

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Sistema Inteligente para Iluminação Pública

Filipe Daniel de Almeida Moraes

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Adriano da Silva Carvalho

29 de Julho de 2016

Resumo

A Iluminação Pública atua como um instrumento de cidadania. Permite maior segurança noturna, é essencial para a qualidade de vida, embeleza as áreas urbanas e destaca e valoriza monumentos, prédios e paisagens. A melhoria da qualidade dos sistemas de Iluminação Pública impulsiona o turismo, o comércio, e o lazer noturno, ampliando a cultura do uso eficiente e racional da energia elétrica, contribuindo, assim, para o desenvolvimento social e económico da população. No entanto, as suas limitações a nível do controlo e da eficiência energética podem ser minimizadas através das inovações tecnológicas aliando a estas o preço, de modo ao produto final ser rentável.

Para combater estas limitações importa perceber as leis que regem este sistema, a conjuntura em Portugal, o conceito de Iluminação Pública, as falhas e pontos favoráveis do sistema de IP, as características, os componentes da luminária, o modo de atuação, o modo de controlo e de gestão de iluminação, e os avanços tecnológicos dos materiais e dos equipamentos. Com a reunião desta informação, pretende-se realizar um estudo das tecnologias que permitam aumentar a eficiência energética da iluminação pública, com possibilidade de controlo e supervisão.

Das inovações de destaque no sistema, a primeira incide na lâmpada. O aparecimento das luminárias LED veio solucionar problemas/falhas e reduzir consumos energéticos, diminuindo consequentemente os custos associados. Esses problemas incidem na lentidão de reação, na impossibilidade de controlo de fluxo, na baixa qualidade da luz emitida e na longevidade atingida.

O Sistema de Iluminação Pública tem seus projetos e especificações de materiais voltados especialmente para eficiência energética, redução de custos e atendimento aos requisitos, nomeadamente, fotométricos mínimos estipulados nas normas.

O sistema proposto aborda uma perspetiva diferente do convencional, relativamente à iluminação pública, é baseado num controlo descentralizado, fornecendo inteligência ao nível da luminária. A eficiência energética é um dos objetivos principais deste sistema, conseguida através da diminuição da intensidade luminosa na ausência de movimento, e pela dimerização sequencial da lâmpada relativamente à luminosidade natural. Ao nível da gestão da rede de iluminação, é proposta uma interface com capacidade de controlo, monitorização e deteção de falhas.

O protótipo de controlo da luminária desenvolvido serve como prova de conceito da eficiência energética conseguida através do controlo inteligente e distribuído das luminárias. Este tem como objetivo a regulação eficiente da intensidade luminosa emitida, tendo em conta a luminosidade natural, o movimento detetado, o momento temporal e os parâmetros definidos. Através da elaboração do protótipo, que pretende ser um orientativo geral no que refere a, aspetos técnicos relacionados às configurações dos sistemas de iluminação pública, fomentar a busca de sistemas eficientes, utilizar materiais e equipamentos de boa qualidade, reduzindo insatisfações por parte da população com os serviços prestados, aspetos ambientais, desperdícios de recursos energéticos.

Palavras-Chave: Eficiência Energética; Smart Grid; Iluminação Pública; Controlo Inteligente; IoT; Gestão e Supervisão; Detecção de Falhas.

Abstract

Street lighting acts as an instrument of citizenship. It allows more night security, is essential to increase the quality of life, beautifies urban areas and highlights and enriches monuments, buildings and landscapes. The quality improvement of street lighting systems boosts tourism, trading and the nightly entertainment, enlarging the culture of efficient and rational use of energy, supporting the social and economic development of the population. However, their limitations in terms of control and energy efficiency can be minimized through technological innovations combining this flaws to the price, in order to create cost-effective solutions.

To oppose these limitations, its important to understand the restrictive laws of the system, the conjuncture of Portugal, the concept of street lighting, the favourable flaws and points of the IP system, the features, the components of the luminaire, the operational mode, the lighting control and lighting management, and technological advances of materials and equipment. With all this information, its intend to study technologies to increase the energy efficiency of street lighting, with the possibility of control and supervision.

The lamps have the most outstanding and inicial innovation. The rise of LED lamps solved problems and reduced energy consumption, as well as the associated costs. Those problems concern slow reaction, the inability to control flow, the low quality of light emitted and longevity achieved.

The Street Lighting System has its projects and material specifications targeted especially for energy efficiency, cost-cutting and meeting the requirements, in particular photometric requirements stipulated in the rules.

The proposed system addresses a different approach compared to the conventional system, in relation to street lighting, its based on a decentralized control, providing intelligence to the level of the luminaire. The energy efficiency is one of the main goals of this system, achieved by reducing the light intensity in the absence of movement, and the sequential dimming in relation to natural light. In terms of light network management, it is proposed an interface with the ability to control, monitor and fault detection.

The developed luminaire control prototype serves as a proof of the concept of energy efficiency achieved through the intelligent and distributed control of luminaires. The aims are the efficient regulation of the light intensity emitted, according to the natural light, the detected movement, the time and the operation parameters. Through the development of the prototype, which intended to be a general guidance, as regards the technical aspects related to the settings of street lighting systems, encourage the search for efficient systems, using materials and equipment of good quality, reducing dissatisfaction among the population with the services provided, environmental issues, energy resource waste.

Keyword: Energetic Efficiency; Smart Grid; Street lighting; Intelligent control; IoT; Management and Supervision; Fault detection.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, o Professor Adriano da Silva Carvalho, pela ajuda disponibilizada durante a fase de realização da Dissertação.

Agradeço também ao Engenheiro Rui Almeida e ao Engenheiro Carlos Martinho, pela disponibilidade de discussão de aspetos tecnológico e soluções durante a fase de desenvolvimento.

Gostaria ainda de agradecer ao Rúben Brito, à Maria Neto, à Cintia Tavares e à Marta Cristiana, pela companheirismo e a ajuda durante esta fase final do curso.

Por último, um especial agradecimento a toda a minha família e meus amigos que, durante o meu percurso académico, me acompanharam e motivaram.

Filipe Daniel de Almeida Morais

“The best preparation for tomorrow is doing your best today.”

H. Jackson Brown

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Motivação	1
1.3	Objetivos	3
1.4	Estrutura da Dissertação	3
2	Estado da Arte	5
2.1	Iluminação Pública	5
2.1.1	Realidade Atual em Portugal	6
2.1.2	Inovações Tecnológicas	7
2.1.3	Componentes da IP	7
2.2	Sistemas de Controlo e Gestão de Iluminação	11
2.2.1	Comutação (ON/OFF) e <i>Dimming</i>	11
2.2.2	Interruptores Horários	11
2.2.3	Interruptores Crepusculares	12
2.2.4	Interruptor de Presença	12
2.2.5	Sistemas de Controlo Luminotécnico	12
2.2.6	Conclusões	14
2.3	Casos de estudo	15
2.3.1	New Hampshire	15
2.3.2	Évora InovCity	15
2.4	Tecnologias	16
2.4.1	Comunicações	16
2.4.2	Comunicações Cabladas	24
2.4.3	Comunicações Sem Fio	27
2.4.4	Controlo	30
3	Análise do Sistema	33
3.1	Conceito de Sistema	33
3.2	<i>System Breakdown Structure</i>	34
3.3	Análise de Requisitos	35
3.3.1	Requisitos Funcionais	35
3.3.2	Requisitos Não Funcionais	36
3.4	Especificação de Sistema	36
3.4.1	Interface	36
3.4.2	Posto de Transformação	37
3.4.3	Luminária	38
3.4.4	Rede	38

3.4.5	Conclusão	40
4	Desenvolvimento do Sistema	41
4.1	Estudo de Mercado	41
4.1.1	Placas de Desenvolvimento	41
4.1.2	Sensor de Luminosidade	43
4.1.3	Sensor de Movimento	43
4.1.4	RTC	44
4.2	Implementação	45
4.2.1	Hardware	45
4.2.2	<i>Software</i> Utilizado	45
4.2.3	Rotinas de Programação	46
4.3	Testes e Resultados	51
4.3.1	Testes	51
4.3.2	Resultados	52
5	Conclusões e Trabalho Futuro	55
5.1	Conclusão	55
5.2	Apreciação Global e Trabalho Futuro	57
A	Interface de Sistema	59
B	<i>MindMap</i> da interface de utilizador	61
C	Descrição das classes desenvolvidas	65
	Referências	67

Lista de Figuras

1.1	Consumo de energia elétrica na Iluminação Pública portuguesa [1].	3
2.1	Panorama da iluminação mundial [2].	6
2.2	Sistema de IP convencional (adaptado de [3]).	8
2.3	Necessidades luminotécnicas condicionadas pela luz natural [1].	12
2.4	Arquitectura DALIcontrol [4].	13
2.5	Mecanismos de acesso ao meio (adaptado de [5]).	19
2.6	Topologias de Rede: Barramento; Estrela; Anel; Malha; Árvore [6].	21
2.7	Camadas do modelo OSI (Adaptado de [7]).	22
2.8	Modelo de camadas TCP/IP (Adaptado de [8]).	24
2.9	Protocolos <i>standard</i> de comunicação PLC[9].	26
3.1	SBS do sistema proposto.	34
3.2	Arquitectura de rede.	39
3.3	Ilustração do sistema.	40
4.1	Comparação de placas de desenvolvimento [10].	42
4.2	Protótipo desenvolvido.	46
4.3	Classes usadas no desenvolvimento do <i>software</i>	47
4.4	Diagrama de blocos de <i>software</i> de controlo.	48
4.5	Diagrama de blocos de programa de deteção de presença.	49
4.6	Diagrama de blocos de programa de deteção de luminosidade.	50
4.7	Comparação entre sistema de IP convencional e sistema proposto.	53
5.1	Análise SWOT do sistema proposto.	56
A.1	Distribuição de gasto na IP portuguesa em 1970 (Adaptado de [11])	59
A.2	Distribuição de gasto na IP portuguesa em 2014 (Adaptado de [11])	60
B.1	<i>MindMap</i> da interface de supervisão.	62
B.2	<i>MindMap</i> das interfaces de controlo, eventos e estatística.	63

Lista de Tabelas

2.1	Comparação de tecnologias de Iluminação (adaptado de [12]).	9
2.2	Resumo dos tipos de balastros disponíveis no mercado (adaptado de [13]).	10
2.3	Comparação de poupança energética [14, 15].	14
2.4	Resumo das características de redes cabladas [16, 17, 18, 19].	27
2.5	Resumo das características de rede sem fio [20, 21, 22, 23, 24].	29
3.1	Requisitos funcionais do sistema.	35
3.2	Requisitos não funcionais do sistema.	36
4.1	Comparação de sensores de luminosidade.	43
4.2	Problemas e soluções na detecção de movimento.	44
4.3	Comparação de sensores de movimento.	44
4.4	Real Time Clock.	45
4.5	Constituintes do sistema inteligente de controlo.	45
4.6	Testes ao protótipo.	51
4.7	Intervalos de funcionamento do controlador inteligente.	52
C.1	Descrição das variáveis das classes	65
C.2	Descrição das funções das classes	66

Abreviaturas e Símbolos

ADENE	Agência para a Energia
CO_2	Dióxido de Carbono
DNS	Domain Name System
GPIO	General Purpose Input/Output
IDE	Integrated Development Environment
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IoT	Internet of Things
IP	Iluminação Pública
I ² C	Inter-Integrated Circuit
LAN	Local Area Network
LLC	Logical Link Control
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MISO	Master Input Slave Output
MOSI	Master Output Slave Input
MW	Microwave
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OMS	Organização Mundial de Saúde
OSI	Open System Interconnection Model
PIR	Passive Infrared Sensor
PLC	Power Line Communication
PNAEE	Plano de Ação para a Eficiência energética
PT	Posto de Transformação
PWM	Pulse-width modulation
RTC	Real-time Clock
SBS	System Breakdown Structure
SIM	Subscriber Identity Module
SPI	Serial Peripheral Interface Bus
SS	Slave Select
SSH	Secure Shell
SWOOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats
TCP	Transfer Control Protocol
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UDP	User Datagram Protocol
WAN	Wide Area Networks
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

A IP (Iluminação Pública) é um elemento fundamental dos ambientes citadinos atuais. O Sistema de IP tem um papel preponderante no aumento da segurança noturna, com a benesse adicional da intensificação da atividade social e económica nestes períodos do dia, bem como no embelezamento e destaque de monumentos.

O Sistema de IP convencional existente apresenta limitações a nível do controlo das luminárias e da poupança energética. Para reverter esta realidade, existe uma aposta forte em inovações tecnológicas nesta área.

Esta Dissertação tem como principal objetivo o estudo e prova de conceito de soluções tecnológicas, não só capazes de diminuir os consumos energéticos, bem como, possibilitar a supervisão e controlo do Sistema em tempo real.

1.2 Motivação

Atualmente, uma das preocupações da sociedade contemporânea incide na poluição existente. Para controlar este facto, têm vindo a ser impostos limites na emissão de gases poluentes, a nível mundial, de tal forma que muitos setores económicos são obrigados a desacelerar a sua atividade. Salienta-se o exemplo recente de Pequim, onde a concentração de partículas microscópicas no ar era 24 vezes superior ao máximo de 25 microgramas por metro cúbico, considerado seguro pela OMS (Organização Mundial de Saúde) [25]. Deste modo, o governo chinês além de aconselhar a permanência da população nas suas residências ordenou ainda, o encerramento de 2100 fábricas [26].

A consciencialização deste problema tem conduzido as pessoas e as organizações a tomarem ações corretivas, contribuindo para a diminuição da poluição do planeta. É exemplo disso, a Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020), aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros nº29/2010, de 15 de abril com metas claras e objetivas para o aumento da produção de energia renovável [27].

Portugal criou dois fundos de investimento, o FEE (Fundo de Eficiência Energética) e o FAI (Fundo de Apoio à Inovação), por forma a incentivar o desenvolvimento de projetos de eficiência energética, colocando as empresas numa posição ativa nesta problemática mundial [27].

O conceito de *Smart City*, resultante dos inúmeros projetos, consiste numa visão global do agrupamento de tecnologias de comunicação e gestão eficiente e segura das urbanizações. Portugal tem realizado alguns projetos nesta área, destaca-se o projeto InovCity em Évora, financiado em cerca de 10 milhões de euros pela EDP [28]. Este projeto alia inovações ao nível do controlo de consumos dos utilizadores, melhoramento da eficiência energética, qualidade da IP e incentivos tanto na microprodução como na criação de postos de abastecimento para veículos elétricos. Apesar da entrada destes veículos de forma “tímida” no mercado, até ao final do terceiro trimestre do ano transato, a venda de carros elétricos cresceu 183% [29]. Este crescimento de vendas é, em parte, justificado pelos incentivos do estado na sua aquisição.

Nas sociedades desenvolvidas e em vias de desenvolvimento, um dos fatores responsáveis por estas características é a distribuição de energia elétrica, com cada vez mais significância devido ao aumento dos dispositivos elétricos. Tendo em conta que, no consumo de energia elétrica na Europa, 40% representa os gastos para o fornecimento de edifícios [30], é imperativo melhorar a sustentabilidade energética residencial. Visando esse propósito, uma das medidas aplicadas por Portugal segundo a Diretiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro [31], foi a certificação energética de edifícios, que tem como objetivo tornar os custos energéticos num fator diferenciador, resultando numa valorização dos edifícios com maior eficiência energética.

A iluminação é responsável por cerca de 20% das necessidades energéticas do mundo [32], os seus custos podem representar 10 a 33% do consumo energético de cada país e 25 a 50% em cada edifício [33]. Apesar destes valores, é denotada a importância que a iluminação tem no dia a dia do Homem, facultando o alargamento do período diário de trabalho e o aumento da segurança noturna.

Relativamente à IP, tema abordado neste documento, é notável o seu peso nas faturas públicas, das quais os países são responsáveis. Porém, é deveras importante a boa qualidade luminotécnica, atendendo à sua relação direta com o aumento da segurança, o aumento da atividade social e consequente atividade económica.

Como se pode observar na Figura 1.1, apesar da diminuição do consumo de energia elétrica na IP, este continua elevado, o que implica uma necessidade do aumento da eficiência energética neste domínio. Esta diminuição está associada a algumas reformulações do sistema IP.

Posto isto, as motivações da realização deste projeto assentam na possibilidade de tornar a iluminação pública num sistema inteligente, com capacidades de supervisão eficiente e preditiva, por a forma aumentar a qualidade da iluminação, e melhorar a sua eficiência energética, contribuindo para a redução da fatura energética paga pelas autarquias, permitindo uma maior estabilidade e sustentabilidade económica e ambiental.

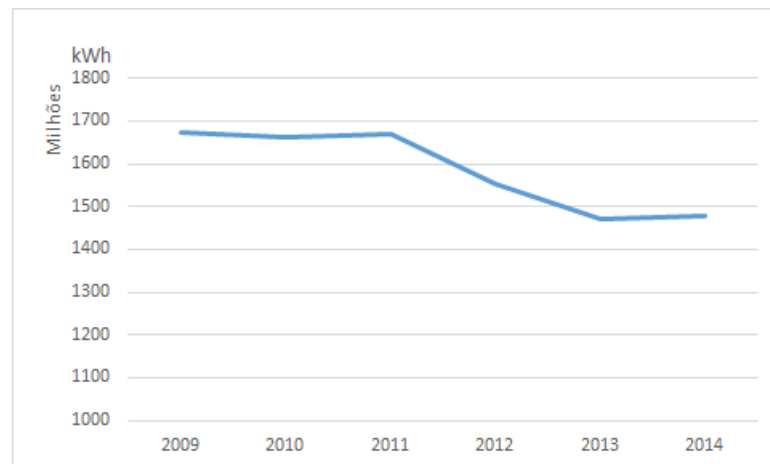


Figura 1.1: Consumo de energia elétrica na Iluminação Pública portuguesa [1].

1.3 Objetivos

A presente Dissertação pretende realizar um estudo das tecnologias que permitam aumentar a eficiência energética da iluminação pública, com possibilidade de controlo e supervisão. O controlo da iluminação visa permitir a diminuição dos consumos energéticos através de um controlo eficiente com alteração de parâmetros de funcionamento definidos por cada autarquia, de modo a atingir as metas estipuladas pelas mesmas.

