dos dados emitidos pelos sensores. Assim, é possível visualizar, na Figura 5.4, os gráficos referentes aos mesmos, que estão a ser apresentados através de um interface web em tempo real.

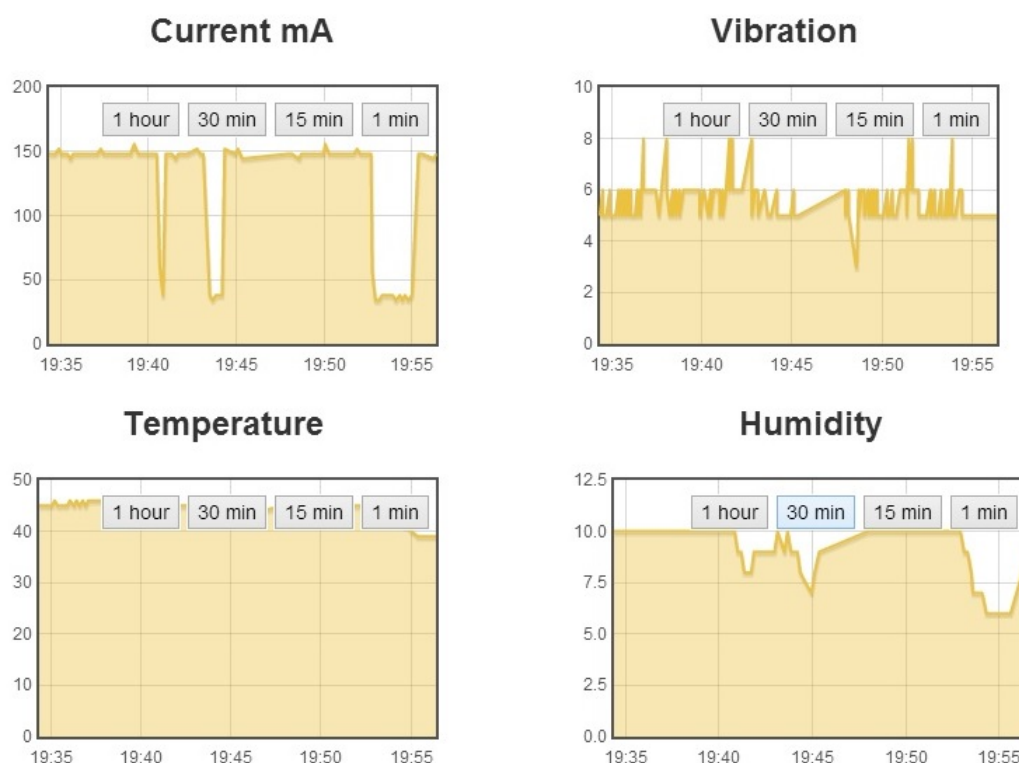


Figura 5.4: Dados recolhidos dos sensores, visíveis na interface web.

Na Figura 5.4 estão apresentados os gráficos referentes aos sensores da luminária 5. É possível visualizar graficamente os valores da temperatura e vibração a que os LEDs estão sujeitos, o valor da corrente que está a ser consumida e a humidade relativa que está presente na luminária.

Analisando mais detalhadamente a imagem, é possível verificar que o gráfico que representa a corrente consumida mostra um sinal que quase se comporta como digital. Este comportamento é normal, uma vez que o tempo de *fade out* pré-programado é relativamente curto. Isto impõe que a luminária esteja praticamente apenas em dois estados: com fluxo de iluminação máximo ou com fluxo de iluminação mínimo. É lógico que, quando a luminária se encontra no seu estado máximo, o consumo seja maior, e quando se encontra no nível de intensidade mínimo, o consumo é inferior. Assim a relação do consumo com o estado da luminária é direto, sendo que quando está representado um consumo de cerca de 150mA, a luminária encontra-se no estado máximo, e quando é cerca de 40mA, esta encontra-se no estado mínimo.

Dado que a luminária tem um comportamento monoestável, em que o estado instável corresponde à luminária no seu nível máximo, sendo este controlado pelo sensor de movimento, pode então, através da análise do gráfico de corrente, saber-se em que alturas houve peões a atravessar a ponte. Isto poderá ser útil para estudos futuros, relacionados, ou não, com o sistema de iluminação.

Relativamente à vibração que a luminária sofre, este valor é independente do estado em que esta se encontra, sendo que serve apenas para efeitos alarmísticos e para estudos futuros que correlacionem a vibração com o tempo de vida dos LEDs. Dos dados recolhidos e visíveis na figura, é possível concluir que, apesar de se conseguir fazer a leitura da vibração, é necessário rever o código, uma vez que o valor de referência não está, por vezes, a ser calculado corretamente. Isto conduz à situação verificada no gráfico da vibração, em que o valor de referência em vez de ser zero é aproximadamente 5.

A temperatura dos LEDs pode, logicamente, ser relacionada com o estado da luminária, sendo que para um nível de luminosidade máxima a temperatura é maior. Assim, analisando o gráfico da corrente verificamos que no período de amostragem em causa, a luminária se encontrou a maior parte do tempo no estado de luminosidade máxima. Desta forma, é normal que o gráfico referente à temperatura dos LEDs apresente um sinal quase constante, excetuando os instantes finais em que se verifica um pequeno decaimento devido à passagem da luminária para o valor mínimo, também visível através do gráfico da corrente.

O valor da humidade não representa de uma forma fiável a humidade presente na luminária, uma vez que se encontra acoplado ao sensor de temperatura e este, por sua vez, encontra-se junto ao dissipador de calor dos LEDs. Desta forma, nota-se, também, uma variação da humidade com a alteração do fluxo luminoso da lâmpada.

Para além da visualização dos dados sensoriais por cada luminária, é possível também, a visualização gráfica por tipo de sensor. Assim, como se pode ver na Figura 5.5, é possível monitorizar ao mesmo tempo, por exemplo, todas as correntes das luminárias.

De notar que a luminária 8 não está a reportar valores de corrente, isto deve-se ao facto de, no momento da escrita da presente dissertação, esta ainda não ter sido instalada. No entanto, poderia muito bem ser um caso de avaria da luminária, o que com este sistema teria sido prontamente detetado e, conseqüentemente, notificados os serviços responsáveis pela reparação da mesma.

Outro facto a apontar é o gráfico da corrente referente à luminária 1 que apresenta valores muito superiores às restantes. Isto verifica-se porque na luminária 1, em vez da medição da corrente que está a ser consumida pela própria luminária, procedeu-se à medição da corrente total do sistema de iluminação.

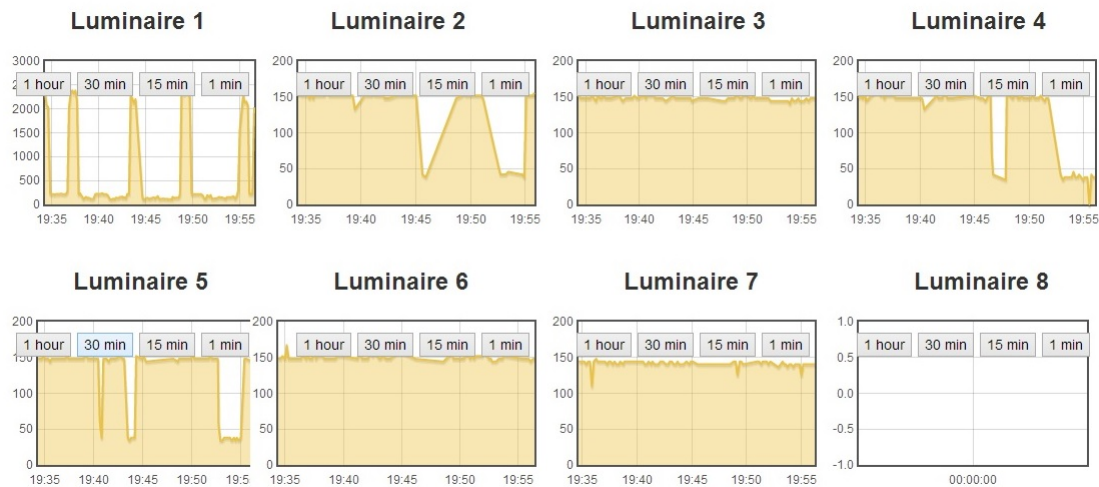


Figura 5.5: Visualização dos valores de corrente em todas as luminárias.

5.3 Discussão

Para finalizar, resta apenas fazer uma pequena discussão acerca de todos os aspetos relativos ao funcionamento do sistema final.

Aproveitando a Figura 5.4, em 4 é feita a monitorização de algumas variáveis relacionadas com o funcionamento do sistema, portanto, aqui o sistema pode ser melhorado quer adicionando outros sensores que permitam recolher outras informações úteis, quer alterando os existentes para sensores mais precisos (como é o caso do sensor de corrente, que se verificou em laboratório, através da medição em série com um amperímetro, não ser muito preciso).

No que se refere à comunicação, número 5 na Figura 5.2, a topologia de comunicação terá que ser alterada, bem como o protocolo de comunicação utilizado. Para uma abordagem inicial, em que se pretendia apenas demonstrar o funcionamento e a utilidade de um sistema deste tipo, a topologia e o protocolo de comunicação implementados foram suficientes. No entanto, apresentam limitações. Desde logo, o facto de impossibilitarem a configuração remota das luminárias através da gateway, pois esta é o nó base e não tem alcance (devido ao local onde foi inicialmente colocada) para comunicar com todos os seus descendentes diretos.

O funcionamento da gateway, em 6, está, para já, adequado ao sistema implementado. No entanto, esta terá que ser um elemento dinâmico, que terá que se adaptar às alterações efetuadas em 4 e em 5.

Por fim, em 8, a interface web é outro elemento que terá que ser trabalhado. De momento, a interface desenvolvida encontra-se num estado muito básico, sendo apenas possível ao utilizador navegar entre as diferentes luminárias e entre os diferentes tipos de sensores.

Capítulo 6

Conclusões

O objetivo primário desta dissertação visava a criação de uma plataforma inteligente para sistemas de iluminação pública, com destaque para os módulos de comunicação, de controlo e dos sensores. Findas as tarefas propostas para atingir este objetivo, é possível afirmar que o mesmo foi cumprido com sucesso.

Nos dias que correm, torna-se evidente que é vital a modernização dos sistemas de iluminação tradicionais para este tipo de sistemas inteligentes. A conjuntura económica atual tem obrigado os municípios a aplicar inúmeros cortes, dentro dos quais se incluem a iluminação pública, bem essencial que transmite conforto e, acima de tudo, segurança aos cidadãos. Desta forma, soluções como a desenvolvida ao abrigo do projeto LITES devem merecer uma maior atenção por parte dos responsáveis pelos municípios. É importante destacar também que, para além da redução de custos, uma solução baseada na tecnologia LED é amiga do meio ambiente. Nos dias de hoje, é já possível sentir os efeitos do aquecimento global, pelo que é fundamental que se tomem medidas que contrariem isso.

Dado que o intervalo de tempo entre a instalação do sistema desenvolvido no projeto LITES e a escrita deste documento foi curto, não é possível, para já, apresentar dados concretos quanto ao consumo energético do sistema. No entanto, dado os consumos das lâmpadas LED instaladas e considerando que estas irão estar grande parte do tempo no seu estado mínimo, é espectável que se apresentem grandes melhorias quando em comparação com o sistema instalado anteriormente.

6.1 Trabalho futuro

Um sistema deste género tem um enorme potencial para ser melhorado, sendo que algumas melhorias foram já apresentadas na secção 5.3.

Primeiro, uma característica fundamental num sistema inteligente de iluminação pública é a possibilidade de gestão remota do mesmo. No sistema implementado apenas está disponibilizada a componente de monitorização, no entanto, futuramente deve ser acrescentada a vertente de configuração. Para que isto seja possível, é necessário como já foi referido na secção 5.3, a alteração do processo de comunicação entre a gateway e as luminárias. Além disso, terá que se implementar também um protocolo de segurança para evitar acessos indevidos. Consequentemente, a interface web terá que ter suporte para serem introduzidas as

configurações e serem comunicadas à gateway.

Como uma das principais preocupações nestes projetos é o consumo energético, deve ser considerada a possibilidade futura de integração de uma fonte alimentação que recorra a fontes de energia renováveis, sejam elas solares ou eólicas. A viabilidade disto pode ser estudada através da adição de um sensor que meça, por exemplo, a exposição solar anual a que as luminárias estão sujeitas.

Por fim, outra característica que poderá ser implementada nas luminárias, dado que estas fazem uso da tecnologia LED, é o uso das mesmas como elemento de comunicação através de VLC (Visible Light Communication). Isto poderá ser útil para transmitir informação local para os estudantes que se encontrem a atravessar a ponte.