No que concerne à supervisão deste sistema, existe a necessidade da criação de uma plataforma adicional, capaz de mapear o funcionamento de toda a rede e deteção de anomalias ou alertas, em tempo real.

Adicionalmente, ao estudo de mercado de soluções existentes implementadas e de tecnologias capazes de suportar o sistema final, irá ser realizado como prova de conceito um protótipo para o controlo da luminária.

1.4 Estrutura da Dissertação

O presente documento é composto por cinco capítulos. No capítulo que decorre, é apresentado o tema, bem como o seu enquadramento, posteriormente particularizados nos capítulos subsequentes.

O capítulo 2, reporta à revisão bibliográfica da iluminação pública e das tecnologias que suportam este tipo de sistemas.

No capítulo 3, é apresentada uma análise e modelação sistema para a iluminação pública.

O capítulo 4, é referente ao protótipo de controlo desenvolvido como prova de conceito, onde se demonstra as fases de desenvolvimento e resultados finais.

No capítulo 5, é realizado uma proposta de trabalho futuro de forma a melhorar este sistema e torná-lo escalável, assim como as conclusões finais relativas ao trabalho desenvolvido.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste capítulo, será analisado o estado da arte relativo à IP, mais especificamente a sua constituição e métodos referentes ao controlo, sem detrimento de algum estudo dos tipos de lâmpadas e qualidade da iluminação. Este facto deve-se ao foco no controlo da luminária. Será ainda realizado um estudo de mercado de soluções existentes, tanto na IP como na iluminação residencial, de modo a recolher métodos de controlo com aplicação no sistema a propor. Por fim, as tecnologias de suporte ao sistema em análise merecem também atenção, nas áreas de comunicação e controlo.

2.1 Iluminação Pública

O conceito de IP surgiu em Londres, em 1417, com a implementação de uma lei que obrigava a população a colocar lanternas no exterior da sua casa, ao cair da noite, durante a época de inverno. Medidas semelhantes foram aplicadas noutros centros populacionais mundiais, como foi o caso de Paris. Anos mais tarde, William Murdoch levava a cabo uma apresentação pública de um protótipo de IP constituídas por lâmpadas alimentadas a gás, que viria a ser implementado em Londres 5 anos mais tarde, em 1807. Pouco tempo mais tarde, apareceu uma instalação de IP alimentada por corrente elétrica, que, ao contrário da instalação anterior, requeria menor manutenção. Desde esses tempos, a IP tem vindo a reinventar-se, tanto no design como no consumo energético [34].

A perceção de obstáculos e a procura da diminuição da criminalidade são os pontos impulsoadores para os constantes melhoramentos deste sistema, pretendendo aumentar a segurança das vias públicas. A segurança noturna alavanca um notável crescimento da atividade social, que por sua vez, alavanca o crescimento económico de negócios nestes horários.

O crescimento global das zonas urbanas está correlacionado com a qualidade da iluminação, exemplo evidente na Figura 2.1. É possível observar uma concentração luminária maior no países desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento, no entanto, é ainda notável a diferença entre as zonas urbanas e rurais.



Figura 2.1: Panorama da iluminação mundial [2].

2.1.1 Realidade Atual em Portugal

A IP em Portugal entre os anos de 1970 e 2014, teve um crescimento notável, como se pode observar na Figura A.1 e Figura A.2. Apesar das áreas com maior gasto na iluminação serem relativamente as mesmas, existe um crescimento abrupto na energia gasta.

Este crescimento é preocupante e deve ser travado sem detrimento da qualidade da segurança e da iluminação existente. Segundo a ADENE (Agência para a Energia), a IP poderá vir a aumentar o seu consumo energético dos atuais 3% para os 4 a 5%, que representa um gasto considerável para os Municípios suportarem. De modo a contrariar este facto, existe um conjunto de intervenções que podem ser implementadas para aumentar a eficiência energética, tais como [35]:

1. Instalação de reguladores de fluxo luminoso (Dimmer).
2. Substituição de luminárias e balastros ineficientes.
3. Substituição de lâmpadas de vapor de mercúrio por outras mais eficientes.
4. Instalação de tecnologias de controlo.
5. Gestão e Monitorização da IP

Segundo a Resolução de Conselho de Ministro nº2/2011 [36], o Estado compromete-se a promover a utilização de IP de forma mais eficiente, tendo como prioridade o desenvolvimento de empresas com objetivos de realização de projetos nesta área, baseados na ideologia de eficiência energética. Adicionalmente, foi criado o programa ECO.AP (Programa de Eficiência Energética na Administração Pública) com o intuito de aumentar a eficiência energética dos serviços e organismos do Estado na ordem dos 20% até 2020 [37].

2.1.2 Inovações Tecnológicas

Visando o aumento da qualidade da IP e da eficiência energética, tendo por base as leis, metas e os incentivos existentes, investigadores e as empresas intrínsecas ao setor energético, bem como os fornecedores de constituintes das luminárias têm vindo a realizar projetos inovadores nesse sentido. As inovações tecnológicas abrangem os dispositivos constituintes e a sua arquitetura.

No que concerne à constituição da IP, esta tem sido alvo de constantes evoluções e inovações, aprimorando ao nível das lâmpadas e os balastros. Relativamente às lâmpadas, a tecnologia LED tem mostrado o seu contributo para a diminuição dos consumos em cerca de 20%. Relativamente aos balastros, estes permitem poupanças de cerca de 30 a 50%, com balastros eletrónicos ou eletrónicos reguláveis, respetivamente [38].

Para fazer face aos resultados das lâmpadas LED, novas tecnologias de iluminação promissoras têm vindo a surgir, nomeadamente as lâmpadas OLED e de Plasma. As vantagens destas tecnologias incidem na distribuição da luz, na possibilidade de integração em sistemas de controlo e na diminuição dos consumos.

A IP tem sido integrada em projetos com a tecnologia IoT (Internet of Things), que consiste num sistema com objetivo de conectar constituintes do mundo físico à Internet, tais como aparelhos elétricos, pessoas, objetos, atribuindo-lhes um identificador único, de forma a poder receber e enviar informação em qualquer parte do globo.

Os sistemas de IP baseados na tecnologia IoT visam a eficiência energética, que aumenta com a particularização de controlo, ou seja, o seu nível de controlo pode estar situado no posto de transformação (PT) ou em cada luminária. A eficácia deste tipo de sistemas ronda os 70%, no entanto, a sua implementação engloba um valor de investimento inicial elevado, com um *payback* de cerca de seis anos [38].

2.1.3 Componentes da IP

A Figura 2.2 representa o Sistema de IP convencional, onde é observável a conexão e partilha de condições de funcionamento em todas as luminárias subsequentes ao PT. Este efetua um controlo determinístico e centralizado à sua sub-rede de luminárias. Os principais constituintes das IP são:

1. Armaduras: têm como funções de controlar o fluxo luminoso de forma mais eficiente possível, evitar o encadeamento e proteger a eletrónica contra ameaças externas.
2. Lâmpadas: tem o objetivo de fornecer radiação ótica visível.
3. Aparelhagens Auxiliares: Necessárias para ao funcionamento da lâmpada, adequando as suas características ao tipo da lâmpada em questão.

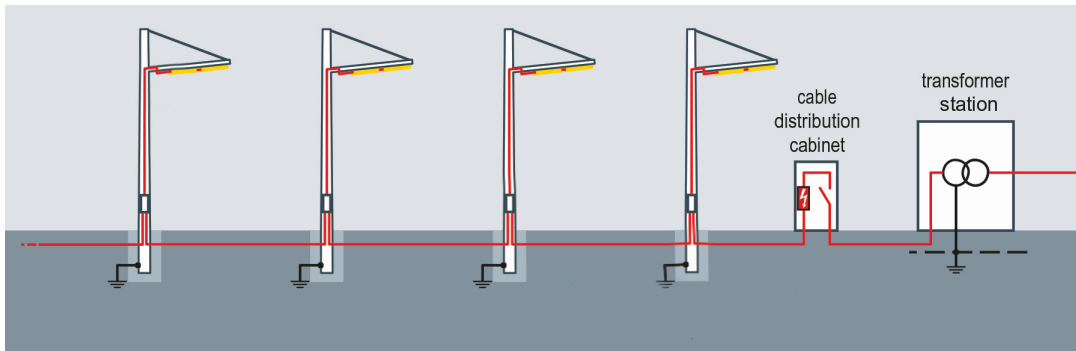


Figura 2.2: Sistema de IP convencional (adaptado de [3]).

2.1.3.1 Lâmpadas

Várias tecnologias têm surgido com aspetos diferenciadores relativamente às lâmpadas incandescentes primordiais. Esses aspetos consistem em:

1. Custo (€);
2. Tempo de vida (h);
3. Potência (W);
4. Eficiência Luminosa (lm/W);
5. Fluxo Luminoso(Φ);
6. Temperatura de cor (K);
7. Índice de Restituição (IRC);
8. Fator de sobrevivência da lâmpada (LSF);
9. Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (LLMF);

Atendendo a isso, importa analisar a atualidade no que reporta às metas energéticas e às lâmpadas em uso.

O PNAEE (Plano de Ação para a Eficiência energética), no âmbito da Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013, estabeleceu metas energéticas relativamente aos consumos das lâmpadas, que desencadeou a entrada das lâmpadas incandescentes e de vapor de Mercúrio num momento de *phase-out*, classificando-as como obsoletas [39]. Este facto levou ao desaparecimento das lâmpadas incandescentes, no entanto, as lâmpadas de vapor de Mercúrio continuam em uso minoritário na IP portuguesa.

A restante constituição da IP portuguesa abrange as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (VSAP), as lâmpadas de iodetos metálicos e as lâmpadas LED [12].

A comercialização de lâmpadas VSAP teve início a partir de 1955, com êxito, devido às suas características diferenciadoras relativamente à eficiência luminosa. O seu princípio de funcionamento é semelhante às lâmpadas de vapor de Mercúrio, diferindo na adição de sódio.

À *posteriori*, surgiram as lâmpadas de iodetos metálicos, que preservaram o mesmo princípio de funcionamento. A adição de iodetos metálicos concedeu a este tipo de lâmpadas aspetos diferenciados de eficiência luminosa e de IRC.

As lâmpadas de indução eletromagnética têm como princípio de funcionamento a excitação de mercúrio e de gases nobres, através da aplicação de um campo magnético oscilante de alta frequência. Possibilitam o arranque de forma quase imediata, assim como o aumento do tempo de vida.

As lâmpadas LED, tecnologia relativamente recente neste setor, encontram-se em expansão no mercado da IP, bem como, no mercado da iluminação em geral. O seu princípio de funcionamento consiste na transformação da energia elétrica em energia luminosa, através de matéria sólida. Esta tecnologia destaca-se positivamente, nos parâmetros referidos anteriormente, e na possibilidade de integração em sistemas de IP inteligentes, devido à sua facilidade de controlo e regulação de fluxo [40].

A Tabela seguinte 2.1 é um resumo das características das tecnologias de iluminação abordadas. Pode-se assim concluir que as lâmpadas LED representam notoriamente uma boa escolha relativamente às outras possibilidades, pelo facto de conseguirem maior eficiência energética, terem uma longevidade considerável e intervalos de manutenção maiores, apresentarem resistência a vibrações, não emitirem radiação ultra-violeta ou infravermelha e terem a capacidade de emitir luz imediatamente após o seu acionamento.

Tabela 2.1: Comparação de tecnologias de Iluminação (adaptado de [12]).

Tecnologia	Temperatura de Cor (K)	IRC (%)	Eficiência Luminosa (lm/W)	Tempo de Vida (h)
Incandescente	2700	100	10-20	1000
Vapor de mercúrio	3000-4000	40-55	45-58	9000-15000
Vapor de sódio	2000	22	80-150	18000-32000
Vapor metálico	3000-6000	65-85	65-90	8000-12000
Indução	4000	80-90	80-110	60000
LED	2700 – 5000	60-98	120 – 160	30000 - 100000

2.1.3.2 Aparelhagens Auxiliares

As aparelhagens auxiliares são componentes necessárias ao funcionamento das lâmpadas, dado que estas não podem estar ligadas diretamente à rede elétrica. No caso das lâmpadas de descarga são usados balastos, por outro lado, as lâmpadas LED necessitam de *drivers* para o seu funcionamento [13].

Os balastos têm como função limitar a corrente durante o funcionamento e produzir corrente e tensão de arranque. A oferta de mercado para estes componentes é limitada a balastos eletromagnéticos e balastos eletrônicos.

Os balastos eletrônicos construídos por condensadores de alta frequência concedem vantagens consideráveis relativamente aos eletromagnéticos, em termos de eficiência energética, com a possibilidade de regulação de fluxo e aumento da vida da lâmpada em cerca 50%.

Os balastos eletromagnéticos impõem um fator de potência baixo na instalação, pelo que são acompanhados de condensadores de compensação. Adicionalmente, em alguns tipos de lâmpadas de descarga, existe a necessidade de usar um ignitor com o objetivo de injetar impulsos de alta tensão, permitindo o arranque destas [41].

A Tabela 2.2 apresenta um resumo dos balastos disponíveis para venda no mercado, onde é possível confirmar a eficiência dos balastos eletrônicos.

Tabela 2.2: Resumo dos tipos de balastos disponíveis no mercado (adaptado de [13]).

Classe	Tipo de Balastro
A1	Balastro eletrônico com regulação de fluxo
A2	Balastro eletrônico de baixas perdas
A3	Balastos eletrônico convencional
B1	Balastro eletromagnético de muito baixas perdas
B2	Balastro eletromagnético de baixas perdas
C	Balastro eletromagnético convencional (retirado do mercado em 21/11/2005)
D	Balastro eletromagnético de altas perdas (retirado do mercado em 21/05/2002)

No que concerne às lâmpadas LED, tal como foi referido, não necessitam de balastos nem dos restantes componentes associados, no entanto, é necessário a utilização de um *driver* para o seu funcionamento. Este aparelho tem como funções transformar a corrente elétrica da rede em corrente contínua para alimentar os LEDs bem como efetuar o controlo do seu fornecimento. Um dos tipos de *drivers* mais utilizados, são os que recorrem a fontes comutadas por PWM (Pulse-width modulation). Este método permite a regulação do fluxo luminoso (*dimming*) fornecido pelo LED, através da variação da frequência de comutação e consequente variação da corrente fornecida [42].

2.1.3.3 Luminária

A luminária pode ser subdividida em três tipos de constituintes: os componentes elétricos, os refletores e a lente.

A luminária tem como função distribuir o fluxo luminoso, de forma a melhorar qualidade da iluminação e o rendimento energético. A garantia do funcionamento dos componentes face às ameaças externas, assim como a garantia da segurança dos utilizadores e operadores, são preocupações relevantes.

Deste modo, para a escolha da luminária devem ser equacionados fatores económicos, de investimento e de manutenção, além disso, é relevante considerar fatores operacionais, como a resistência a fatores externos, as suas características dimensionais e ainda a sua compatibilidade com as fontes luminosas desejadas [12].

2.2 Sistemas de Controlo e Gestão de Iluminação

O aumento abrupto do consumo da eletricidade, influenciado pelo crescimento industrial e urbano, despoletou o aumento considerável dos seus preços. Esta subida amplificou a relevância deste tipo de sistemas, que além dos seus contributos para a eficiência energética contribuíram para o melhoramento da qualidade da iluminação. Este tipo de sistemas aumentam a sua eficiência energética com o aumento da perceptibilidade do ambiente externo, no qual se inserem. Nesta subsecção, serão abordadas estratégias e sistemas com aplicação no interior de edifícios e também nas vias públicas.

2.2.1 Comutação (ON/OFF) e *Dimming*

Este controlo é o menos eficiente, uma vez que, a eficiência alcançada depende completamente do bom senso do utilizador. O controlo pode ser realizado de duas formas distintas, o controlo ON/OFF e o *dimming*. O primeiro consiste no fornecimento total ou sem qualquer fornecimento de energia elétrica ao ponto de luz, estratégia realizada através de um circuito de comutação simples ou de um circuito eletrónico de comutação, designado de relé. O *dimming* consiste num controlo do fluxo luminoso, permitindo o ajuste da luminosidade artificial às necessidades do momento com a conseqüente diminuição do consumo energético. A regulação do fluxo não é igual em todas as lâmpadas, existindo a necessidade de adaptação do dispositivo à lâmpada.

2.2.2 Interruptores Horários

A necessidade de iluminação artificial depende diretamente da ausência de iluminação natural. No caso da IP e em condições atmosféricas normais, as necessidades luminotécnicas ocorrem com o cair da noite, momento este variante pela época do ano ou local geográfico. Para fazer face a esta situação e às necessidades luminotécnicas, existem fórmulas matemáticas que permitem a criação de horários anuais, ajustados à mudança contínua destes factos.

Os Interruptores Horários podem ser programados com as disposições temporais suprarreferidos ou ainda com outras especificações inerentes ao objetivo de iluminação. No caso da IP, estes horários são adaptados à intenção das autarquias. Estes interruptores têm como vantagem a previsibilidade dos seus gastos energéticos, tendo em conta que os horários têm uma sequência fixa durante o ano. Em contrapartida, advém a impossibilidade da ativação automática da iluminação em caso de mudanças extremas da luminosidade natural, cujos horários preveem o estado do sistema como desligado.

2.2.3 Interruptores Crepusculares

Estes interruptores acionam o sistema sempre que a luminosidade natural não se enquadra nos parâmetros limite, previamente definidos. Deste modo, as alterações das condições luminotécnicas naturais imprevisíveis, tais como dias chuvosos ou nevoeiro, representam variáveis de acionamento que não estavam suportadas pelo o sistema anterior. Associado a esta situação advém a vantagem do aumento da qualidade luminotécnica, reversamente existe a imprevisibilidade dos custos.

No caso da iluminação interior, para fazer face a possíveis obstruções de luz natural, oriunda do exterior do edifício, pode ser realizado o *dimming* de algumas lâmpadas consoante a sua localização na repartição do edifício, atingindo o objetivo de uniformização da luminosidade do local, tal como é observado na Figura 2.3.