Bibliografia

- [1] António Amorim. Workshop eficiência energética na iluminação - novas tecnologias na iluminação pública.
- [2] Bruno Cordovil da Silva Cordeiro. A Iluminação Pública em Lisboa e a problemática da história das técnicas. Master's thesis, Universidade de Lisboa - Instituto de Ciências Sociais, 2006.
- [3] Copel Distribuição, SED, DNGO, VNOT. *Manual de Iluminação Pública*, Fevereiro 2012.
- [4] Daniel Ribau Lourenço. Sistemas de Iluminação Pública com Gestão Inteligente de Consumo. Master's thesis, Universidade de Aveiro - Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática, 2010.
- [5] Analog Devices. Digital accelerometer - adxl345, 2009.
- [6] Pedro Fonseca. *Sistemas de Instrumentação Electrónica*. Universidade de Aveiro, 2011/12.
- [7] Arduino nano. <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>. Accessed: 2013-11-20.
- [8] *Manual de Iluminação Pública Volume 2 - Componentes de Iluminação Pública*. Julho 2010.
- [9] Pordata. <http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+electrica+total+e+por+tipo+de+consumo-1124>. Accessed: 2013-11-20.
- [10] ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS ENERGÉTICOS. Despacho n.º 19113/2010, Dezembro 2010.
- [11] Eficiência energética na iluminação pública - documento de referência, Janeiro 2011.
- [12] Presidência do conselho de Ministros. Resolução do conselho de ministros n.º 20/2013, Abril 2013.
- [13] Gelighting. <http://www.gelighting.com/LightingWeb/emea/news-and-media/news/First-LED-by-the-GE-engineer-Nick-Holonyak.jsp>. Accessed: 2013-11-20.
- [14] Laura Schmitt. Nick holonyak jr.: Father of the visible led, Verão 2012.

- [15] DTI – Direcção de Tecnologia e Inovação. Dma-c71-111/n - aparelhos de iluminação elétrica e acessórios - luminárias de iluminação pública: tecnologia led, Julho 2013.
- [16] Analog Devices. Universal ism band fsk transceiver module - rfm12b - datasheet rev1.2, 2009.
- [17] HOPE MICROELECTRONICS CO. Lm135/lm235/lm335, lm135a/lm235a/lm335a precision temperature sensors, 2006.
- [18] Nuno José Oliveira e Sá. Comunicação em Sistemas de Iluminação Pública Inteligentes. Master's thesis, Universidade de Aveiro - Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática, 2011.
- [19] Nordic Semiconductor. nrf24l01+ single chip 2.4ghz transceiver - product specification v1.0, September 2008.
- [20] Gerald Coley. *BeagleBone Black System Reference Manual*, Abril 2013.