Figura 2.3: Necessidades luminotécnicas condicionadas pela luz natural [1].

2.2.4 Interruptor de Presença

A deteção de movimento é um fator determinante no acionamento da iluminação em locais como sanitários ou acessos exteriores. Esta opção de sistema correlaciona-se com a ausência de necessidade contínua de iluminação, a qual é fornecida na presença de movimento.

Estes interruptores são usualmente associados a um temporizador que pode ser definido pelo utilizador, de forma a adaptar-se à situação para que é projetado.

2.2.5 Sistemas de Controlo Luminotécnico

Nesta secção, serão abordados sistemas que, ao contrário dos anteriores, aliam várias medições de fatores externos para o controlo eficiente e eficaz da iluminação. Deste modo, o seu output é condicionado por fatores externos ou programáveis. Relativamente aos fatores externos, são considerados a luminosidade natural do local e os movimentos detetáveis pelo sistema. No caso dos parâmetros programáveis, são relevados os horários de funcionamento e intensidade de iluminação em determinados períodos temporais. Apesar do seu custo elevado, estes garantem um aumento significativo na eficiência energética comparativamente às estratégias em epigrafe.

2.2.5.1 Sistemas de Controlo Luminotécnico em Edifícios

A relevância dada à eficiência energética pelas pessoas é cada vez maior, fator relevante na escolha de empreendimentos pessoais e empresariais. Alavancados nesta necessidade de eficiência energética, e com uma abertura favorável do mercado, os sistemas de controlo têm-se destacado pelo aparecimento de novas tecnologias.

Estes sistemas pautam-se pela diminuição do consumo energético e um aumento significativo da qualidade luminotécnica, resultante da sensorização do local.

O mercado atual oferece várias soluções proeminentes, uma das quais apresentadas pela Schneider, o DALIcontrol. Este sistema de controlo usa como interface *standard* o DALI (Digital Addressable Lighting Interface), criado nos anos 90 a pedido das grandes marcas de iluminação da Europa, devido à necessidade de criação de uma interface comum [43].

A facilidade de implementação e escalabilidade são os principais diferenciadores desta solução, fatores de relevo, dada a necessidade de efetuar algumas mudanças no sistema elétrico. Além disso, permite a monitorização e gestão de todo o sistema, através de um software de controlo.

Relativamente à arquitetura ilustrada na Figura 2.4, verifica-se a existência de um conjunto de componentes que tornam este produto completo e com múltiplas funcionalidades. A gestão sustentável da iluminação é realizada com o auxílio de interruptores com capacidade de *dimming*, sendo que para tal o controlador tem como fonte a informação enviada pelos sensores, através do LCD ou pelo software de gestão.

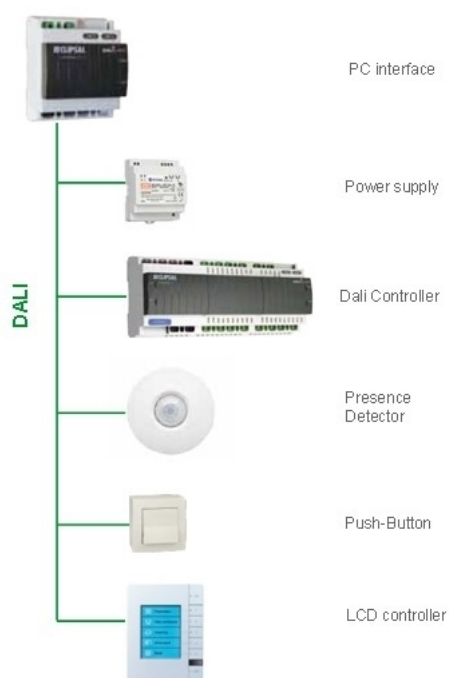


Figura 2.4: Arquitectura DALIcontrol [4].

2.2.5.2 Sistemas de Controlo em Vias Públicas

Os sistemas responsáveis pelo controlo da IP, em termos genéricos, estão centralizados no PT, controlando os ramais subjacentes de forma uniforme. Existem soluções inovadoras que são regidas por um controlo ponto a ponto das luminárias em detrimento do controlo centralizado nos PT's. Este controlo individual implica um grande investimento inicial, no entanto as poupanças energéticas espetáveis são consideráveis.

Um dos sistemas proposto para o controlo da IP é realizado pela empresa TVILIGHT. Este permite o controlo individual da luminária, aliado a um serviço de deteção de falhas, suportado numa rede wireless, e respetiva monitorização no software de gestão da rede de IP. É de salientar a sua

compatibilidade para a maioria das lâmpadas usadas na IP, o que pode constituir o aproveitamento do sistema de iluminação antigo.

Ao nível da luminária, esta empresa propõe três tipos de soluções de controlo diferentes:

1. NIGHTSKY - caracteriza-se por ser *Stand-alone*, ou seja, não depende de terceiros para realizar o controlo da luminária. O acionamento e o *dimming* das lâmpadas é efetuado tendo em conta os horários de iluminação dos locais, afetando da mesma forma todas as luminárias da rede de IP. Este permite ainda, detetar falhas e controlar a IP instalada com o respetivo software de gestão.
2. SKYLITE - contrariamente ao anterior, as luminárias deste sistema possuem comunicação *Wireless*, acresce relativamente ao anterior, o controlo individual de cada luminária.
3. CITYSENSE - é a mais completa das três soluções, comparativamente com a anterior diferencia-se por detetar o movimento humano que desencadeia o acionamento ou regulação da luminosidade das lâmpadas, adicionalmente, é munido de comunicação entre luminárias, permitindo prever o movimento detetado em outras luminárias, aumentando assim a qualidade da iluminação.

No que concerne aos resultados, a empresa refere uma poupança entre 40% e 80% a nível energético e poupanças entre 20% e 50% referente à manutenção [14].

2.2.6 Conclusões

Todas as estratégias e sistemas abordados nas secções acima têm um ganho relevante, relativamente ao acionamento manual da iluminação. Contudo, o ganho tem tendência a aumentar com a conjugação de estratégias. Exemplo disso são os sistemas de controlo, que têm em consideração os vários fatores em simultâneo. Em contrapartida, estes sistemas têm um custo associado elevado quando comparado com os aparelhos eletrónicos, que aplicam estratégias de controlo através da deteção de luminosidade, deteção de presença ou do controlo horário.

A Tabela 2.3 ostenta os valores de poupança energética, resultantes das estratégias e sistemas referidos. Além dos sistemas aplicados de forma individual, compara sistemas conjugados, tal como foi referido anteriormente, aumenta os valores da poupança.

Tabela 2.3: Comparação de poupança energética [14, 15].

Sistemas:	Interruptor	Interruptor Horário	Presença	Dimmer + Crepuscular	Presença + Crepuscular	Sistema de Controlo
Poupança Energética	Base	10%	20%	29%	43%	>50%

2.3 Casos de estudo

2.3.1 New Hampshire

A Siemens, empresa conceituada com grande foco na eletrificação, automação e digitalização, realizou uma reformulação de nove mil luminárias em New Hampshire, Londres, substituindo as suas lâmpadas tradicionais por lâmpadas LED. Esta alteração traduziu-se numa poupança de 450,000,00€ em custos energéticos e de manutenção [44].

Uma das inovações nos constituintes da iluminação foi a tecnologia LED, que diminui os consumos em cerca de 60%, bem como os custos de manutenção. Salienta-se ainda aspetos positivos, como a ausência de emissão de luz ultra-violeta e infravermelha, a segurança dos operadores devido ao funcionamento em baixa tensão, e finalmente, a resistência a impactos e vibrações resultantes da sua constituição sólida[45].

Como se pode constatar, um simples projeto de mudança da lâmpada pode diminuir consideravelmente os custos de consumo energético e de manutenção. No entanto, a realização deste tipo de reformulações deveria ter em conta a preparação do sistema para eventuais inovações, de forma a poder realizar um simples *upgrade* ao invés de reformulações profundas.

2.3.2 Évora InovCity

Este projeto piloto engloba um conjunto de projetos nas áreas de Distribuição e Microprodução de Energia, Iluminação Pública, e Transportes Elétricos [46].

A cidade foi escolhida para receber este projeto devido à sua visibilidade nacional e internacional, assim como pelo cumprimento de especificações dimensionais, distribuição da rede elétrica e consumo energéticos, definidos pelas entidades.

A cidade de Évora foi escolhida pela sua visibilidade nacional e internacional, assim como pelo cumprimento das especificações definidos pelas entidades envolvidas no projeto, nomeadamente especificação dimensionais, de distribuição da rede elétrica e do consumo energético.

O objetivo global do projeto é tornar Évora um exemplo de uma *smartcities*, sendo a eficiência energética e a inteligência dos sistemas, duas ideologias que fazem parte de todos os projetos nas várias áreas.

Relativamente à IP, realizou-se a implementação de reguladores de fluxo nos PT's, a reformulação das luminárias existentes e a implementação de um sistema de presença na zona histórica. Os reguladores instalados permitem a regulação do fluxo em horas de menor afluência, reduzindo os consumos energéticos. A renovação das luminárias para a tecnologia LED permite uma poupança evidente em comparação com o sistema anterior, tal como no caso de estudo anterior. Por último, a implementação dos detetores de presença no centro histórico aliado aos factos anteriores, permitiu uma poupança de cerca de 66%.

Na área dos transportes, foram instalados vinte e dois pontos de carregamento em onze postos de carregamento para veículos elétricos, com o objetivo de impulsionar a compra deste tipo de veículos.

Foi ainda criado um sistema de gestão e monitorização para os clientes dos fornecedores de energia elétrica. Este sistema permite a monitorização dos consumos, a faturação segundo os consumos reais e ainda a ativação remota de serviços, como a alteração de horários e potência contratada.

2.4 Tecnologias

2.4.1 Comunicações

As subsecções que se seguem são elaboradas e sintetizadas nestes estado da arte, suportados na generalidade pelas referências [7, 8].

As redes de comunicação são um aspeto fulcral em qualquer sistema de informação, possibilitando a troca rápida e segura de dados. Os avanços tecnológicos neste ramo incidem nas capacidades de transmissão e de processamento, fatores determinantes para fazer face ao aumento do fluxo de informação. Por norma, sistemas complexos tendem a dividir as tarefas de forma a minimizar a complexidade, mantendo a sua operacionalidade.

2.4.1.1 Transmissão de Dados

A transmissão de dados pode realizar-se de forma síncrona ou assíncrona.

Na transmissão síncrona existe a necessidade de sincronismo entre o dispositivo recetor e emissor. Cada bloco de informação é transmitido e recebido num instante de tempo definido e conhecido pelos intervenientes. Estes mantêm-se bloqueados durante toda a transmissão, impedido a sobreposição da transmissão de blocos de informação.

No que concerne à comunicação assíncrona, os blocos de dados são enviados em qualquer ordem e em intervalos de tempo diferentes. Deste modo, para a identificação correta por parte do recetor do início e fim de transmissão de um carácter, o transmissor envia respetivamente, um *start* e um *stop bit*.

Relativamente à transmissão assíncrona, a síncrona apresenta uma maior eficiência resultante de uma maior proporção de informação efetiva em comparação com a informação de controle. Ainda, conseqüente do envio em bloco da informação existe uma diminuição nos erros de comunicação, sendo que, na sua presença toda a informação tem de ser reenviada. Por outro lado, a transmissão assíncrona necessita apenas do envio da partição do bloco de informação total que contém o erro, uma vez que a informação segue repartida em blocos com ordem aleatória segundo a disponibilidade do dispositivo recetor. A necessidade de utilização de *buffers* para acumulação da informação antes da transmissão ou na receção, encarece o custo do equipamento necessário na transmissão síncrona, no entanto, permite a compactação da informação e conseqüente aumento da velocidade de transmissão.

A transmissão de dados pode categorizar-se também por: *Simplex*, *Half-Duplex* e *Full-Duplex*. Uma transmissão caracteriza-se como *Simplex*, quando é efetuada apenas numa direção e nunca no sentido inverso. Por outro lado, a *Half-Duplex* permite a transmissão de dados bidirecional,

impondo instantes em que os dispositivos assumem, ora o papel de transmissores, ora o de receptores. Por fim, a comunicação *Full-Duplex* possibilita a transmissão de dados bidirecional ao mesmo tempo, desta forma, a taxa de transmissão admite um aumento notável relativamente aos tipos anteriores [47].

Por fim, existe ainda a diferença entre comunicação Serial e Paralela. Na comunicação Serial, os dados são enviados *bit a bit* sequencialmente, em vez de oito *bits* simultaneamente, o que se sucede na comunicação Paralela. Esta, apesar de aumentar a taxa de transmissão necessita de oito cabos para transferência de *bits* e um de *clock*, ao contrário do que ocorre com a comunicação serial, que usa no máximo quatro. Por sua vez, comporta ainda um sistema de deteção de erros, tornando a comunicação mais segura.

2.4.1.2 Classificação Geográfica

A classificação mais usual das redes é baseada na área geográfica ou organizacional. Esta é definida por vários tipos, dos quais: HAN, LAN, MAN, WAN, WMAN, WWAN, entre outras.

As redes locais (LAN) representam grande parte das redes da atualidade. Consistem na comunicação entre dispositivos dentro de uma zona geográfica limitada, como um interior de um edifício ou um conjunto de edifícios relativamente próximos. Com um alcance ainda menor existem as redes domésticas (HAN).

Quanto às redes metropolitanas (MAN), são habitualmente usadas para comunicação de várias repartições de entidades que se situam dentro da mesma cidade, porém separadas, com distâncias consideráveis.

A rede de área alargada (WAN), consiste na ligação de equipamentos ou redes, com limites mais alargados, atingindo a conexão entre continentes, é exemplo disso, a Internet.

As redes metropolitanas sem fios (WMAN), tem as mesmas características que as redes MAN, com a diferença da ausência de cablagem[48].

Por último, a rede alargada sem fios (WWAN), é uma tecnologia que as operadoras móveis utilizam para criar a sua rede de transmissão.

2.4.1.3 Mecanismos de Acesso ao Meio

Por forma a controlar o acesso ao meio de transmissão, evitando colisões, existe a necessidade de criar mecanismos que controlem o fluxo de dados. Estes mecanismos dividem-se em três grupos: acesso multiplexado, acesso controlado e acesso não controlado. O primeiro divide o meio de comunicação pelos intervenientes, evitando interferências. O acesso controlado, tem mecanismo de permissão de início de comunicação, que vai passando por todos os dispositivos. Por último, no acesso não controlado, qualquer dispositivo pode tentar dar início à comunicação, existindo mecanismos para detetar ou evitar colisões. Na Figura 2.5 estão presentes alguns destes mecanismos, dos quais:

1. TDMA (Time Division Multiple Access) - permite a partilha do mesmo canal de frequência por vários dispositivos, que têm intervalos de tempo de comunicação previamente definidos. Este escalonamento do tempo permite um bom desempenho mesmo com tráfego de comunicação elevado. No entanto, a sua eficiência pode ser questionável, uma vez que se os dispositivos não necessitarem de comunicar, os seus períodos de comunicação mantêm-se ocupados. De forma a seguirem os ciclos de comunicação, existe uma necessidade de sincronização precisa dos relógios.
2. FDAM (Frequency Division Multiple Access) - cada dispositivo comunica numa frequência diferente dos restantes ligados à mesma rede, sendo que esta frequência é previamente definida. Este mecanismo de acesso necessita de uma largura de banda elevada, e tem um custo de implementação considerável.
3. Token - o controlo da comunicação é feito pelo "testemunho", que passa de dispositivo em dispositivo segundo o seu número de ordem, facultando o acesso ao meio. Quando um dispositivo não necessita do "testemunho" envia-o ao dispositivo seguinte, no entanto, de forma a evitar a má distribuição do meio de transmissão, existe um limite de tempo definido para detenção do "testemunho". Em condições de tráfego elevado este mecanismo tem um bom desempenho e impede colisões tal como os anteriores, contudo, em condições de baixo tráfego a sua eficiência é diminuída pelo facto do testemunho de passar por todos os dispositivos sequencialmente.
4. Polling ("Mestre-Escravo") - existe um dispositivo "mestre" que concede, de forma sequencial, permissão para o início da comunicação e sua duração a cada dispositivo "escravo". Este mecanismo reduz o tempo na passagem por todos os nós, não existindo intervalos de tempo sem transmissões, todavia, a falha do dispositivo mestre implica a falha total do canal.
5. CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) - este mecanismo tal como os que se seguem não impõem intervalos fixos e cíclicos de transmissão, aumentando assim a probabilidade da ocorrência de colisões. Neste mecanismo os dispositivos após transmitirem o pacote de informação, ficam à "escuta" para verificar a existência de colisões. No caso da sua ocorrência, o dispositivo emite um sinal para os restantes a notificar do sucedido. Todos os nós ao receberem este sinal, assim como o que o enviou, esperam um período de tempo aleatório para retransmissão, período este que é calculado pela técnica "binary exponential backoff". Esta multiplica o período de tempo de espera anterior pelo número de colisões, até que seja encontrado um instante de tempo livre de colisões. De modo a facilitar a deteção de colisões, é necessário que o tamanho mínimo dos pacotes a enviar seja tal que o tempo de transmissão necessário, seja o dobro do atraso de propagação. Esta condição é aplicada de forma a evitar que a transmissão não acabe, sem que o sinal de colisão seja produzido, se for o caso [49].
6. CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) - este mecanismo tenta evitar as colisões com a confirmação prévia da disponibilidade do meio, e com o aviso aos

restantes dispositivos da transmissão e sua duração. Sempre que o meio está ocupado é calculado um tempo aleatório para nova verificação, através da técnica usada pelo mecanismo anterior. Sempre que se inicie uma transmissão, o meio mantém-se ocupado até que o dispositivo recetor confirma a receção de todo o pacote.

7. CSMA/BA (Carrier Sense Multiple Access/Bitwise Arbitration) - este mecanismo é semelhante ao CSMA/CD, com diferenças na ocorrência de colisão. Neste caso existe uma prioridade entre dispositivos, que obriga à desistência do meio por parte do dispositivo com menor prioridade, enviando o seu pacote de informação em instantes posteriores.