Anexo A - Protótipo laboratorial

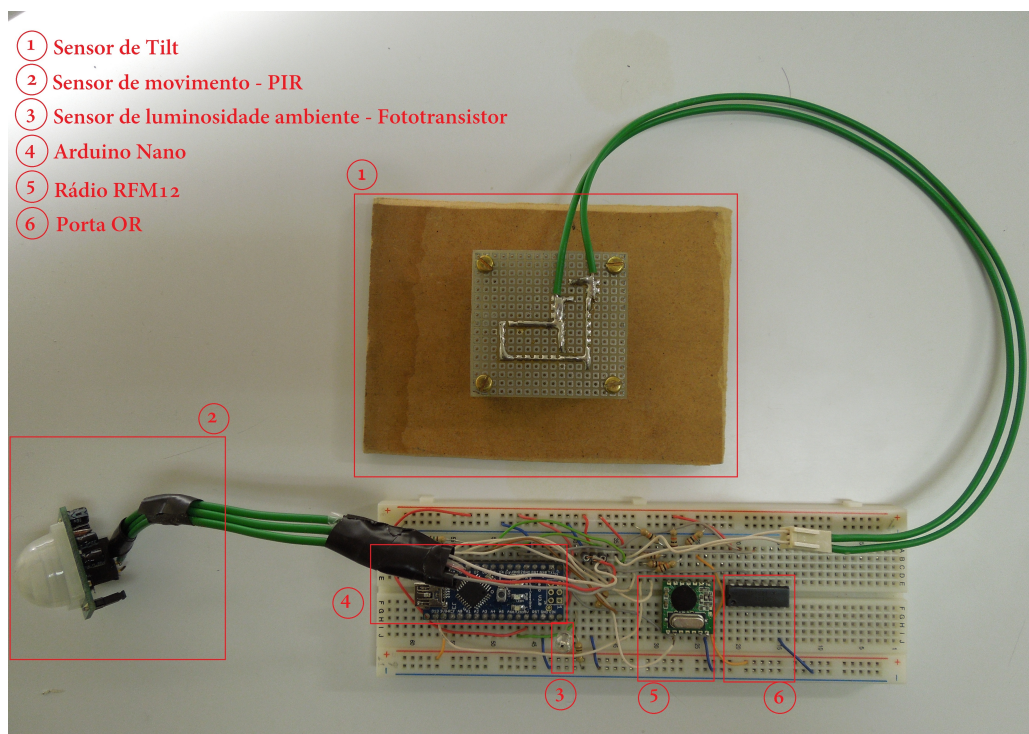


Figura 6.1: Consumo Energético pela Iluminação Pública

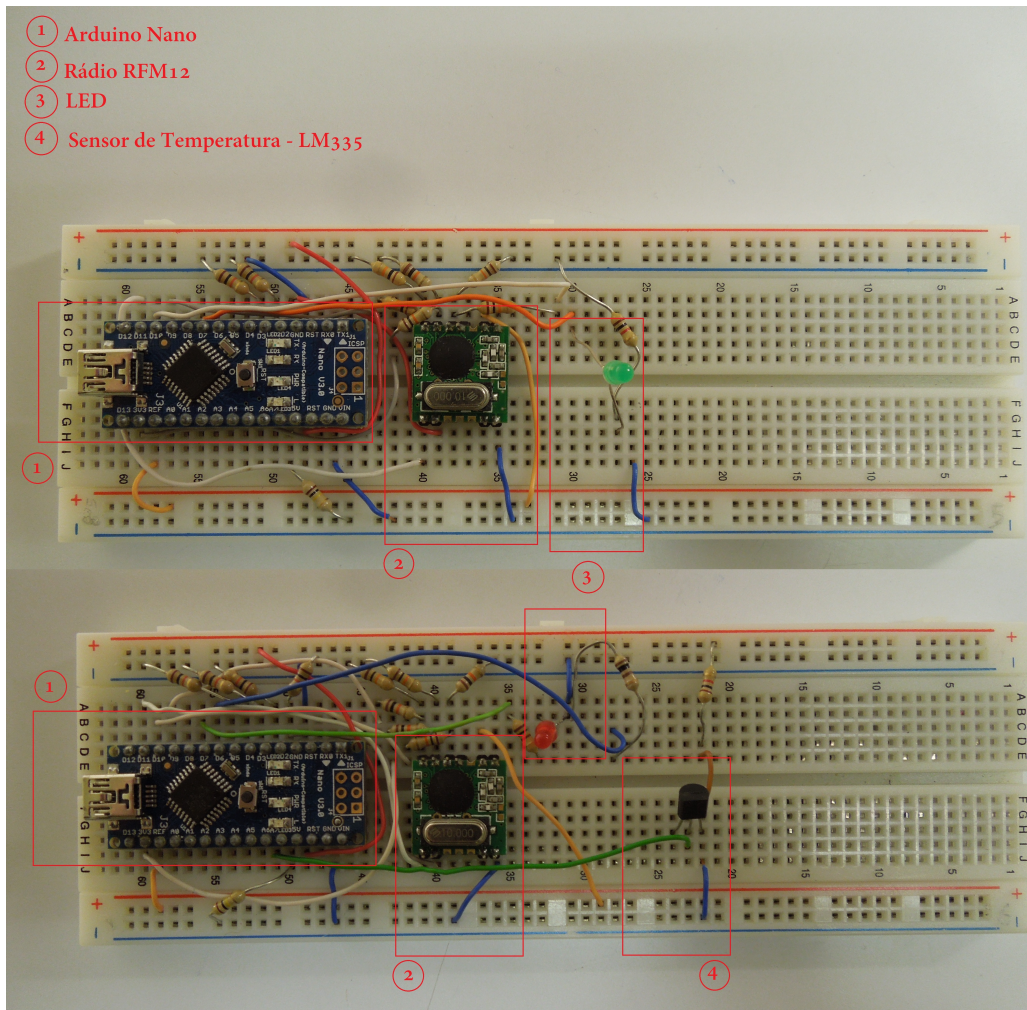


Figura 6.2: Consumo Energético pela Iluminação Pública

Anexo B - Software

Anexo B.1 - Arduino

```
#include <ADXL345.h>
#include <SPI.h>
#include <RF24Network.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
#include "printf.h"
#include "DHT.h"
#include <Wire.h>
#include <ADXL345.h>

#define RELE true // True para as luminárias dos extremos, definir false para as outras

unsigned long now; // variável temporal que guarda o tempo actual
unsigned long now2; // variável temporal que guarda o tempo actual

/*-----Sensor de Corrente-----*/

#define ELECTRICITY_SENSOR A7 // Pin onde está conectado o sensor de corrente
float amplitude_current; // Amplitude da corrente medida pelo sensor
float effective_value; // Valor efectivo da corrente medida pelo sensor

/*-----ADXL-----*/
ADXL345 adxl;
int Th_adxl=40; // valor de Threshold do ADXL
boolean primeiraLeitura; // Variavel para definir se é a primeira leitura que esta a fazer
float top; // valor acima do qual é guardado o valor de vibração
float bottom; // valor abaixo do qual é guardado o valor de vibração
float mean; // media dos primeiros valores lidos para posterior comparação com os valores lidos
boolean configRcv;

/*-----DHT21-----*/

#define DHTPIN 3 // Pin onde está o sensor DHT
#define DHTTYPE DHT21 // Define o tipo de sensor que estamos a usar -> DHT 21 (AM2301)
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

/*-----NRF24-----*/

RF24 radio(7,8);
RF24Network network(radio);
const uint16_t this_node = 03; // Atribuição do n° do nó na rede
const unsigned long interval = 9000; // Tempo de intervalo entre o envio de cada mensagem
unsigned long last_sent; // Variavel temporal que indica quando foi enviado o último pacote
unsigned long packets_sent; // Variável que guarda o valor do número de pacotes já enviados
boolean dAvailable;
boolean pack;
const uint16_t other_node=0;
RF24NetworkHeader header_rcv;
RF24NetworkHeader header_snd(other_node);

/*-----RELE-----*/

int reset =2;
int set = 4;
short releOnTime;
boolean releStatus;
short TimeON;

/*-----Estrutura de dados enviados-----*/

struct payload_send
{
  byte temperatura; // guarda o valor do sensor de temperatura
  byte humidade; // guarda o valor do sensor de humidade
  boolean vibracao; // guarda o valor do sensor de vibração (1 - vibração detetada, 0 - nao foi detetada vibração)
```

```

char estadoIluminacao;           // guarda o valor do estado de intensidade de iluminação:
//4 estados ( '0' - off , 'M' - maximo, 'm' - minimo, 'd' - dimming)
float E_corrente;               // guarda o valor efectivo da corrente
int valor_vibracao1;           // guarda o valor da vibração
int valor_vibracao2;           // guarda o valor da vibração
int valor_vibracao3;           // guarda o valor da vibração
};

payload_send pl_snd;

/*-----Estrutura de dados de entrada-----*/

struct payload_rcv
{
byte ADXLcalibration_value;     // Recebe o valor de calibração do sensor ADXL
byte movimento;                // Recebe o valor se foi detectado movimento, pelo sensor externo
byte interval;                 // recebe se o rele está configurado para funcionar ou nao ( 1- sim, 0 não )
short TimeON;                  // Recebe o tempo que o rele deve estar ligado, apos ser detetado movimento
};

payload_rcv pl_rcv;

/*-----Setup-----*/

void setup(void)
{
Serial.begin(57600);

printf_begin();

analogReference(INTERNAL);
pinMode(ELECTRICITY_SENSOR, INPUT);

dht.begin();
rf24Config();
adxConfig(Th_adxl);

primeiraLeitura=true;
pinMode(set, OUTPUT);
pinMode(reset, OUTPUT);
releStatus=false;
digitalWrite(set,HIGH);
digitalWrite(reset,HIGH);

configRcv = false;

// dado que os radios se vão ligar todos ao mesmo tempo
// inserir delays diferentes para o inicio do envio

if(this_node==01)
delay(10);
else if(this_node==022)
delay(1000);
else if(this_node==02)
delay(2000);
else if(this_node==013)
delay(3000);
else if(this_node==03)
delay(4000);
else if(this_node==014)
delay(5000);
else if(this_node==04)
delay(6000);
else if(this_node==05)
delay(7000);
}

/*-----Loop-----*/

void loop(void)
{
now = millis();

while(millis()-now<interval)
{
readAdxl();
now2 = millis();

while(millis()-now2<100)
{
network.update();
delay(20);

if(network.available())
readData();
}
}
}