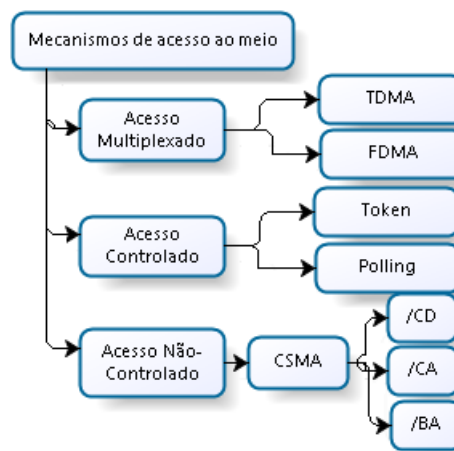


Figura 2.5: Mecanismos de acesso ao meio (adaptado de [5]).

2.4.1.4 Modelos de Interação

A divisão de sistemas complexos em subsistemas mais simples exige uma comunicação eficiente e eficaz. Deste modo, é essencial definir uma modelo de interação, tendo em conta os requisitos de rede, de forma a garantir a correta sincronização das tarefas e a ausência de erros de comunicação.

1. Ponto a Ponto – os nós ligam-se diretamente sem intermediário, permitindo assim que qualquer um possa ter o papel de servidor ou cliente, quando assim o necessitar. Este modelo pretende ter uma boa performance e segurança na rede, no entanto, as distâncias de comunicação são exíguas.
2. "Mestre-Escravo- o fluxo de controlo realiza-se sempre do "mestre" para o "escravo". A rede pode possuir um ou mais "mestres" que despoletam a comunicação, entre estes e os "escravos".
3. Cliente - Servidor – o Servidor guarda a informação fornecida, mediante o pedido do cliente. Este pedido transfere o controlo de fluxo para o Servidor até que a comunicação esteja

concluída. Esta pode ser síncrona, implicando o bloqueio do Cliente até ao fim da comunicação, ou assíncrona onde o Cliente segue a emissão do pedido. O servidor responde individualmente a cada pedido, o que leva a um baixo desempenho em redes com alguma dimensão.

4. Produtor - Consumidor – o Produtor envia a informação para todos os dispositivos, e cada Consumidor analisa a necessidade ou não dessa informação. Deste modo, o Produtor não necessita de saber a identidade dos Consumidores. Este modelo torna a comunicação eficiente, visto que é enviada de uma só vez, e determinística pelo facto do número de Consumidores ser indiferente para a comunicação.
5. Produtor – Distribuidor - Consumidor – define-se pela combinação dos modelos anteriores. O Consumidor despoleta um pedido para o Distribuidor, que analisa qual dos Produtores tem a informação desejada.

2.4.1.5 Topologias de Rede

A topologia de rede consiste num mapa da rede, onde é demonstrando a forma de como cada nó da rede está conectado aos restantes. Os nós representam dispositivos que se encontram conectados à rede. As redes complexas podem comportar vários tipos de topologias, de forma a melhorar a eficácia global. Estas topologias podem ser:

1. Barramento – todos os nós encontram-se ligados a um cabo, e por norma um deles atua como servidor efetuando uma comunicação por *broadcast*. Esta topologia tem como vantagem o baixo custo de implementação, resultante da utilização reduzida de cabo e da ausência de hardware complexo. Porém, verificam-se desvantagens inerentes à dependência ao seu cabo principal, na medida em que caso este apresente problemas, toda a rede fica comprometida. Além disso, a deteção de falhas particulares é dificultada. Por estas razões, esta topologia não é usada em redes com alguma dimensão (Figura 2.6.a).
2. Estrela – todos os nós encontram-se ligados a um concentrador, através de uma conexão ponto a ponto, tendo este a função de receber os sinais e envia-los para o destino correto. Este aparelho pode ser um computador que gere a rede, ou somente um aparelho que realiza a ligação dos vários nós (*hub* ou *switch*). Esta topologia permite a fácil integração de novos nós à rede e a diminuição da suscetibilidade a falhas, visto que, na eventualidade da ocorrência de uma falha numa das ligações todas as outras se mantêm em funcionamento. Em contrapartida, a falha do aparelho central significa a perda total da rede. Além disso, é necessária maior quantidade de cabo que no caso anterior, aumentando assim o seu custo de implementação (Figura 2.6.b).
3. Anel – nesta topologia de rede, cada ponto está ligado a outros dois, usando ligações ponto a ponto. Os dados circulam num só sentido até ao destino final, atuando cada um destes como recetor de informação e, caso esta não lhe seja destinada, como emissor para enviar

ao próximo nó. O facto de todos os nós se encontrarem ligados em anel, permite o fluxo de dados em longas distâncias, dado que cada nó reforça o sinal para o seguinte. As desvantagens manifestam-se pelo difícil acréscimo de novos nós e pelo facto da rede poder ficar inoperacional, caso uma das ligações falhe (Figura 2.6.c).

4. Malha – todos os nós encontram-se ligados entre si, possibilitando uma diminuição de susceptibilidade a falhas, visto que, quanto maior o número de nós maior a variedade de caminhos alternativos. A existência de caminhos redundantes encarece o preço da instalação. (Figura 2.6.d).
5. Árvore – conjuga a topologia barramentos entre nós superiores e a topologia estrela nos nós inferiores. Uma das suas principais vantagens consiste na flexibilidade de expansão e modificação da rede, no entanto a existência de dependências a pontos centrais, pode comprometer todos os nós a eles ligados (Figura 2.6.e).

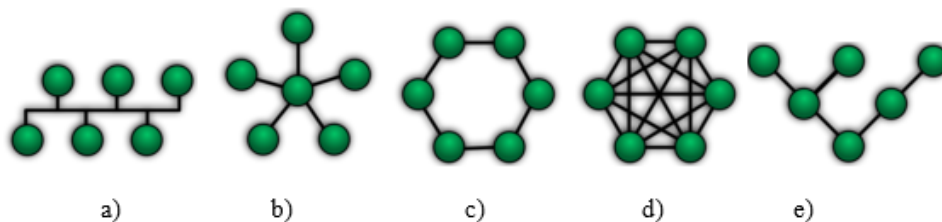


Figura 2.6: Topologias de Rede: Barramento; Estrela; Anel; Malha; Árvore [6].

2.4.1.6 Modelo OSI

A Organização Internacional de Normalização criou o modelo OSI (Open System Interconnection Model), em 1983, para colmatar a necessidade de criação de um modelo de referência, que possibilita-se a comunicação entre dispositivos, nomeadamente com hardware e software de fabricantes diferentes. A utilização deste modelo necessita de uma descrição detalhada dos protocolos e interfaces de comunicação usados. Os protocolos definem as regras de comunicação e os formatos das mensagens. As interface representam o ponto de comunicação entre os comunicantes.

Este modelo incorpora sete camadas, que incluem as funcionalidades de comunicação agrupadas de acordo com a sua afinidade. Abrange características desde o ponto de ligação com o meio físico até aos protocolos de aplicação, representadas nas camadas superiores deste modelo. O modelo OSI e respetiva estratificação encontra-se constatado na Figura 2.7.

A camada de aplicação (7), engloba um conjunto de protocolos que tornam a comunicação clara e suscita para os utilizadores, independentemente dos dispositivos usados. O HTTP (Hyper-Text Transfer Protocol) é o protocolo de aplicação mais usado e funciona como base para a rede mundial de computadores, a *World Wide Web*.

7	Aplicação	Suporte de Aplicações
6	Apresentação	Representação de Dados
5	Sessão	Regras de Comunicação
4	Transporte	Controlo de Transporte de dados
3	Rede	Gestão de Endereçamento de Dados
2	Ligação de Dados	Controlo de Transmissão
1	Física	Ligação Física

Figura 2.7: Camadas do modelo OSI (Adaptado de [7]).

Devido à existência de inúmeros tipos de aplicações de alto nível, é necessário executar uma conversão dos dados recebidos, de forma a uniformizar a comunicação. Adicionalmente, existe a possibilidade de efetuar a compressão dos dados, com o objetivo de diminuir o tempo necessário à comunicação, e ainda a sua encriptação, quando necessário. Todos estes mecanismos decorrem na camada de apresentação (6).

Após o tratamento dos dados supracitados, na camada de sessão (5) verifica-se a ausência de erros na informação, define-se a forma de ligação entre as entidades comunicantes, o mecanismo de controlo e sincronização, a recuperação de fluxo de dados, e ainda o modo de diálogo patentes na subsecção 2.4.1.1. Esta camada é, ainda, responsável pelo início da sessão de comunicação, sua gestão e seu término. Durante a comunicação os dados transmitidos são marcados, de modo a que, na existência de uma falha após o reinício da comunicação, não seja necessário reenviar os dados da mensagem.

Posteriormente às três camadas já referidas, finaliza-se o grupo pertencente às camadas superiores ou de aplicação, e inicia-se a descrição das inferiores ou de transporte, na subcamada intitulada transporte (4). Esta é responsável pela verificação de erros, pela receção e divisão da informação em segmentos de menor dimensão, permitindo uma independência entre os sistemas terminais e o tipo das sub-redes intervenientes na comunicação. Com o intuito de melhorar a comunicação, esta camada possui mecanismos de garantia de qualidade, de controlo de fluxo e de sequência. Para efetuar o transporte da informação são habitualmente referenciados dois protocolos, UDP (User Datagram Protocol) e TCP (Transfer Control Protocol). O protocolo UDP é ausente de ligação, não garantindo a transferência fiável da informação entre os dispositivos intervenientes. Todavia, este protocolo é usado em comunicações do tipo pergunta-resposta ou em aplicações que asseguram a fiabilidade da comunicação. Não obstante, o protocolo TCP é constituído por uma maior carga protocolar, que lhe permite estabelecer e terminar as ligações, controlar

a sequência, os erros e o fluxo dos dados de comunicação.

Após a fase de resolução, é necessário efetuar o roteamento, que consiste em planejar o caminho pelo qual a informação vai ser transmitida, podendo ter como referência, tabelas estáticas, tabelas definidas a cada início de sessão, ou ainda tabelas dinâmicas que são atualizadas a cada envio de pacotes de informação. Esta função rege-se habitualmente pelo protocolo IP (Internet Protocol), que tal como o protocolo UDP não requerem ligação para o processo de transferência de dados, assim como, não executam quaisquer funções de deteção e correção de erros. Este processo é realizado na camada de rede (3), onde é igualmente necessário controlar o congestionamento ou a ocorrência de erros, tais como, o erro no endereço do destinatário ou a impossibilidade de receber pacotes de determinado tamanho. Esta camada tem ainda a capacidade de priorizar a informação, ou seja, a informação perecível é enviada em primeiro lugar, na eventualidade de um congestionamento de rede.

Quanto à camada de ligação de dados (2) a sua função principal é tornar a comunicação sequencial, dividindo os pacotes em sequências de *bits*, detetando erros que possam ter sido absorvidos e controlando o acesso ao meio de comunicação, de forma a contornar possíveis diferenças da velocidade de transmissão e receção. Além disso, esta camada procede ao endereçamento físico e lógico dos dados transmitidos.

A última camada constituinte deste modelo é a camada física (1), representativa da interface com os meios físicos, tem como função a correta transmissão e receção da informação. É necessário conhecer o meio físico em questão, de forma a efetuar a correta conversão de *bits* para sinais físicos.

2.4.1.7 Modelo de Camadas TCP/IP

Este modelo ao contrário do anterior, foi desenvolvido após a criação dos seus protocolos, que apesar de ter permitido uma integração ausente de problemas, limitou a sua generalidade. Este modelo adveio da rede ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network), criada pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, com o objetivo de permitir a comunicação entre sistemas de computadores em múltiplas organizações militares dispersas. Esta rede começou a crescer aglomerando universidades e repartições públicas. Este crescendo, na atualidade, é representando a Internet.

Comparativamente ao modelo anterior, as diferenças de destaque residem no número de camadas. O modelo anterior era composto por sete camadas, este é composto por quatro, tal como pode ser observado na Figura 2.8.

A camada de aplicação (4) inclui protocolos de alto nível, tais como o protocolo para transferência de arquivos (FTP), correio eletrónico (SMTP), entre outros. As camadas de sessão e apresentação, neste modelo, não são tidas em consideração tendo em conta a sua falta relevância na maioria das aplicações.

A camada de transporte (3), tal como no Modelo OSI, é responsável por manter a comunicação entre a origem e o destino tendo como protocolos de referência o TCP e o UDP.

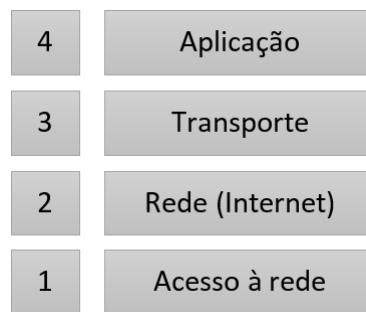


Figura 2.8: Modelo de camadas TCP/IP (Adaptado de [8]).

Quanto à camada de rede (2), a qual integra o protocolo IP, é responsável essencialmente pela circulação dos pacotes, baseando-se no endereço de destino. Tendo em consideração as características da tecnologia da rede subjacente, pode ainda ser efetuado um ajuste do tamanho dos pacotes, através da fragmentação, sofrendo agregação novamente no seu destino

Por último, a camada de interface com a rede (1), é responsável por transmitir e traduzir os pacotes previamente encapsulados, de forma a serem compatíveis com o nível físico.

2.4.2 Comunicações Cabladas

As redes físicas perduram até à atualidade, devido à segurança da comunicação e à velocidade de comunicação que possibilitam. O custo associado a este tipo de instalações, apesar de ser significativo não é tão elevado como o das redes sem fio, que necessitam de dispositivos dispendiosos para auxílio da comunicação. A desvantagem de maior relevo incide na dificuldade de instalação e da ampliação da rede.

Como consta na Tabela 2.4, existem diversas tecnologias cabladas no mercado atual, que t Em como características diferenciadoras a velocidade de comunicação, a distância máxima de comunicação e o número máximo de dispositivos ligados à rede.

Algumas das tecnologias cabladas existentes são:

1. RS232 e RS485: No que se refere, ao nível protocolar de comunicação serial, o UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) é o mais conhecido. Tal como o nome indica, a sua comunicação é assíncrona, normalmente assente no modo de comunicação RS232, possuindo três fios: *Tx* (Transmitter) e *Rx* (Receiver) para comunicação e *clock*. O RS232 representa um modo de comunicação *Simplex* e assíncrono, que apesar da sua versatilidade e simplicidade, apresenta como colossais desvantagens os seus limites quer na velocidade de transmissão, quer no alcance de comunicação [50]. Esta tendo vindo a ser substituída pelo RS485, que aumenta consideravelmente os limites referidos anteriormente e possibilita a comunicação *Half-Duplex* ou *Full-Duplex*.

As redes constituídas por este tipo de comunicações usam o mecanismo de acesso ao meio “mestre-escravo”, devidamente endereçada para possibilitar a comunicação sem erros. A

sensibilidade a interferências elétricas é diminuída consideravelmente, pelo uso da transmissão de dados balanceados, que emitem o sinal segundo o diferencial de tensões e não por uma referência (massa) como acontece no RS232 [17, 51].

2. SPI (Serial Peripheral Interface Bus): este protocolo comporta uma comunicação síncrona e *Full-Duplex* do tipo “mestre-escravo”, usando para tal, quatro cabos: *clock*, *MOSI* (Master Output Slave Input), *MISO* (Master Input Slave Output) e *SS* (Slave Select). O presente protocolo permite a conexão de múltiplos “escravos”, os quais são selecionados para o início da transmissão de dados, através do *SS*. Tal circunstância, requer um cabo diferente para cada “escravo”, limitando deste modo, a dimensão da rede. Outro inconveniente associado a esta tecnologia é o controlo centralizado, que impede a comunicação direta entre os “escravos” [52].
3. I²C (Inter-Integrated Circuit): este, é utilizado com o propósito de conectar periféricos de baixa velocidade a controladores. Todos os dispositivos ligados ao barramento da rede possuem um endereço único e têm capacidade de comunicar como transmissor (“mestre”), receptor (“escravo”) ou ambos. A comunicação é síncrona e *Full-Duplex*, permitindo assim um fluxo bidirecional, suportado em dois fios: transmissão de dados e *clock*. Não só, mas também, as principais vantagens passam pela possibilidade da existência de vários “mestres” na rede, e pela escalabilidade do sistema até mil e oito dispositivos “escravos” [53, 54].
4. Ethernet: é um protocolo de rede, oferece velocidades de comunicações mais elevadas, sendo, condicionado pela distância máxima de comunicação, que pode ser aumentada através dos *hubs* ou repetidores. Estes dispositivos de distribuição e conexão de rede, além do aumento do alcance da rede, contribuem por conseguinte, para a comunicação multiponto em estrela e para a diminuição de colisões entre pacotes. As interfaces físicas de comunicação deste protocolo são cabos coaxiais, cabos de quatro fios de cobre traçados com soquete *RJ-45* ou fibra ótica. A última, possibilita uma distância máxima de comunicação até 2km. Este protocolo é do tipo síncrono usando habitualmente como mecanismo de acesso ao meio o Token, e permite a comunicação *Full-Duplex* em algumas das suas configurações [55] [56].
5. PLC (Power Line Communication): consiste no aproveitamento da rede elétrica para transferência de dados. O facto desta tecnologia estar assente numa rede globalmente disseminada representa uma vantagem, dado não haver a necessidade de instalação de meios de comunicação. No entanto, representa o maior problema desta tecnologia, que está sujeita a interferências de ruídos, causados por deficiências nas instalações elétricas.

Esta tecnologia de comunicação, tem aplicação na monitorização de consumos por parte dos distribuidores de energia, em sistemas domésticos e ainda em aplicações de *Smart Grids*. Ao longo da sua existência, têm vindo a ser criados diversos *standards*, com intuito de diminuir a sensibilidade ao ruído e aumentar a velocidade de conexão. Alguns destes *standards* estão presentes na Figura 2.9.