```

```

        if(RELE)
            if (releStatus)
                if(now - releOnTime >= TimeON )
                    releOff();
            }

        readDth();
        readCurrent();
        sendData();

        pl_snd.valor_vibracao1=0;
        pl_snd.valor_vibracao2=0;
        pl_snd.valor_vibracao3=0;

        delay(10);

        printf("\n");
    }
}

/*-----Envio e Recebimento de Dados -----*/

void readData()
{
    network.read(header_rcv,&pl_rcv,sizeof(pl_rcv));
    printf("Valor do ADXL:  %i \n", pl_rcv.ADXLcalibration_value);
    now = millis();

    if(pl_rcv.movimento==1 && !releStatus && (now-releOnTime>=1000))
        releOn();

    if(header_rcv.type==67)
    {
        Serial.println("CONFIGURAÇÃO!!!");
        configRcv = true;
        Th_adxl=pl_rcv.ADXLcalibration_value;
        adxConfig(Th_adxl);

        if (RELE)
            TimeON=pl_rcv.TimeON;
    }
}

void sendData()
{
    last_sent = now;
    printf("Sending...");
    header_snd.type='D';
    header_snd.filter='Y';
    header_snd.id +=1;
    bool ok = network.write(header_snd,&pl_snd,sizeof(pl_snd));

    delay(100);

    if (ok)
        printf("ok.\n");
    else
        printf("failed.\n");
}

/*-----Leitura dos Sensores-----*/

void readDth()
{
    pl_snd.humidade = dht.readHumidity();
    pl_snd.temperatura = dht.readTemperature();

    printf("Temperatura:  %i\n", pl_snd.temperatura);
    printf("Humidade:  %i \n",pl_snd.humidade);
}

void readAdxl()
{
    int x,y,z;
    float Sqr;
    float rms;

    if(primeiraLeitura)
    {
        Serial.println("Primeira Vez ");
        unsigned long st=millis();

        while(millis()-st<500)
        {
            adxl.readAccel(&x, &y, &z);
            Sqr= float((sq(x)+sq(y)+sq(z))/3);
            float rms=sqrt(Sqr);
            mean=(rms+mean)/2;
        }
    }
}

```

```

        Serial.print("Media: ");
        Serial.println(mean);
    }

    top=mean*1.05;
    bottom=mean*0.95;
    primeiraLeitura=false;
}

adxl.readAccel(&x, &y, &z);
Sqr= float((sq(x)+sq(y)+sq(z))/3);
rms=sqrt(Sqr);
Serial.print("Media quadratica: ");
Serial.println(rms);

if(rms < bottom || rms > top)
{
    Serial.print("rms: ");
    Serial.println(rms);
    Serial.print("mean: ");
    Serial.println(mean);
    int vibration = abs(rms-mean);
    Serial.print("Vibricao: ");
    Serial.println(vibration);
    if(vibration>pl_snd.valor_vibracao1)
        pl_snd.valor_vibracao1=vibration;
    else if (vibration>pl_snd.valor_vibracao2)
        pl_snd.valor_vibracao2=vibration;
    else if (vibration>pl_snd.valor_vibracao3)
        pl_snd.valor_vibracao3=vibration;
}

byte interrupts = adxl.getInterruptSource();

if(adxl.triggered(interrupts, ADXL345_INACTIVITY))
{
    printf("inactivity \n" );
    pl_snd.vibracao=false;
}

if(adxl.triggered(interrupts, ADXL345_ACTIVITY))
{
    printf("activity \n");
    pl_snd.vibracao=true;
    sendData();
}
}

void readCurrent()
{
    int sensor_max;
    sensor_max = getMaxValue();
    printf("sensor_max = %i \n", sensor_max);
    amplitude_current=(float)sensor_max/1024*1.1/200*1000000;
    effective_value=amplitude_current/1.414;

    if(effective_value>40.0 && effective_value<100.0)
    {
        Serial.println("Luminosidade Minima");
        pl_snd.estadoIluminacao='m';
    }
    else if(effective_value>100.0 && effective_value<130.0)
    {
        Serial.println("Dimming...");
        pl_snd.estadoIluminacao='d';
    }
    else if(effective_value>130.0 && effective_value<200.0)
    {
        Serial.println("Luminosidade Maxima");
        pl_snd.estadoIluminacao='M';
    }
    else
    {
        if(effective_value==0)
        {
            Serial.println("Desligada");
            pl_snd.estadoIluminacao='0';
        }
    }

    pl_snd.E_corrente=effective_value;

    Serial.print("The amplitude of the current is(in mA: ");
    Serial.println(amplitude_current);
    Serial.print("The current effective is(in mA: ");
    Serial.println(effective_value);
}

int getMaxValue()
{

```

```

int sensorValue;
int sensorMax = 0;
uint32_t start_time = millis();
while((millis()-start_time) < 500)
{
    sensorValue = analogRead(ELECTRICITY_SENSOR);

    if (sensorValue > sensorMax)
    {
        sensorMax = sensorValue;
    }
}
return sensorMax;
}

/*-----Funções do Relé: ON & OFF -----*/

void releOn()
{
    digitalWrite(set,LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(set,HIGH);

    releStatus=true;
    releOnTime=millis();
}

void releOff()
{
    digitalWrite(reset,LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(reset,HIGH);

    releStatus=false;
    pl_rcv.movimento=0;
}

/*-----Configurações-----*/
void rf24Config()
{
    SPI.begin();
    radio.begin();
    network.begin(Ox60, this_node);

    radio.startListening();
    radio.printDetails();
}

void adxConfig(int Th)
{
    adxl.powerOn();
    adxl.setActivityThreshold(Th);
    adxl.setInactivityThreshold(Th);
    adxl.setTimeInactivity(10);

    adxl.setActivityX(1);
    adxl.setActivityY(1);
    adxl.setActivityZ(1);

    adxl.setInactivityX(1);
    adxl.setInactivityY(1);
    adxl.setInactivityZ(1);

    adxl.setTapDetectionOnX(1);
    adxl.setTapDetectionOnY(1);
    adxl.setTapDetectionOnZ(1);

    adxl.setInterruptMapping( ADXL345_INT_SINGLE_TAP_BIT,  ADXL345_INT1_PIN );
    adxl.setInterruptMapping( ADXL345_INT_DOUBLE_TAP_BIT, ADXL345_INT1_PIN );
    adxl.setInterruptMapping( ADXL345_INT_FREE_FALL_BIT,  ADXL345_INT1_PIN );
    adxl.setInterruptMapping( ADXL345_INT_ACTIVITY_BIT,   ADXL345_INT1_PIN );
    adxl.setInterruptMapping( ADXL345_INT_INACTIVITY_BIT, ADXL345_INT1_PIN );

    adxl.setInterrupt( ADXL345_INT_SINGLE_TAP_BIT, 0);
    adxl.setInterrupt( ADXL345_INT_DOUBLE_TAP_BIT, 0);
    adxl.setInterrupt( ADXL345_INT_FREE_FALL_BIT,  0);
    adxl.setInterrupt( ADXL345_INT_ACTIVITY_BIT,   1);
    adxl.setInterrupt( ADXL345_INT_INACTIVITY_BIT, 1);
}