Parameter	IEC61334 S-FSK	PRIME (OFDM)	G3 (OFDM)	P1901.2 / G3-FCC (OFDM)
Modulation size	Spread frequency shift keying	DBPSK / DQPSK/D8PSK	DBPSK / DQPSK/ (D8PSK)	DBPSK/DQPSK/D8PSK/ coherent modulation
Forward error correction	N/A	Rate ½ Convolutional Code	Outer RS + inner rate ½ convolutional code	Outer RS + inner rate ½ convolutional code
Data rate	2.4Kbps	21, 42, 64, 84, 64Kbps (with coding)	20.36,/34.76/(46)Kbps (with coding)	Scalable up to 250Kbps
Band plan	CENELEC-A	Continuous 42–89 KHz (defined for LV scenario)	36–91 KHz with tone masking for SFSK	CENELEC-A, FCC band
ROBO mode	No	No	Yes	Yes
Tone mask	No	No	Yes	Yes
Adaptive tone map	No	Yes	Yes	Yes
MAC	IEC61334 MAC	PRIME MAC	802.15.4/G3 profile	802.15.4 based
Convergence layer	IEC61334-4-32	IEC61334-4-32/IPv6	6LoWPAN/IPv6	6LoWPAN/IPv6
Meter application	COSEM/DLMS	COSEM/DLMS, IP	COSEM/DLMS, IP	COSEM/DLMS, IP

Figura 2.9: Protocolos *standard* de comunicação PLC[9].

Os *standards* que merecem maior destaque são o G3 e o Prime.

O *standard* G3 tem como característica diferenciadora a sua robustez ao ruído, possibilitada pelo seu método de modulação OFDM (Orthohonal Frequency-Division Multiplexing). Apesar da possibilidade de comunicação bidirecional, na Europa é apenas permitido a comunicação unidirecional, com consequência do limite da velocidade entre 20 a 40 Kbps.

Outro aspeto diferenciador advém da capacidade de comunicação a longas distâncias. No caso da comunicação efetuada apenas na rede de média tensão, as distâncias atingem os 9,5 Km. Situações em que a comunicação necessite de passar por transformadores de média para baixa tensão, ou vice-versa, as distâncias diminuem para cerca de 3.2 Km [9].

A vantagem do uso do *standard* PRIME em detrimento do anterior, é velocidade de comunicação elevada que este permite, com a contrapartida de diminuição de robustez à interferência de ruído e diminuição das distâncias de comunicação [57, 58].

As topologias de rede suportadas pela tecnologia de comunicação PLC são: estrela, anel ou barramento [59]. Recentemente, com o *standard* G3, referido anteriormente, surgiu a possibilidade de construir redes em malha, com a vantagem de possibilitar a comunicação entre nós a distâncias que ultrapassam os limites teóricos de comunicação, nas outras topologias. Este facto deve-se à passagem intermédia por nós que recebem e melhoram o sinal, aumentando a resistência a interferência na rede. Em contrapartida, o uso desta topologia aumenta a sobrecarga da rede, visto que a mensagem tem de ser retransmitida por vários dispositivos [60].

Relativamente aos mecanismos de acesso ao meio é habitual o uso do CSMA/CA. As interações na rede podem reger-se num modo centralizado com o "Master-Slave", aumentando a facilidade de controlo, com a contrapartida de uma elevada dependência de falha nos pontos centrais da rede. Em alternativa, podem ter como referência o modelo ponto a ponto, que evita as dependências a pontos centrais, no entanto, dificulta o controlo da rede resultante da ausência de hierarquia.

Tabela 2.4: Resumo das características de redes cabladas [16, 17, 18, 19].

	RS232	RS485	SPI	I ² C	Ethernet	PLC
Taxa de Comunicação	512 Kbits/s	3.5 Mbits/s	2 Mbits/s	3.4 Mbits/s	10 Mbits/s a 10 Gbits/s	40 Kbps
Alcance Máximo	20 m	1200 m	3 m	4 m	100 m a 2000 m	9.5 Km
Número de Dispositivos	10	32	* ¹	* ¹	1024	1024

2.4.3 Comunicações Sem Fio

Nesta Secção serão apresentadas algumas das tecnologias de comunicação sem fios. Os constantes trabalhos de investigação e inovação nestas tecnologias desencadearam no mercado um crescente das redes sem fios, associado a um aumento dos dispositivos portáteis, que na ausência deste tipo de comunicação teriam dificuldade em efetuar a conexão à rede.

Este tipo de redes são suscetíveis a obstáculos físicos, que prejudicam a qualidade de comunicação. Acresce o facto de serem menos resilientes comparativamente às redes cabladas, no que reporta à segurança, devido à sua propagação no ar.

A velocidade de transmissão de dados é menor comparativamente com as redes cabladas, com a Ethernet. Apesar da importância do fator velocidade, na maioria dos casos, não é determinante, tendo em conta que as velocidades máximas de algumas tecnologias de comunicação sem fio enquadram-se nas especificações de grande parte dos sistemas de comunicação.

Como consta na Tabela 2.5, existem diversas tecnologias sem fios no mercado atual, que tem como características diferenciadoras, a velocidade de comunicação, a distância máxima de comunicação e o número máximo de dispositivos ligados à rede.

Algumas das tecnologias sem fios existentes são:

1. Bluetooth(IEEE 802.15.1) – esta tecnologia foi criada com o intuito de permitir a comunicação sem fio em distâncias curtas, entre telemóveis e computadores. As topologias de rede utilizadas começaram por suportar apenas comunicações ponto-a-ponto. Atualmente, após algumas evoluções, esta tecnologia suporta também topologias em estrela. Aliada à possibilidade do uso desta topologia, advém a vantagem do aumento do número de dispositivos

¹ Condicionado pelo número de endereços e capacidade do *driver*.

ligados à rede para oito [61]. Recentemente, surgiu uma nova versão desta tecnologia, o *Bluetooth Low Energy*, caracterizada pela diminuição dos valores de consumo, que permite o seu funcionamento ao longo de dois anos, com a alimentação de uma bateria de 1000 mAh. Adicionalmente, possibilita o aumento do número de dispositivos conectados à rede [62].

2. ZigBee(IEEE 802.15.4) – É um protocolo de comunicação frequentemente utilizado em redes de baixo fluxo de dados e com necessidade de baixo consumo. Apesar da velocidade de comunicação ser reduzida, a possibilidade de conectar múltiplos dispositivos torna-se uma vantagem em relação a outros protocolos. Esta tecnologia é habitualmente implementada em projetos de *Smart Energy* e *Home Automation*, devido ao cumprimento das especificações destes sistemas, e do valor de compra inferior às restantes tecnologias.

Os dispositivos que constituem esta rede são: *Network Coordinator*, *Network Router* e *End Devices*. O primeiro caracteriza-se por ser o ponto inicial e gestor da rede, deve ser alimentado diretamente de forma a reduzir o risco de falha. Os *Routers* são aplicados em redes com tipologia de malha, e contêm tabelas de roteamento, necessárias para definir a rota mais eficaz de determinada comunicação, as quais são atualizadas aquando do desconhecimento do destino. Por último, o *End Device* tem como única função a comunicação com o “Router-pai”, na maioria do tempo encontram-se inativo [63]. Estes dispositivos têm capacidade de hibernação, permitindo-lhes o funcionamento durante vários anos, alimentados apenas por baterias de 1000 mAh.

Esta tecnologia permite a estruturação da rede em três tipos de topologias diferentes: Estrela, Árvore e Malha. As duas primeiras permitem uma hierarquização da rede, no entanto criam pontos de rede centrais, que dada a sua importância, em caso de falha tem um efeito em toda a rede subordinada. A topologia em malha além de evitar as situações anteriores, com a ausência de hierarquias na rede, consegue aumentar a poupança de energia. Relativamente aos mecanismos de acesso ao meio, é usado o CSMA/CA.

3. WiMAX (IEEE802.16) - esta tecnologia surgiu com sendo diferenciador relativamente às restantes, no alcance e velocidade de comunicação. É habitualmente usada na parte final de um sistema de comunicação, onde é necessário lidar com maior quantidade de dados e distâncias elevadas[64].

Esta tecnologia, suporta topologias de ponto a ponto, ponto a multiponto e ainda em malha. Como mecanismo de acesso ao meio é usado o CSMA/CA.

Esta tecnologia é relativamente recente, estando portanto numa fase de afirmação no mercado. Com o crescente desenvolvimento de sistemas de *IoT*, espera-se que esta tecnologia se afirme e diminua o seu preço de compra.

4. RF mesh (IEEE 802.15.4g) - Esta tecnologia é largamente usada em aplicações de *Smart Metering* de componentes de *Smart Grids*. É uma tecnologia recente, no entanto de grande interesse, tendo sido alvo de estudo e desenvolvimento por várias entidades: Wi-Sun e Triliantinc.

Os aspetos diferenciadores desta tecnologia são as distâncias de comunicação, associados a a sua topologia em malha, que demonstrando uma eficiência de comunicação de 99%[65]. Como mecanismo de acesso ao meio é utilizado o CSMA/CA.

5. Wi-fi (IEEE 802.11) – é uma tecnologia largamente utilizada no dia-a-dia, dado que cada vez mais os dispositivos eletrónicos incorporam este tipo de comunicação. Esta tecnologia de comunicação assenta numa topologia em estrela que usa o mecanismo CSMA/CA para acesso ao meio. A especificação do padrão 802.11 tem vários constituintes, dois dos quais apresentados na Tabela 2.5, que diferem em características de alcance e de velocidade de transmissão. Apesar da sua capacidade na taxa de transmissão, esta tecnologia revela desvantagens a nível de consumo energético e de escalabilidade do sistema, permitindo a conexão de cerca de 100 dispositivos [66, 20].
6. Redes móveis (GSM, UMTS e LTE) – são essencialmente utilizadas para comunicações móveis, devido ao seu alcance e qualidade de comunicação. Para a comunicação entre estes dispositivos é necessário que um cartão SIM, com um identificador válido, esteja colocado num dispositivo com um IMEI válido [67]. A vantagem destas tecnologias é a infraestrutura de rede já implementada, ou seja, tal como a tecnologia PLC nas comunicações cabladas, esta encontra-se disseminada em todo o globo. A alocação de um canal por cada processo de comunicação, representa uma desvantagem, associada a um rápido congestionamento da rede. No que reporta, ao consumo dos dispositivos necessários à comunicação é notável um consumo elevado, comparativamente com as restantes tecnologias.

Esta tecnologia de comunicação utiliza o TDMA ou o CDMA como mecanismo de acesso ao meio.

Tabela 2.5: Resumo das características de rede sem fio [20, 21, 22, 23, 24].

	Bluetooth	Zigbee	WiMAX	RF Mesh	Wi-fi (802.11a)	Wi-fi (802.11n)	GSM
Taxa de Comunicação	3 Mbits/s	250 Kbits/s	75 Mbits/s	300Kbits/s a 54 Mbits/s	50Mbits/s	300Mbits/s	14.4Kbits/s a 100Mbits/s
Alcance de Comunicação	3 a 100m	100 a 1600m	50km	10 a 35 km	10m	50m	50km
Número de Dispositivos	8	65536	>60	-	100	100	1000

2.4.4 Controlo

2.4.4.1 Detecção Luminosidade

São habitualmente usados sensores que geram um sinal de saída, condicionado pela intensidade da energia radiante da luz visível. Estes sensores dividem-se em dois grupos: os que geram eletricidade quando são iluminados, e os que mudam as suas características elétricas. Relativamente ao primeiro grupo existem os sensores: fotoemissores que produzem mais energia com o aumento da frequência de radiação recebida; fotovoltaicos que produzem energia elétrica de forma proporcional em relação à energia radiante da luz que incide nos semicondutores (normalmente de selénio), criando uma diferença de potencial. Estes sensores são indicados para aplicações exteriores.

O segundo grupo suprarreferido contém sensores fotocondutores que variam a sua resistência elétrica quando colocados em contacto com a luz; sensores com foto-junção, com o funcionamento dos fotodíodos ou fototransistores, que usam a luz para controlar o fluxo de eletrões [68, 69]. Estes têm uma maior sensibilidade a variações luminosas, apresentando como desvantagem o vazamento térmico [70].

2.4.4.2 Detecção de Movimento

Usualmente são utilizados sensores de movimento que detetam movimento, nomeadamente o do ser humano. Estes sensores têm vindo a ser utilizados em sistemas de controlo luminoso (casas de banho, corredores) e em alarmes de intrusão. Para efetuar a deteção de movimento existem vários tipos de sensores: Sensores PIR (Passive Infrared Sensor) que utilizam a tecnologia de infravermelha, para detetar o calor do corpo humano; Sensores MW (Microwave) que enviam impulsos de radiação microondas e medem a sua reflexão; Sensores Ultrassónicos que medem a reflexão de ondas ultrassónicas; Sensores de vibração que detetam o movimento com a vibração [71]. Estes, devem ser escolhidos de forma a garantir a máxima operacionalidade do sistema.

2.4.4.3 Controlo Temporal

A definição de horários é uma funcionalidade importante neste tipo de sistemas, que pode ser assegurada por um RTC (Real-time Clock). Inúmeros sistemas eletrónicos, que carecem do controlo de tempo para executar determinadas tarefas, utilizam estes dispositivos. Este, fornece informação temporal (segundos, minutos, horas, dias, meses e anos) através de uma comunicação bidirecional I²C. Assim, o sistema principal fica operacional para tarefas mais críticas [72]. É de salientar salientar ainda que é característico o baixo consumo energético, habitualmente assegurado por baterias de 1000 mAh.

2.4.4.4 Localização

O GPS é um sistema de posicionamento geográfico, que permite saber as coordenadas de um lugar na Terra, para tal, é necessário ter um recetor de sinais de GPS. O GPS permite localizar qualquer ponto à superfície da Terra e navegar por Terra, Mar e Ar.

O módulo GPS é um dispositivo que utiliza satélites, para fornecer informação relativa à posição, através do sistema de triangulação, que funciona com quatro ou mais satélites GPS, que enviam o sinal para o recetor, permitindo localizar um ponto. Os satélites da rede GPS enviam os seus sinais em instantes precisos. O recetor GPS tem de ter informação rigorosa do instante em que cada satélite envia o sinal. A sincronização dos relógios que equipam os satélites e os recetores GPS, é um aspeto crucial [73].

Capítulo 3

Análise do Sistema

Neste capítulo será realizada uma abordagem de análise ao sistema de controlo da IP, juntamente com a apresentação do conceito e especificação de sistema.

3.1 Conceito de Sistema

Esta Dissertação pretende estudar soluções inteligentes com aplicabilidade na IP, pautadas pela inovação e aliadas à eficiência energética. O sistema baseia-se em alguns projetos e inovações tecnológicas aplicadas em *Smartcities*.

O sistema global comporta três subsistemas, visando a estruturação do desenvolvimento do sistema e o agrupamento de requisitos, que são: Interface, Posto de Transformação e Luminária,

A interface tem o objetivo facilitar a monitorização e controlo toda a rede de iluminação pública por parte dos utilizadores, técnicos dos municípios. Além de informação relativa ao funcionamento, recebe ainda alertas de falhas no sistema.

O sistema modelado diverge dos sistemas de IP usuais, pela sua arquitetura descentralizada, com possibilidade do controlo de cada luminária de forma individual. Estes aspeto permite a abstração do sistema às dependências físicas de alimentação, das luminárias ao PT. Deste modo, as luminárias podem receber informação de luminárias ligadas ao mesmo PT, como também de luminárias vizinhas, mas exteriores ao seu PT. Isto permite atingir as melhores vias/rotas de comunicação aumentando a relutância a falhas de comunicação, sustentada por uma rede em malha com roteamento através de tabelas dinâmicas.

O PT que neste caso se encontra livre do controlo centralizado, mantém a responsabilidade de alimentação das luminárias. Além disso, neste sistema tem características de *gateway* entre as luminárias e a interface. No que reporta à partilha de informação referente ao funcionamento e falhas da IP, acresce o facto do PT atualizar dados relativos ao consumo energético e à sensorização de que é munido. De forma a aproveitar a sua distribuição sugere-se um conjunto de sensores atmosféricos e de poluição que permitem o melhoramento da monitorização das cidades, nestes aspetos.

Relativamente ao controlo das luminárias, este têm com função controlar a lâmpada de forma inteligente e eficaz, tendo em conta a movimentação da rua a intensidade luminosa, e ainda parâmetros de funcionamento que pode ser definidos da interface.

3.2 System Breakdown Structure

Um SBS (System Breakdown Structure) visa descrever hierarquicamente a organização, as funcionalidades e a relação entre subsistemas, necessários para o desenvolvimento de um projeto.

A Figura 3.1 representa o SBS do sistema, proposto nesta Dissertação, repartido em três subsistemas:

1. Interface
2. Posto de Transformação
3. Luminária

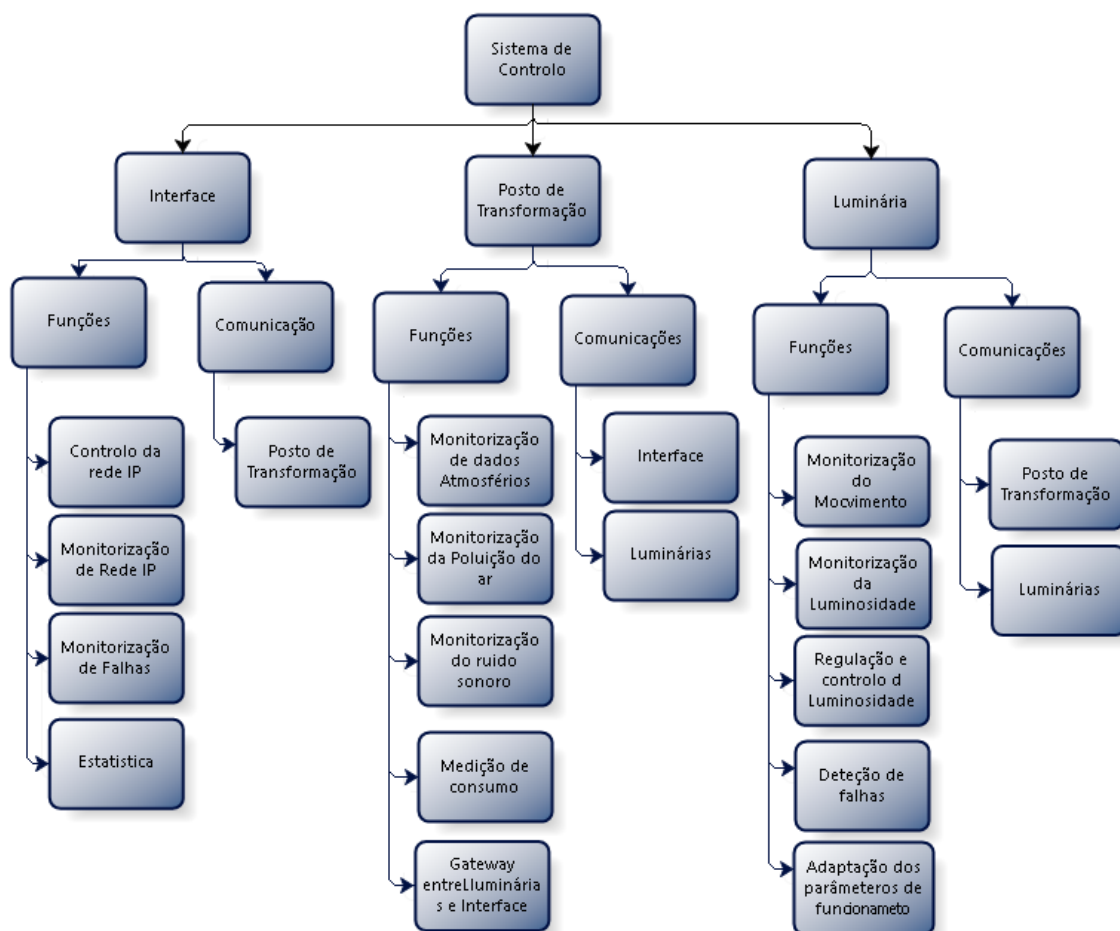


Figura 3.1: SBS do sistema proposto.

3.3 Análise de Requisitos

A análise de requisitos é uma etapa crucial no projeto de qualquer sistema, esta é pautada pela recolha de dados indispensáveis e exigências que o usuário final necessite. Adicionalmente, existe a necessidade de perceber e concretizar as expectativas dos usuários relativamente ao produto final. É um processo de apuração e verificação das necessidades do sistema, de modo a estabelecer objetivos gerais que o sistema deve cumprir.

Os requisitos devem ser recolhidos e analisados no início da fase de planeamento, de forma a minimizar o risco de incumprimento. Os requisitos pautam-se pelas características S.M.A.R.T (Específico, Mensurável, Atingível, Temporizado), de modo a serem verificáveis. Pretende-se assim, assegurar a sua adequação, bem como, garantir que se coadunam às necessidades/expectativas.

O projeto de soluções com competidores diretos de mercado tem de priorizar, ponderar e estabelecer melhorias efetivas ou inovadores, de forma a cativar clientes. Para o sucesso desta tarefa é preponderante o sentido de abstração, relativamente às soluções já existentes.

3.3.1 Requisitos Funcionais

Os requisitos funcionais são descrições pormenorizadas e explícitas relativamente às funções do sistema ou dos seus constituintes, idealmente realizáveis. Uma função é descrita como um conjunto de entradas, seu comportamento e as saídas.

O conjunto de requisitos funcionais é usualmente retirado dos casos de uso do sistema, que devem ter uma especificação completa e consistente.

A Tabela 3.1 seguinte expõe todos os requisitos funcionais estabelecidos para este sistema.

Tabela 3.1: Requisitos funcionais do sistema.

ID	Requisito
RF01	Interface permite o controlo e configuração da rede de IP.
RF02	Interface permite monitorização do estado da rede de IP.
RF03	Interface recebe alertas de deteção e previsão de Falhas.
RF04	Interface apresenta mapeamento geográfico da rede de IP.
RF05	PT recolhe dados atmosféricos, de poluição e sonoros.
RF06	PT recolhe dados e consumo energético.
RF07	Luminária deteta movimento e luminosidade no local.
RF08	Luminária aciona a iluminação em situações atmosféricas adversas.
RF09	Luminária deteta de abertura de porta de acesso à eletrónica.
RF10	Luminária ajusta horários de funcionamento relativamente à localização.
RF10	Luminária ajusta parâmetros de funcionamento consoante o definido na interface ou automaticamente tendo em conta os fatores externos.

3.3.2 Requisitos Não Funcionais

Os requisitos não funcionais especificam um critério possível de ser utilizado para apreciação do modo de operação de um sistema, em detrimento de comportamentos específicos. Estes requisitos caracterizam o sistema tendo em conta a segurança, fiabilidade, usabilidade, desempenho, entre outros. Tais fatores determinam a qualidade do produto.

Na Tabela 3.2 são enumerados os requisitos não funcionais deste sistema.

Tabela 3.2: Requisitos não funcionais do sistema.

ID	Requisito
RNF01	Interface Simples e Intuitiva para o utilizador.
RNF02	Interface com informação da Luminária (ID, localização geográfica, intervenções técnicas e parâmetros de funcionamento, PT responsável e o modo de funcionamento).
RNF03	Interface com informação do PT (ID, localização geográfica, intervenções técnicas e parâmetros de funcionamento, número de luminárias e modo de funcionamento).
RNF04	Alterações de estados, parâmetros e eventos com atraso inferior a 30s.
RNF05	Rede IP <i>Stand-Alone</i> .
RNF06	Possibilidade de acesso de sistemas externos a dados de falhas ou revisão de falhas.
RNF07	Rede de comunicação segura, entre todos os intervenientes.
RNF08	Possibilidade de acompanhamento de Inovações sem reformulações profundas.
RNF09	O sistema deverá atender às normas legais de consumos, iluminação e segurança.

3.4 Especificação de Sistema

A realização do sistema com capacidades de *upgrades* futuros (RNF08) é um requisito que está patente no desenrolar das fases de modulação e desenvolvimento, escolha dos componentes e tecnologias implementadas. Na escolha dos componentes deve-se enveredar pelos que não se encontrem no limiar das especificações, possibilitando por exemplo, a adaptação a ambientes externos não esperados. A escolha de tecnologias deve-se reger por inovação em crescente e comprovadas no que refere a resultados.

3.4.1 Interface

A interface serviu como ponto de partida, para a análise e realização do conceito de sistema, uma vez que, os subsistema inferiores têm de suportar as necessidades da interface. O conjunto de requisitos com interferência neste subsistema são: RF01, RF02, RF03, RF04, RNF01, RNF02, RNF03, RNF04.

A interface é constituída por uma vertente de controlo, monitorização e de eventos. De forma geral, os requisitos RNF01 e RNF04 estão presentes em todas as sub-interfaces.

Relativamente à interface de controlo, referida no requisito RF01, visa a alteração de parâmetros de funcionamento, que são tidas em conta no decorrer do funcionamento do controlo da luminária, uma vez que o sistema caracteriza-se por ser *Stand-Alone* (RNF05). Estes parâmetros englobam a sensibilidade de deteção de movimento, os horários de funcionamento articulados com respetiva intensidade luminosa e ainda, os *delays* de ausência de movimento e de espera pela presença comunicada.

A interface de Monitorização referida no requisito RF02, disponibiliza a informação particularizada dos dispositivos pertencentes à rede, quer de luminárias (RNF02), quer PT (RNF03). Além desta informação, é ainda disponível informação relativa ao funcionamento destes subsistemas. A luminária disponibiliza dados da intensidade luminosa fornecida e de possíveis falhas. O PT partilha informação relativa aos consumos energéticos (RF05) e à sensorização que é munido (RF06).

Quanto à interface de eventos, referente ao requisito RF03, tem como função apresentar falhas momentâneas, antecipações de falhas e intervenções técnicas, na rede de IP. As falhas de hardware ou abertura de porta (RF09) são comunicadas pela luminária. A abertura de porta sem o prévio registo de intervenção técnica, representa um acesso não autorizado. As falhas de comunicação são transmitidas pelos PT's. Sendo a informação de falhas necessária para um possível sistema de manutenção, é necessário que haja a possibilidade de partilha dessa informação (RNF06).

De modo a ter uma visão estatística de consumos e falhas do sistema, a interface detém ainda, uma partição de análise de dados.

Uma vez que as alterações realizadas ao sistema são usualmente em grupos de luminárias, o sistema deve permitir a alteração de grupos selecionados pelo utilizador, ou grupos definidos automaticamente pela interface, tendo em conta a sua posição geográfica ou dependência física. A informação necessária ao mapeamento geográfico das luminárias (RF04), deve ser inserido pelos técnicos, na instalação das luminárias.

O Anexo B ilustra o *MindMap* da interface, repartido em duas imagens.

3.4.2 Posto de Transformação

O PT, tal como já foi referido, deixa de ter a responsabilidade de controlo da rede de IP e passa a servir de *Gateway*, entre as luminárias e a interface. Este facto deve-se a diferenças de especificações de redes entre os dois sub-sistemas. Deste modo, é necessário a instalação de módulos de comunicação para cada uma das comunicações, bem como a realização processamento necessário para garantir a atualização da informação, segundo o requisito RNF04.

Acresce como funcionalidade dos PT's a monitorização de alguns fatores externos, sem interferência direta no sistema de iluminação, como condições atmosféricas, poluição do ar e ainda ruído sonoro (RF07). Esta sensorização permite a partilha de informações relevantes tanto na meteorologia, como na monitorização de parâmetros de poluição, que servem para sinalizar locais com índices de poluição mas elevada.

3.4.3 Luminária

A luminária é o sub-sistema que envolve mais alterações, relativamente à realidade atual da rede de IP em Portugal. Essas alterações devem cumprir as normas de iluminação impostas por cada país (RNF09) [74].

No que concerne à sua constituição, as alterações efetivas para este sistema são: a inclusão de um módulo de comunicação, a adição de um controlador com capacidade de regular a luminosidade emitida e a sensorização da luminosidade e movimento. Estes factos suportam os requisitos RF07 e RF08, uma vez que, a sensorização presente permite o controlo baseado em fatores externos durante a noite, e o sensor de luminosidade deteta situações temporais adversas que diminuem a luminosidade natural, durante o dia.

O modo de funcionamento da luminária também pode ser configurado. O modo Autónomo consiste numa adaptação dos parâmetros de funcionamento às necessidades efetivas do local (RF10). As cidades são constituídas por ruas, que podem diferir no momento temporal onde se regista a maior afluência populacional. Neste modo de funcionamento, estes factos são tidos em conta, adaptando os seus parâmetros de funcionamento à realidade a que são expostos. Por outro lado, o modo Controlado impõe os parâmetros definidos pelo utilizador.

De forma a melhorar a qualidade de iluminação, as luminárias aproveitam o facto de poderem comunicar entre si para comunicarem, antecipadamente, a deteção de movimento. Após a receção desta informação, as luminárias alteram o seu estado de funcionamento, enquanto aguardam a deteção do movimento, por período de tempo predefinido adaptado ao tipo de instalação e local. Além disso esta comunicação serve ainda para detetar falsos positivos de alterações de luminosidade, de forma a uniformizar a iluminação.

3.4.4 Rede

As características da rede de suporte a este sistema são: elevado número de nós, dispersão geográfica dos nós, perecibilidade baixa da informação, atrasos de atualização de informação inferior a 30 segundos (RNF04) e segurança da rede (RNF07).

As luminárias têm a capacidade de, na ausência de movimento, desligarem ou reduzirem a sua intensidade luminosa. Esta alteração condicionada pela presença de movimento possibilita uma diminuição significativa do consumo em ruas pouco movimentadas. De forma a aumentar a qualidade da iluminação, as luminárias podem comunicar o possível surgimento de movimento aos nós vizinhos. Para resolução desta hipótese seria necessária uma comunicação direta entre luminárias, ou usar o PT como intermediário. A comunicação entre luminárias é a opção que permite comunicações mais rápidas e com menor congestionamento da rede. Para suportar esta comunicação o sistema usa uma rede em malha, que possibilita ainda a diminuição das falhas da rede devido aos múltiplos caminhos disponíveis.

A implementação de redes em malha diferentes para cada PT, e suas luminárias, condiciona e impede a comunicação de luminárias vizinhas pertencentes a redes físicas diferentes. A resolução desta condicionante pela implementação de redes em malha com a inclusão de várias sub-redes de

IP. Além de solucionar o problema referido, aumenta a fiabilidade da rede, com o crescimento do número de nós e trajetos de comunicação.

A Figura 3.2 representa a arquitetura de rede para este sistema.

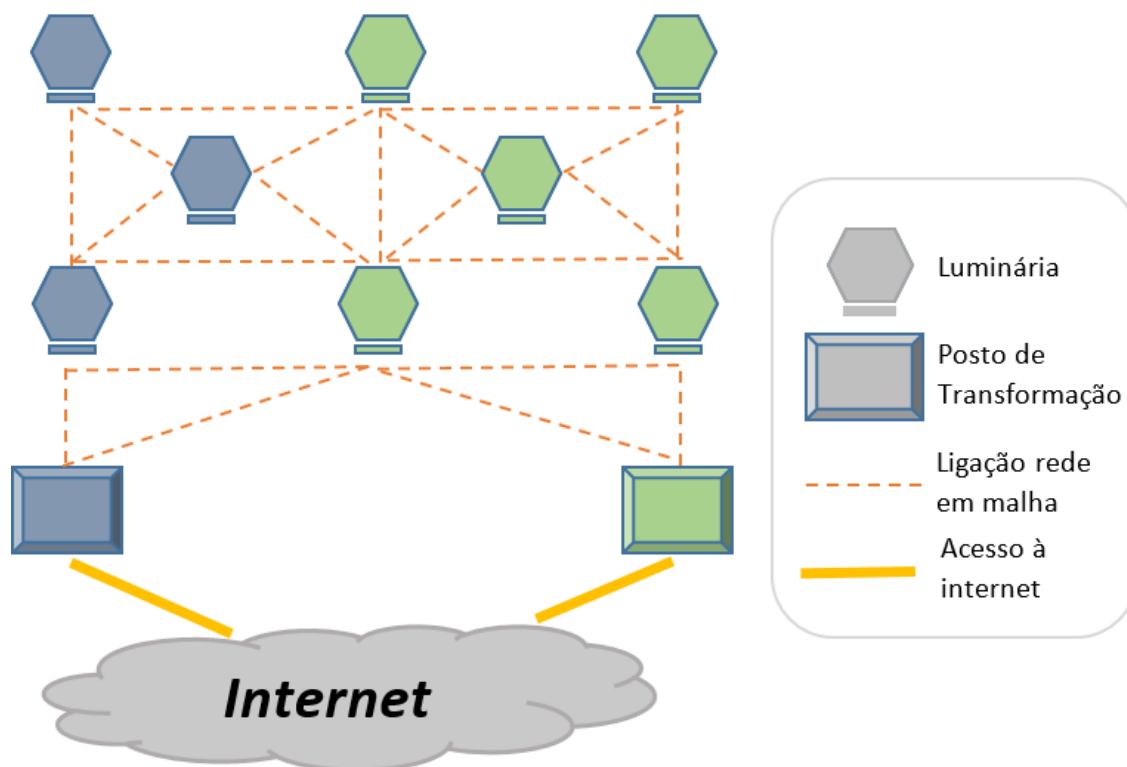


Figura 3.2: Arquitetura de rede.

Relativamente a rede de comunicação entre as luminárias e o PT, e dada a sua distribuição ao longo de zonas urbanas, com espaçamentos inconstantes e com diversos obstáculos físicos, das tecnologias referidas na Subsecção 2.4.1, salientam-se o PLC e o ZigBee.

O PLC seria a escolha mais inata para sistemas de IP, visto que a sua comunicação aproveitaria a instalação existente. Adicionalmente, a segurança que proporciona, pelo facto da comunicação ser efetuada fisicamente, supera a segurança no ZigBee, que efetua a comunicação por via aérea. Apesar destas constatações que assentam na escolha da tecnologia PLC, a tecnologia que mais se coaduna é o ZigBee, visto que, além da possibilidade de conexão de um elevado número de dispositivos, tem uma assertividade maior no apoio a rede em malha desejada. O sistema tem o objetivo de ignorar dependências físicas existentes, o que poderia ser um entrave com a tecnologia PLC.

Relativamente à transferência de dados entre os PTs e a interface, necessitam de uma rede com maior alcance e maior taxas de comunicação, como é caso das tecnologias de comunicação RF Mesh, WiMax e redes moveis. Tendo em conta os parâmetros de comparação destas tecnologias, a tecnologia LTE, pertencente às redes moveis, é a tecnologia que se destaca. Além de ser a

tecnologia com maior taxa de comunicação (100Mbits/s), possui uma disseminação maior, que facilita a cobertura desta rede.

3.4.5 Conclusão

Como conclusão desta secção, a Figura 3.3 pretende ilustrar o sistema modelado. Neste, pode-se observar a interface em comunicação ao servidor, que por sua vez, efetua a comunicação com os PT. Relativamente à comunicação entre estes e as luminárias, é sempre analisado o melhor trajeto de comunicação.

Os PTs além dos módulos de comunicação, tem presente um conjunto de sensores atmosféricos, de poluição e sonoro.

É ainda possível, observar a deteção de movimento e a sua comunicação a luminárias vizinhas, de forma a aumentar a qualidade de iluminação, para os utilizadores.