```

Anexo B.2 - Beaglebone Black

```

# Main Program LITES #

import sys
sys.path.append('/home/pythonLib/pynrf24/')
from nrf24 import NRF24
from luminariasv3 import Data
from luminariasv3 import myData
import time

send_buf = [0, 0, 2, 0, 1, 0, 68, 89, 12, 13, 14, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]

data= Data()
radio=data.configRadio()
startTime=time.time()

### Recolha de dados do Buffer

while True:
while True:
pipe = [0]
while not radio.available(pipe, True):
time.sleep(1/1000.0)
time.sleep(0.2)

recv_buffer = []
    radio.read(recv_buffer)
    print recv_buffer
if recv_buffer[7]==89:
break
print "Pacote Invalido!!\n"
break

    data.decodeLuminaria(recv_buffer) # descodifica a luminaria e le os dados recebidos
data.calculoTaxas(startTime) # calcula as taxas de sucesso nos pacotes recebidos

----- Luminariasv3-----

import urllib2
import sys
sys.path.append('/home/pythonLib/pynrf24/')
from nrf24 import NRF24
import time
import array
import struct

class myData:

luminaria=0
    temperatura=0
    humidade=0
    vibracao=0
Valor_Vibracao1=0
    Valor_Vibracao2=0
    Valor_Vibracao3=0
Calibracao_vibracao=40
    Potencia=0
type=68
    Estado_Luminaria=0
    E_corrente=0
pckt_id=0
previous_pckt_id=0
L={}

for i in range (1,11):

    L["L"+str(i)]=myData()

class calib:

    calibracao=40

d={}

for i in range (1,9):

    d["L"+str(i)]=calib()

class Data:

str1="https://io.aws.atnog.av.it.pt/input/post.json?json={\"
str4=\"}&apikey=9c787e47ff63899e64dd5849152882d2&node=\"
str7="https://io.aws.atnog.av.it.pt/feed/value.json?id=\"
str8=\"&apikey=9c787e47ff63899e64dd5849152882d2\"

count = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]

```



```

node=0

if i==1:
    node=1
    elif i==2:
        node=18
    elif i==3:
        node=2
    elif i==4:
        node=11
    elif i==5:
        node=3
    elif i==6:
        node=12
    elif i==7:
        node=4
    elif i==8:
        node=5
    elif i==9:
        node=9
elif i==10:
    node=13

return node

##### Send Data #####

def sendData(self, send_buf):

    Timenow= round(time.time())
    timeOut=round(time.time()-Timenow)
    ok=self.radio.write(send_buf)

    while ok==0 and timeOut<2:

        self.radio.stopListening()
        send_buf[6]=67
        ok=self.radio.write(send_buf)
        timeOut=round(time.time()-Timenow)
        print ok
        time.sleep(0.001)

    self.radio.startListening()

##### Leitura dos Valores Recebidos #####

def readData(self,recv_buffer,luminaria):

    L["L"+str(luminaria)].node=recv_buffer[0]
    L["L"+str(luminaria)].pkt_id=recv_buffer[4]
    if L["L"+str(luminaria)].pkt_id==L["L"+str(luminaria)].previous_pkt_id:
        print "Pacote Duplicado!!"
    return
    L["L"+str(luminaria)].previous_pkt_id=L["L"+str(luminaria)].pkt_id
    L["L"+str(luminaria)].temperatura=recv_buffer[8]
    L["L"+str(luminaria)].humidade=recv_buffer[9]
    L["L"+str(luminaria)].vibracao = recv_buffer[10]
    L["L"+str(luminaria)].Estado_Luminaria = recv_buffer[11]

    s1=array.array('B',recv_buffer[12:16]).tostring()
    L["L"+str(luminaria)].E_corrente=struct.unpack('f',s1)
    # L["L"+str(luminaria)].Potencia=float(str(struct.unpack('f',s1)))*0.23
    s2=array.array('B',recv_buffer[16:18]).tostring()
    L["L"+str(luminaria)].Valor_Vibracao1=struct.unpack('h',s2)
    s3=array.array('B',recv_buffer[18:20]).tostring()
    L["L"+str(luminaria)].Valor_Vibracao2=struct.unpack('h',s3)
    s4=array.array('B',recv_buffer[20:22]).tostring()
    L["L"+str(luminaria)].Valor_Vibracao3=struct.unpack('h',s4)

    print "Valores da Luminaria n: {0} \n" .format(luminaria)

    if L["L"+str(luminaria)].vibracao==0:
        self.count[luminaria-1]+=1

    ## Estado da Luminaria

    print recv_buffer
    str2="Estado_Luminaria:"