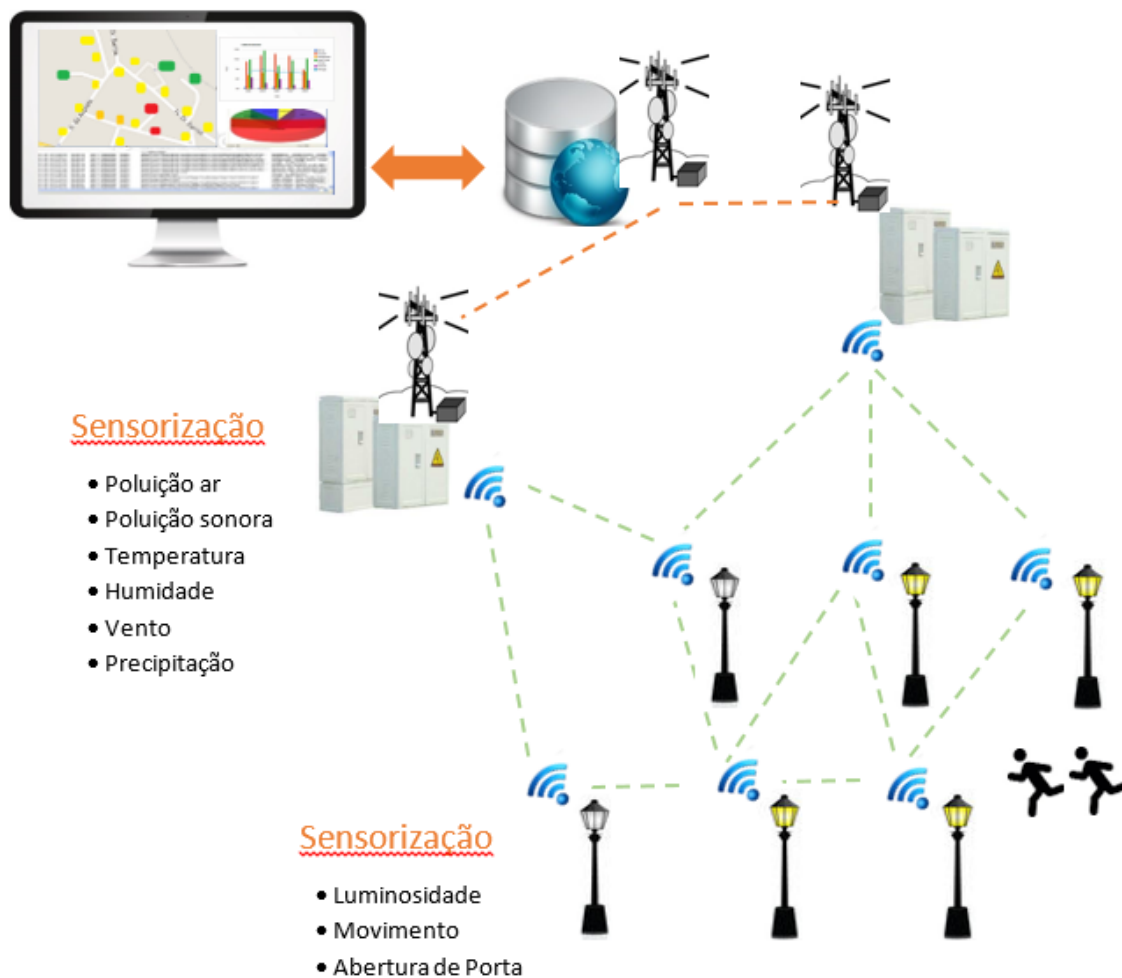


Figura 3.3: Ilustração do sistema.

Capítulo 4

Desenvolvimento do Sistema

Tendo por base o descritivo da temática elaborado no Capítulo 3, no presente capítulo será analisado o trabalho desenvolvido, referente ao sistema de controlo modelado para a luminária.

O processo de desenvolvimento exposto é constituído por várias etapas definidas e planeadas previamente, de modo a assegurar o cumprimento dos objetivos. Após as etapas de análise de requisitos e de modelação, realizadas no capítulo anterior, procede-se às fases de estudo do mercado, de implementação e de testes.

O protótipo desenvolvido serve como prova de conceito da eficiência energética conseguida através do controlo inteligente e distribuído das luminárias. Este tem como objetivo a regulação eficiente da intensidade luminosa emitida, tendo em conta, a luminosidade natural, o movimento detetado, o momento temporal e os parâmetros definidos.

4.1 Estudo de Mercado

O estudo de mercado é uma ferramenta muito utilizada por organizações, com o intuito de compreender o mercado e a conjectura em que se pretende inserir um produto ou serviço, através da recolha e tratamento de informação.

Nesta secção serão apresentadas as tecnologias consideradas na elaboração do projeto, tendo em consideração os requisitos definidos. Posto isto, na etapa estudo de mercado, a pesquisa abordará as placas desenvolvimento, os sensores de luminosidade, os sensores de movimento e relógios de tempo real.

4.1.1 Placas de Desenvolvimento

O mercado atual tem uma panóplia de ofertas nesta vertente, como tal, irão ser analisadas as placas que denotem uma maior importância [10]. Aspectos como a complexidade do projeto, necessidade de execução de programas em simultâneo [75], tipo de comunicação e interfaces projetadas são relevantes para a escolha das placas de desenvolvimento.

Para o processo de seleção foram analisados, os microcontroladores Arduino e Pic, e os mini-computadores Raspberry Pi e BeagleBone. Através desta análise conclui-se que, o Raspberry pi é o que mais se coaduna com as características necessárias para o prosseguimento do projeto.

Os microcontroladores (Arduino, Pic) são dispositivos com uma interface de desenvolvimento simples e intuitiva, normalmente, utilizados em projetos de pequena dimensão, onde não existe a necessidade de execução simultânea de programas. Para a execução de vários programas em simultâneo (*multitasking*), com conseqüentemente necessidade de aumento a capacidade de processamento, são usados mini computadores(Raspberry Pi, BeagleBone). Estes dispositivos normalmente usam o Linux como sistema operativo, apesar de atualmente ser possível utilizarem Windows 10 [76].

Na Figura 4.1 são comparáveis características de três placas de desenvolvimento. Verifica-se uma maior capacidade de processamento e memória por parte dos mini computadores, associado a um aumento de custo e de consumo energético.

A escolha mais viável recai entre o Raspberry Pi e a BeagleBone, dado que, o sistema proposto, necessita da execução simultânea de tarefas de análise e de processamento dos dados do sensores, do controlo do *dimmer* e de comunicação. Uma vez que ambos cumprem as especificações necessárias, o critério restante de seleção é o custo, tornando o Raspberry Pi a opção final exequível.

Name	Arduino Uno	Raspberry Pi	BeagleBone
Model Tested	R3	Model B	Rev A5
Price	\$29.95	\$35	\$89
Size	2.95"x2.10"	3.37"x2.125"	3.4"x2.1"
Processor	ATMega 328	ARM11	ARM Cortex-A8
Clock Speed	16MHz	700MHz	700MHz
RAM	2KB	256MB	256MB
Flash	32KB	(SD Card)	4GB(microSD)
EEPROM	1KB		
Input Voltage	7-12v	5v	5v
Min Power	42mA (.3W)	700mA (3.5W)	170mA (.85W)
Digital GPIO	14	8	66
Analog Input	6 10-bit	N/A	7 12-bit
PWM	6		8
TWI/I2C	2	1	2
SPI	1	1	1
UART	1	1	5
Dev IDE	Arduino Tool	IDLE, Scratch, Squeak/Linux	Python, Scratch, Squeak, Cloud9/Linux
Ethernet	N/A	10/100	10/100
USB Master	N/A	2 USB 2.0	1 USB 2.0
Video Out	N/A	HDMI, Composite	N/A
Audio Output	N/A	HDMI, Analog	Analog

Figura 4.1: Comparação de placas de desenvolvimento [10].

4.1.2 Sensor de Luminosidade

A sensorização da luminosidade é um fator essencial para detetar o escurecimento normal diário, ou o escurecimento durante períodos diurnos causados por fatores atmosféricos.

Pela análise da oferta do mercado relativamente a este tipo de sensores, constata-se que existem soluções simples, baseadas no funcionamento de fotocondutores e soluções complexas baseadas no funcionamento de fototransistores, que aumentam a exatidão do valor medido. Estes são normalmente usados no âmbito de sistemas residenciais e industriais

A Tabela 4.1 serve como base de comparação na escolha de sensores de luminosidade para este projeto. No que refere ao funcionamento, as características essenciais a ser comparadas são a temperatura e a tensão de funcionamento. A temperatura de funcionamento deve ter um intervalo de valores considerável, visto que, estes sistemas vão estar expostos às condições atmosféricas do local. Estes valores devem englobar os mínimos e máximos no território português, que segundo a Base de Dados Portugal Contemporâneo (PORDATA), situa-se entre os 35.9 e os -3.2°C¹. Posto isto, um intervalo aceitável seria entre os -20 e os 60°C.

Relativamente aos intervalos de medida, o sistema em projeto tem interesses na deteção de luminosidade com valores entre 0 e 1000 Lux, uma vez que representam ambientes de luminosidade reduzida. Esta condicionante levou à exclusão do sensor 1.

Os sensores resultantes do processo de seleção têm características semelhantes à exceção do preço, recaindo a escolha, no sensor 2.

Tabela 4.1: Comparação de sensores de luminosidade.

ID	Nome	Temperatura de Funcionamento (°C)	Tensão de Funcionamento (V)	Intervalos de Luminosidade (Lux)	Preço (€)
1	ALS-PT204	-40 a 85	2,5 a 5	5 a 10 k	0,40
2	Apds-9006-020	-40 a 86	2,4 a 5,5	0 a 1 k	0,63
3	TSL2561	-40 a 85	2,4 a 3.6	0,1 a 40 k	1,67

4.1.3 Sensor de Movimento

A luminosidade artificial fornecida é condicionada pela deteção de movimento. O fator movimentação tem várias nuances que podem levar a falsas deteções, é exemplo disso, o movimento de animais, e o movimento da vegetação associado a flutuações de vento elevadas. Por outro lado, existe a possibilidade de deteção atrasada ou ausência de deteção de veículos a altas velocidades. Por último, a existência de postes de luminárias com alturas diferentes impõe restrições de adaptação transversal, do sensor escolhido. Na Tabela 4.2 encontram-se algumas soluções de forma a resolver os problemas inerentes ao mesmo.

¹Embora temperaturas instantâneas possam superar estes valores.

Para a seleção dos sensores de movimento, representados na Tabela 4.3, tal como se sucedeu na seleção dos sensores de luminosidade, foi tido em consideração se as características de funcionamento se enquadravam nas especificações. Deste modo, o sensor 3 foi alvo de exclusão, pelo facto da temperatura mínima de funcionamento não se encontrar dentro dos parâmetros desejáveis.

Tabela 4.2: Problemas e soluções na deteção de movimento.

Problema	Solução
Deteção de movimento animal	Sensores com calibração da deteção de movimento por peso
Deteção de movimento da vegetação	Sem solução
Falha na deteção de veículos a velocidades elevadas	Sensor Ultrassónico
Postes de alturas diferentes	Sensor com o maior alcance possível ou alteração simples de <i>Hardware</i>

As características de altura e área de deteção, tem um papel preponderante na escolha do sensor, uma vez que, tal como foi referido, existe uma grande variedade de alturas de postes. Estes têm alturas máximas de doze metros [74] e mínima de cinco metros, invalidando a escolha do sensor 1, pelo facto da altura máxima ser cinco metros.

Atendendo aos factos, vigora como escolha o sensor 2, que apresenta um alcance de deteção e características de funcionamento dentro das especificações. Instalados em postes de doze metros de altura, o sistema tem uma área de ação de 186m^2 . Nos postes de altura inferior possui uma área de deteção de 32m^2 , que apesar de ser inferior à do sensor 1, é aceitável para o funcionamento do sistema.

Tabela 4.3: Comparação de sensores de movimento.

ID	Nome	Temperatura de Funcionamento (°C)	Tensão de Funcionamento (V)	Altura (m ²)	Área (m)	Preço (€)
1	ST-00081	-20 a 60	3 a 6	5	58	10,56
2	EKMC1603112	-20 to 60	2 a 6	12	186	10.76
3	ZEPIR0BAS02MODG	0 a 70	2,8 a 3,6	12,2	144	6,15

4.1.4 RTC

O controlo de tempo é um fator importante, para o funcionamento do sistema, no que diz respeito às rotinas de controlo e à comunicação. Os dispositivos de processamento habitualmente realizam conexões a servidores NTP (Network Time Protocol), com o intuito de acertar o relógio interno. Tendo em conta que, neste sistema não há a possibilidade de conexão à Internet, o RTC assume esse papel.

Relativamente à escolha de dispositivos para esta tarefa, foi escolhido o dispositivo presente na Tabela 4.4, pelas suas características de funcionamento que corroboram as especificações, bem como, pela sua elevada dispersão nos sistemas atuais.

Tabela 4.4: Real Time Clock.

ID	Nome	Temperatura de Funcionamento (°C)	Tensão de Funcionamento (V)	Comunicação	Preço (€)
1	DS1307	-40 a 85	3 a 5.5	I ² C	5,00

4.2 Implementação

4.2.1 Hardware

Alguns dos constituintes assemblados, na placa de desenvolvimento, não representam as escolhas realizadas pelos processos de seleção descritos anteriormente, pelo atraso na entrega de material e pela falta de stock. A Tabela 4.5 descreve os constituintes e suas funções no protótipo desenvolvido.

Tabela 4.5: Constituintes do sistema inteligente de controlo.

Dispositivo	Função	Comunicação	Preço (€)
Raspberry PI	Processamento e Controlo	—	33,10
TSL2561	Sensor de Luminosidade	I ² C	5,33
ST-00081	Sensor de Movimento	GPIO	10,56
DS1307	RTC: Informação Temporal	I ² C	10,56
SLX-LX3054HC	Led para simular Intensidade Luminosa (5x)	GPIO	0.27

O protótipo final resultante de todo o processo de desenvolvimento encontra-se ilustrado na Figura 4.2. Os *Leds* presentes na *breadboard* tem o objetivo de auxiliar na validação da luminosidade fornecida. Estão presentes cinco *leds* que dividem o intervalo de variação (100%) em cinco partes iguais (20%).

4.2.2 Software Utilizado

O programa de controlo foi desenvolvido na íntegra na placa de desenvolvimento Raspberry Pi. De forma a facilitar a sua manobra foram instalados alguns programas facilitadores. O Putty serviu para efetuar a conexão Secure Shell(SSH) ao Raspberry Pi. O VNC Viewer serviu de interface gráfica, necessitando de prévia conexão ao servidor *vncserver* no Putty. Para prosseguir com o desenvolvimento foi necessário realizar algumas configurações *standard* a nível de comunicação, necessárias para a leitura dos sensores.

O IDE (ambiente de desenvolvimento integrado) escolhido para dar suporte ao desenvolvimento do programa, foi o JetBrains PyCharm, uma vez que permite a ligação direta ao Raspberry Pi, facilitando o *debug* e a execução dos programas.

Relativamente à linguagem de programação, optou-se pelo Python, uma vez que apresenta vantagens na simplicidade de programação e elevado suporte no desenvolvimento de programas

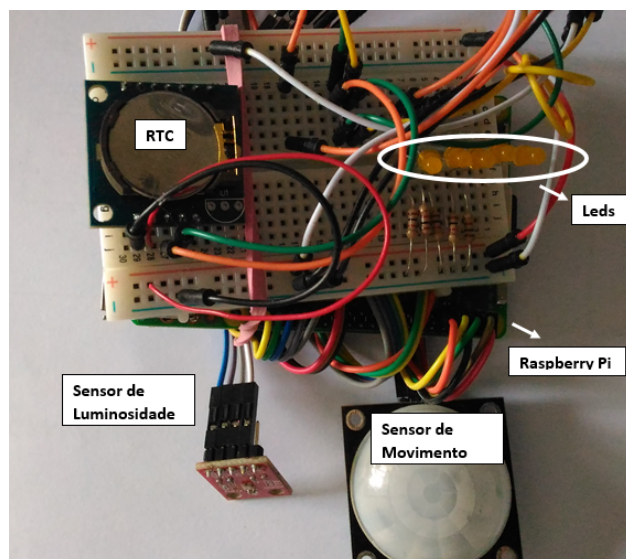


Figura 4.2: Protótipo desenvolvido.

nesta placa de desenvolvimento. No entanto, comparativamente com o C++ e Java é mais lenta, não representando qualquer problema neste sistema.

4.2.3 Rotinas de Programação

Nesta fase de desenvolvimento, o trabalho foi realizado e dividido em várias etapas, coincidentes com os constituintes a controlar e com o programa de controlo, que é responsável por realizar o processamento dos dados. Numa fase final, efetuou-se a união das sub-rotinas e procedimentos no programa de controlo.

A fase inicial teve o objetivo de certificar a atualização permanente do relógio interno da placa, e o seu funcionalmente autónomo sem configurações prévias, facilitando a sua instalação. Desta forma, para solucionar os problemas de atualização dos dados temporais, foi criado uma tarefa diária, que executa um *Script* codificado para o acerto da data interna pela data presente no RTC.

Relativamente ao funcionamento autónomo do sistema de controlo, foi criado um *Script*, que é executado sempre que a placa inicia, dando o início ao programa de controlo desenvolvido. Na ocorrência de falha de energia, o programa consegue ter início sem problema, visto que, as suas variáveis são atualizadas ao longo do funcionamento e guardadas continuamente.

No que concerne ao *software* desenvolvido durante o desenvolvimento, cada constituinte integrante do protótipo, seguiu uma lógica de programação orientada a objetos, dado que a linguagem de programação usada o permite. Este facto facilita o *upgrade* dos constituintes já existentes e a instalação de outros passíveis de serem implementados.

Os objetos criados no desenvolvimento do software correspondem ao sensor de luminosidade, sensor de movimento e luminária. A Figura 4.3 ilustra a definição/constituição destes objetos, descritos de forma detalhada no Anexo C.

Sensor de Luminosidade	Luminária
delay	id
address	id_neighbor[]
xad	id_master
sensor_lux(self, i2c, time, address, xad)	longitude
	latitude
	delay_presence_send
	delay_no_presence
	minimum_lux
	func_mode
	night_dimmer[]
Sensor de Movimento	out_pin
input_pin	setup(self,GPIO,output,dimmer)
previous_state	dimming(self,output,dimmer)
current_state	
setup(self,GPIO,input_pin)	
detect(self,GPIO,input_pin,previous_tate)	

Figura 4.3: Classes usadas no desenvolvimento do *software*.

Adicionalmente à sub-rotina criada para controlo do sensor de luminosidade é utilizado uma biblioteca, que apoia o seu funcionamento.

4.2.3.1 Programa de Controlo

O programa de controlo é o programa central, que tem como tarefas o processamento de todos os dados da sensorização e o controlo da luminosidade da lâmpada. Os valores auferidos para a intensidade luminosa emitidas são baseados no conjunto dos fatores anteriormente abordados, como: o momento temporal, a intensidade de luminosidade natural e a deteção de presença.