```



```

if L["L"+str(luminaria)].Estado_Luminaria==109:
L["L"+str(luminaria)].Estado_Luminaria=10
    print ("A Luminaria esta no seu valor minimo")
elif L["L"+str(luminaria)].Estado_Luminaria==77:
L["L"+str(luminaria)].Estado_Luminaria=100
    print ("A Luminaria esta no seu valor maximo")
elif L["L"+str(luminaria)].Estado_Luminaria==100:
L["L"+str(luminaria)].Estado_Luminaria=50
    print ("A Luminaria esta em dimming...")
elif L["L"+str(luminaria)].Estado_Luminaria==79:
L["L"+str(luminaria)].Estado_Luminaria=0
    print ("A Luminaria esta desligada!")
else:
L["L"+str(luminaria)].Estado_Luminaria=-1
    print ("Desconhece-se o estado da luminaria!")

    str3=str(L["L"+str(luminaria)].Estado_Luminaria)
    url=self.str1+str2+str3+self.str4+str(luminaria)

    if self.net==1:
        req=urllib2.Request(url)
        response=urllib2.urlopen(url)

### Valor da Vibricao

    str2="Valor_vibricao:"
    str3=str(L["L"+str(luminaria)].Valor_Vibricao1)
    url=self.str1+str2+str3+self.str4+str(luminaria)
    print ("0 valor da vibricao 1 e: %.2f" %L["L"+str(luminaria)].Valor_Vibricao1)

if self.net==1:
req=urllib2.Request(url)
response=urllib2.urlopen(url)

str2="Valor_vibricao:"
    str3=str(L["L"+str(luminaria)].Valor_Vibricao2)
    url=self.str1+str2+str3+self.str4+str(luminaria)
    print ("0 valor da vibricao 2 e: %.2f" %L["L"+str(luminaria)].Valor_Vibricao2)

    if self.net==1:
        req=urllib2.Request(url)
        response=urllib2.urlopen(url)

str2="Valor_vibricao:"
    str3=str(L["L"+str(luminaria)].Valor_Vibricao3)
    url=self.str1+str2+str3+self.str4+str(luminaria)
    print ("0 valor da vibricao 3 e: %.2f" %L["L"+str(luminaria)].Valor_Vibricao3)

    if self.net==1:
        req=urllib2.Request(url)
        response=urllib2.urlopen(url)

### Corrente Efectiva

    str2="E_corrente:"
    str3=str(L["L"+str(luminaria)].E_corrente)
    url2=self.str1+str2+str3+self.str4+str(luminaria)
    print ("Valor da Corrente Eficaz: %.2f" %L["L"+str(luminaria)].E_corrente)

if self.net==1:
req2=urllib2.Request(url2)
    response2=urllib2.urlopen(url2)

### Humidade

    str2="Humidade:"
    str3=str(L["L"+str(luminaria)].humidade)
    url4=self.str1+str2+str3+self.str4+str(luminaria)
    print (str2+" %i" %L["L"+str(luminaria)].humidade)

if self.net==1:
req4=urllib2.Request(url4)
response4=urllib2.urlopen(url4)

### Temperatura

str2="Temperatura:"
    str3=str(L["L"+str(luminaria)].temperatura)
    url3=self.str1+str2+str3+self.str4+str(luminaria)
    print (str2+" %i" %L["L"+str(luminaria)].temperatura)

if self.net==1:
req=urllib2.Request(url3)
response=urllib2.urlopen(url3)

### Vibricao

str2="Vibricao:"

```

```

        str3=str(L["L"+str(luminaria)].vibracao)
        url5=self.str1+str2+str3+self.str4+str(luminaria)

if L["L"+str(luminaria)].vibracao==1:
print ( "ALARME!! Detectada Vibracao Anomala... ")
    if self.net==1:
        req=urllib2.Request(url5)
        response=urllib2.urlopen(url5)
        print "\n"

##### Verificacao de valores de configuracao #####

def verificaConfig(self):

if self.net==1:
    for i in range (1,9):
        url7=self.str7+str(361+i)+self.str8
        req=urllib2.Request(url7)
        response=urllib2.urlopen(url7)
        value=response.read()
value=int(value[1:len(value)-1])

        if value != d["L"+str(i)].calibracao:
            d["L"+str(i)].calibracao=value
            self.send_buf[8]=d["L"+str(i)].calibracao
            self.send_buf[2]=self.encodeLuminaria(i)

self.sendData(self.send_buf)
        print "Sent COnfiguration to: Luminaria {0}".format(i)

##### Calculo das taxas de sucesso dos pacotes recebidos #####

def calculoTaxas(self,startTime):

timeS=time.time()-startTime
Predicted=timeS/10
print timeS
if timeS/self.DivVar>=60:
    i=0
    print ".....\n"
    print "Numero de pacotes previstos: {0} \n ".format(Predicted)
    print "\n"
    for i in range (0,10):
        print "Luminaria {0}, pacotes recebidos= {1}, taxa de sucesso:{2}%\n".format((i+1),self.count[i],(self.count[i]/Predicted)*100)
        str2="Taxa_de_Sucesso"+str(i+1)+": "
        str3=str((self.count[i]/Predicted*100))
        url6=self.str1+str2+str3+self.str4+str(0)
        if self.net==1:
            req=urllib2.Request(url6)
            response=urllib2.urlopen(url6)

        i +=1
    print ".....\n"
    self.DivVar+=1

```

Anexo C - PCB's

São apresentadas neste anexo, as PCB's desenhadas para os módulos desenvolvidos no âmbito desta dissertação.

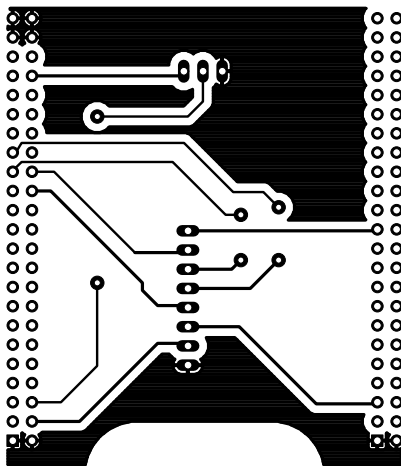


Figura 6.3: PCB para o BeagleBone Black.



Figura 6.4: PCB para a fonte de alimentação BeagleBone Black.

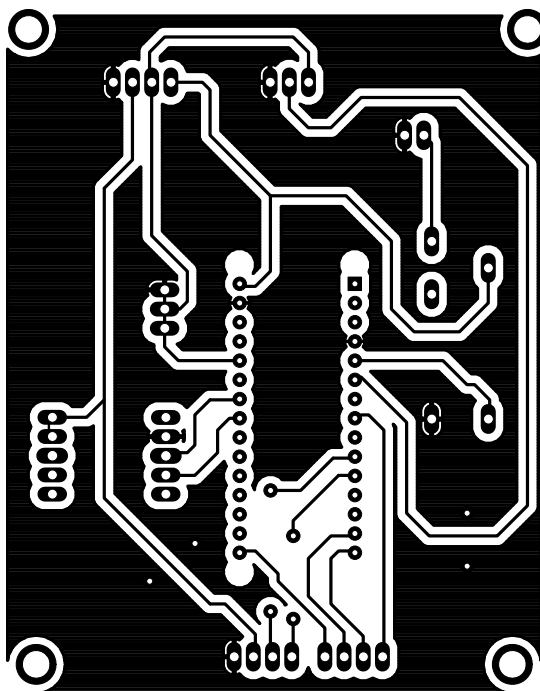


Figura 6.5: PCB para o módulo de monitorização e comunicação.

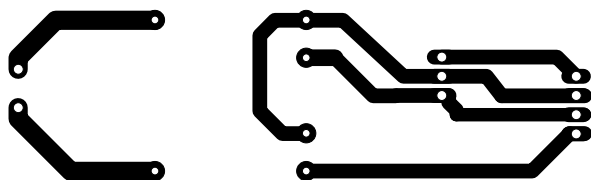


Figura 6.6: PCB para a fonte de alimentação do módulo de monitorização e comunicação e sensor de movimento externo.

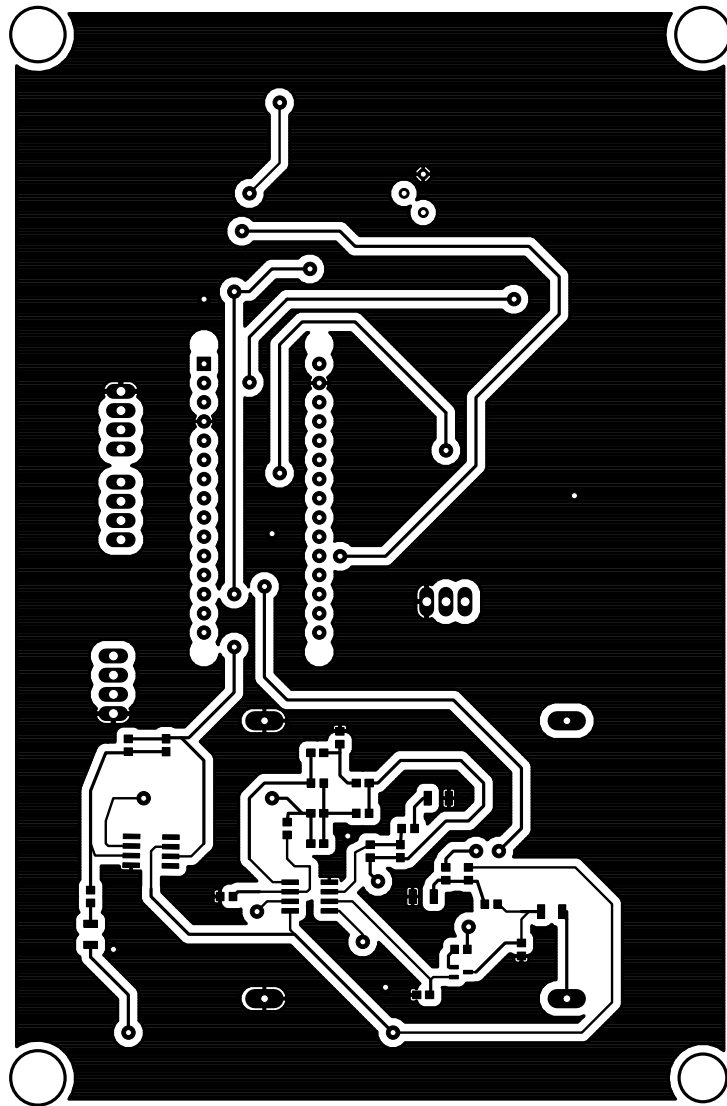


Figura 6.7: PCB para o sensor de movimento externo (Bottom).

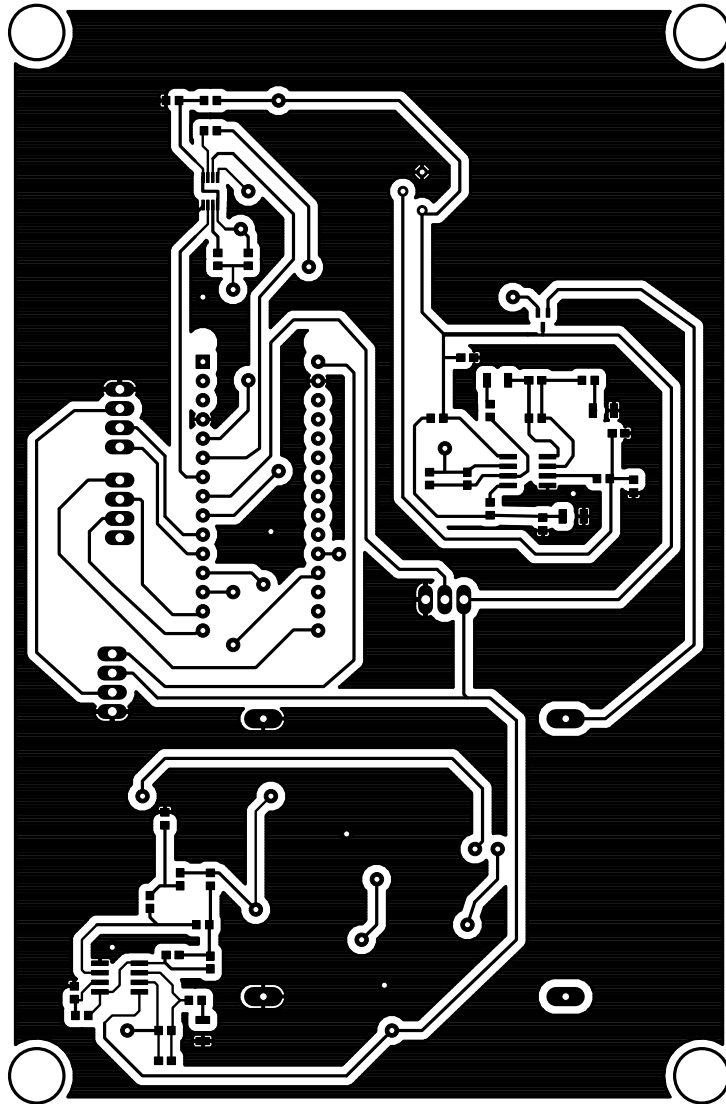


Figura 6.8: PCB para o sensor de movimento externo (Top).

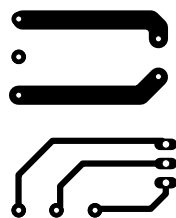


Figura 6.9: PCB para o rele.