Para facilitar o desenvolvimento do programa de controlo foi criado um diagrama de blocos, ilustrado na Figura 4.4. Este representa o troço principal do programa, onde é decidido qual o modo de funcionamento que a luminária irá assumir, baseado nas variáveis de decisão, representantes dos fatores referidos no parágrafo anterior.

Tendo por base estas variáveis, forma criados vários cenários de funcionamento, tais como:

1. Luminosidade Diurna Reduzida: é um cenário de funcionamento, representado pelo modo "ActiveDay", que pretende contornar condições atmosféricas adversas que possam diminuir consideravelmente a luminosidade natural, durante o dia, assegurando deste modo a segurança das populações. Este é ativado sempre que a luminária não esteja no seu horário normal de funcionamento (entre o pôr e nascer do sol), e a luminosidade natural medida ultrapasse inferiormente um limite de luminosidade mínimo definido pelo utilizador (minimum_lux).
2. Luminosidade Crepuscular: representado pelo modo "ActiveDimmer", tem como objetivo controlar as fases crepusculares. Estas fases representam os espaços temporais entre o pôr do sol e a escuridão completa, e entre esta e o amanhecer. Este cenário foi incluído no controlo, visto que as necessidades de luminosidade nestes espaços temporais não são tão acentuadas como na escuridão completa. Posto isto, neste modo de funcionamento é realizado o *dimming* da lâmpada ajustado às necessidades efetivas, até o momento em que a luminosidade natural baixa do limite mínimo, acima referido.

3. Luminosidade Reduzida sem Presença: Este pretende assegurar a iluminação nos momentos de luminosidade reduzida, durante o horário de funcionamento e sem deteção de presença. É considerado luminosidade reduzida quando os valores se encontram abaixo da luminosidade mínima definida pelo utilizador. O sistema permite a definição de horários de iluminação com diferentes intensidades de luminosidade associada. Após a validação de entrada neste modo, "ActivePresenceLOW", é necessário verificar a intensidade luminosa associada ao momento temporal (night_dimmer[]) de forma a realizar o *dimming* da lâmpada.
4. Luminosidade Reduzida com Presença: Este cenário tem um modo de funcionamento igual ao enunciado no ponto anterior, difere na necessidade de deteção de presença. Esta considera não só a deteção efetiva de movimento, como também a sua comunicação por parte dos vizinhos. A deteção de presença é tida em conta para a definição, por parte dos utilizadores, dos horários de funcionamentos noturnos. É necessário definir a intensidade luminosa em momentos de deteção de presença e em momentos onde esta não seja detetada. Dado a existência da deteção de presença, este modo realiza o *dimming*, baseado no valor definido da intensidade luminosa aquando da presença no momento temporal de análise.

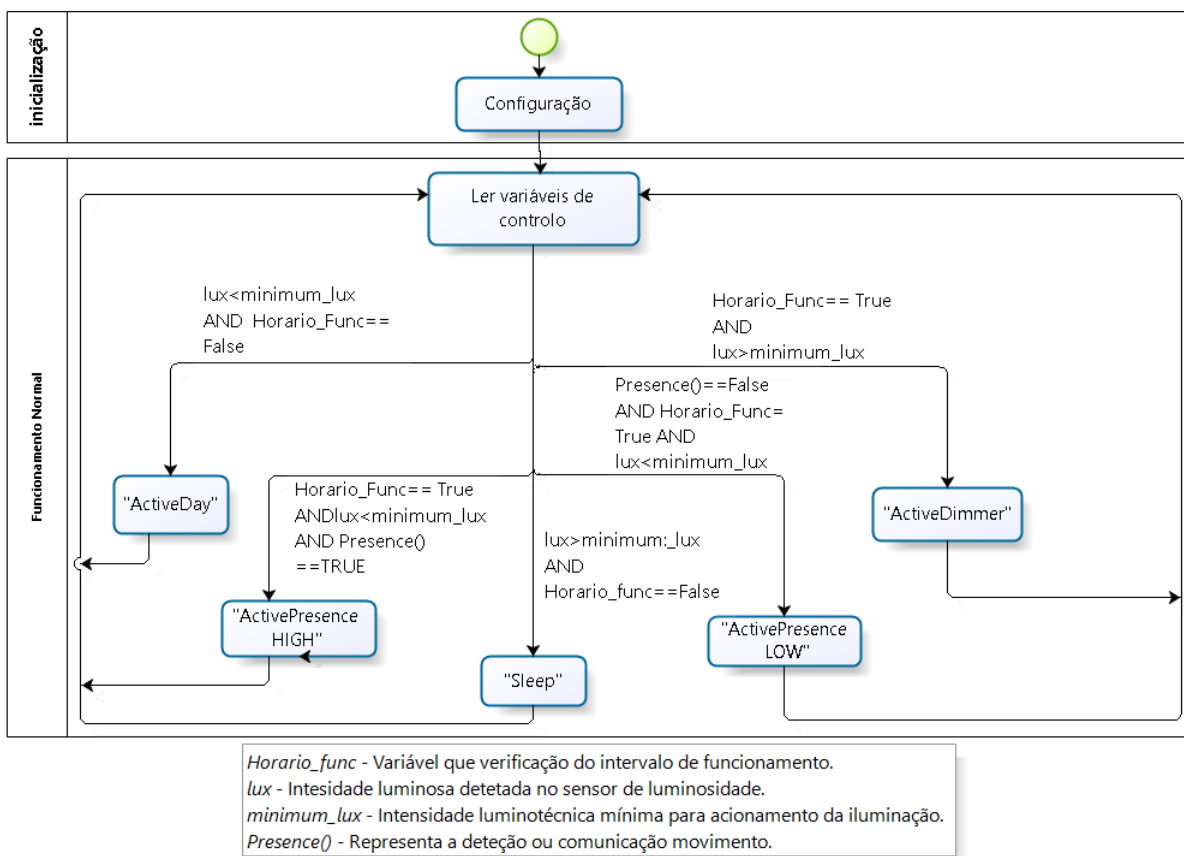


Figura 4.4: Diagrama de blocos de *software* de controlo.

4.2.3.2 Detecção de Presença

O sistema proposto tem como parâmetro de controlo a deteção de presença. Esta, pode resultar da deteção efetiva, quando existe movimento na área de ação do sensor ou por comunicação de luminárias vizinhas. Este facto levou à criação de uma sub-rotina, que analisa estas duas formas de deteção, aliando-as aos intervalos de tempo de espera. Relativamente ao tempo de espera referente à comunicação de luminárias vizinhas (*delay_presence_send*), tem o objetivo de aguardar a chegada do movimento detetado na luminária anterior. Por outro lado, findada a deteção de movimento é iniciada uma contagem de tempo, que visa a manutenção do estado da iluminação, durante o intervalo tempo definido (*delay_no_presence*).

A sub-rotina descrita no parágrafo anterior, ilustrada na Figura 4.5, concede ao programa de controlo um abstração do tipo de deteção e dos tempos de espera, recebendo apenas a informação do estado de presença. Esta é executada com uma frequência de 1 segundo usando *Threads*, de forma a manter a informação atualizada para o programa principal. Esta sub-rotina verifica o modo de funcionamento atual do programa principal, e apenas realiza a análise de presença, caso este esteja nos modos "ActivePresenceHIGH" ou "ActivePresenceLOW". Estes modos enquadram-se nos cenários dos pontos 3 e 4 da Secção 4.2.3.1 onde a luminosidade é reduzida e o valor de intensidade luminosa fornecida, depende da presença de movimento.

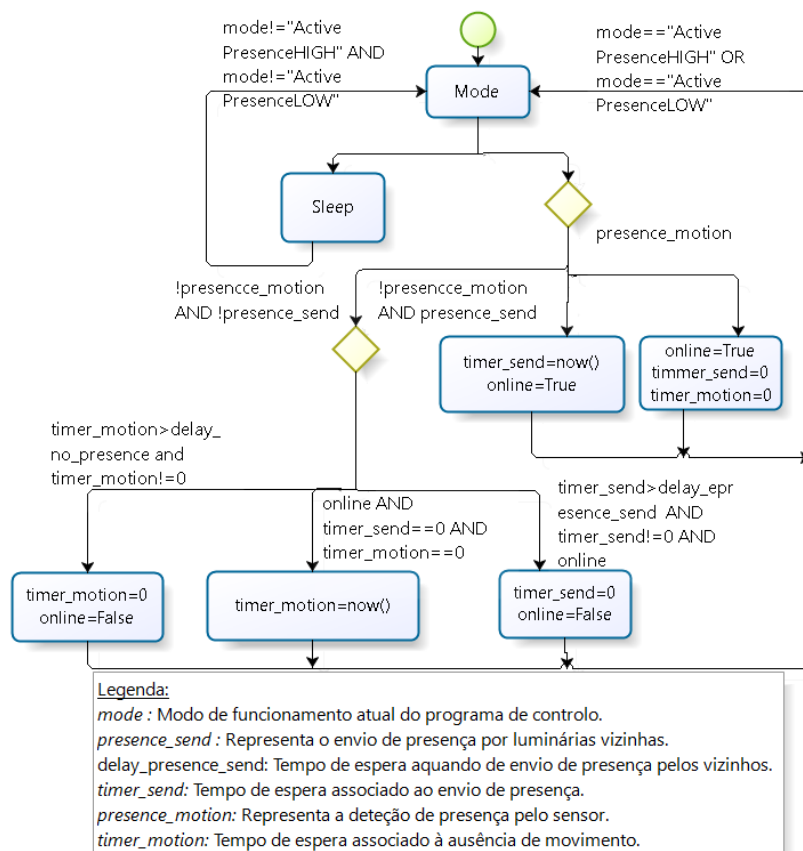


Figura 4.5: Diagrama de blocos de programa de deteção de presença.

4.2.3.3 Detecção de Luminosidade

A detecção de luminosidade neste sistema é um fator relevante para o controlo da luminária. O utilizador pode definir o parâmetro de luminosidade mínima, que serve de referência para a alteração entre os modos de funcionamento, tal como foi referido anteriormente.

Dada a importância e a possibilidade de interferências exteriores, causadas por animais, vegetação ou condições climáticas, desenvolveu-se uma rotina de detecção da luminosidade natural, que fornece os dados de luminosidade ao programa de controlo, com abstração destas situações. De forma a resolver as possíveis interferências, a sub-rotina responsável pela aquisição da informação de luminosidade aplica três metodologias. A primeira pretende uniformizar o valor fornecido, através de leituras consecutivas da luminosidade. A segunda metodologia tem como objetivo evitar a resposta a variações de luminosidade reduzidas, aceitando apenas valores de diferenças superiores a 20% do último valor de referência. No caso da existência desta diferença efetua-se a sua confirmação, na terceira metodologia. Esta consiste numa comparação do valor lido com os valores da luminosidade das luminárias vizinhas.

O conjunto destas três metodologias, além da eliminação de possíveis interferências, melhora a qualidade da iluminação, não permitindo alterações bruscas e dispareas da luminosidade fornecida pelas luminárias.

Na Figura 4.6 está ilustrado o diagrama de blocos referente a esta sub-rotina.

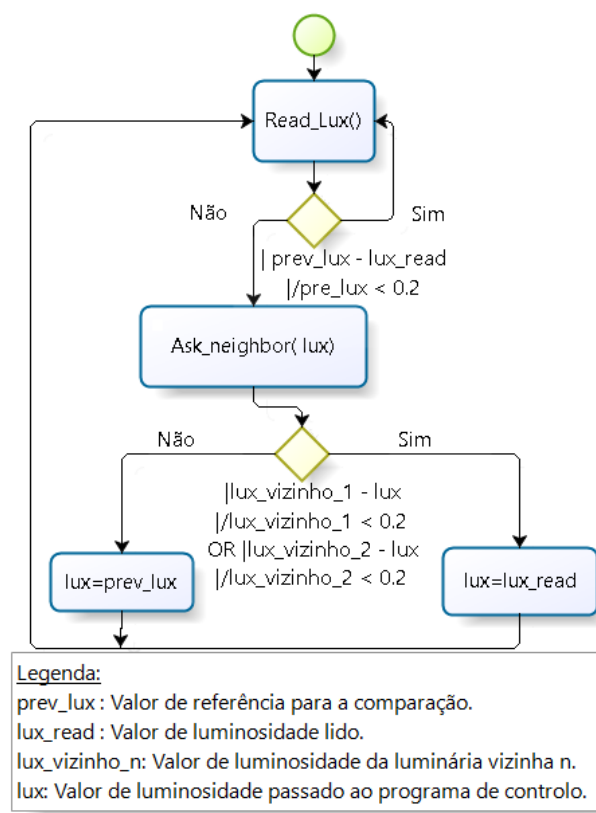


Figura 4.6: Diagrama de blocos de programa de detecção de luminosidade.

4.2.3.4 Controlo Horário

A eficiência do acompanhamento e acerto do relógio interno pelo tempo real são aspetos relevantes, que condicionam todo o sistema. As tarefas com dependências do tempo reportam-se ao controlo horário da luminária e à comunicação com outros dispositivos.

O sistema implementado necessita de informação relativa aos momentos do pôr-do-sol e do nascer do sol para efetuar a controlo do sistema, conforme abordado da Secção 4.2.3.1. Usualmente, os sistemas de controlo de IP usam tabelas anuais para aceder a esta informação. De forma a aumentar a generalidade do sistema e minimizar a necessidade de interferência humana, este sistema efetua um cálculo diário destes momentos temporais. Estes cálculos são efetuados através da biblioteca *ephem*[77], que tem por base a sua localização geográfica. A localização da luminária é um dado que tem de ser definido após a sua instalação.

4.3 Testes e Resultados

4.3.1 Testes

A validação do protótipo passou por alguns testes, ilustrados na Tabela 4.6. Estes, tiveram o objetivo de avaliar o funcionamento previsto nos vários cenários.

Todos os testes realizados foram positivos à exceção da deteção do movimento de veículos automóveis. Esta deteção tinha sido modulada com a utilização de um sensor ultrassónico, no entanto, devido ao seu atraso não foi possível a sua integração do sistema.

Tabela 4.6: Testes ao protótipo.

ID	Dispositivo	Teste	Resultado
1	Sensor de Luminosidade	Validação dos valores de luminosidade medidos.	Passou
2	Sensor de Luminosidade	Resposta a variações bruscas.	Passou
3	Sensor de Movimento	Deteção de movimento Humano.	Passou
4	Sensor de Movimento	Deteção de veículos.	Nao Passou
5	Sensor de Movimento	Deteção de movimento em períodos noturnos.	Passou
6	RPI	Funcionamento durante 48h.	Passou
7	RPI	Arranque do programa ao iniciar	Passou.
8	RPI	Verificação de hora, após longa desconexão a Internet.	Passou
9	Software	Resposta a variação de luminosidade	Passou
10	Software	Resposta a movimento	Passou.
11	Software	Ligar e desligar iluminação nos momentos temporais calculados.	Passou
12	Software	Mudança das intensidades luminosas segundo os horários definidos.	Passou

4.3.2 Resultados

O sistema de controlo proposto permite a definição de horários de iluminação com intensidades luminosas diferentes. Estes parâmetros devem ser adaptados ao tipo de via pública em questão.

Para a obtenção de uma amostragem de dados relativos ao funcionamento do controlador foi tida em conta a distribuição de intervalos de tempo e respetivas intensidades luminosas da Tabela 4.7. O início e o fim do fornecimento de luminosidade da luminária, são calculados diariamente.

Tabela 4.7: Intervalos de funcionamento do controlador inteligente.

ID	Intervalo de Tempo (h)	Intensidade Sem Presença (%)	Intensidade Com Presença (%)
1	Início - 00:00:00	70	80
2	00:00:00 - 02:00:00	40	60
3	02:00:00 - 05:00:00	0	40
4	05:00:00 - Fim	40	60

O sistema proposto tem diferenças notáveis relativamente ao sistema de IP convencional, em dois estágios diferentes. O primeiro incide no acionamento da iluminação realizado com base na hora do pôr do sol, calculada da mesma forma pelos dois sistemas em análise. Após o acionamento, o sistema proposto faz o controlo da intensidade luminosa fornecida, segundo as necessidades ("ActiveDimmer"). Já o opositor, aciona todas as suas luminárias na potência máxima. Este fenómeno ocorre no anoitecer e no amanhecer.

No segundo estágio as poupanças energéticas notáveis coincidem com o período noturno, definido pelo sistema proposto como os modos "ActivePresenceHIGH" e "ActivePresenceLOW". Nestes modos de funcionamento, o sistema rege-se pela definição de horários realizada pelo utilizador, aliada à deteção de presença. A possibilidade de definição, pelo utilizador, dos horários e respetivas intensidades luminosas, condiciona o ganho alcançado pelo sistema.

A Figura 4.7 ilustra os resultados da comparação dos sistemas. No qual a numeração representa o ID dos intervalos de tempo definidos na Tabela 4.7.

Desta comparação conclui-se que o sistema proposto permite poupanças energéticas entre 48 e 78 %, valores estes que excluem os gastos com o consumo da eletrónica. Estes resultados demonstram a viabilidade da aplicação deste tipo de sistemas, que apesar do seu investimento inicial elevado, permite a redução significativa dos consumos energéticos na IP.



Figura 4.7: Comparação entres sistema de IP convencional e sistema proposto.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalho Futuro

5.1 Conclusão

Na realização deste trabalho, constatou-se que, os sistemas inteligentes de controlo gestão de iluminação relativamente aos sistemas convencionais apresentam uma eficiência notória nos consumos e na qualidade de iluminação. Os progressos de inovação e tecnologia nesta vertente, até a atualidade, têm permitido atingir e estipular metas de eficiência mais auspiciosas e ambiciosas. As inovações de destaque foram inovações relativas à lâmpada. Estas mudanças inovadoras visavam eliminar problemas/falhas e diminuir consumos energéticos, diminuindo conseqüentemente os custos associados. Esses problemas incidem na lentidão de reação, na impossibilidade de controlo de fluxo, na baixa qualidade da luz emitida e na longevidade atingida.

O aparecimento das luminárias LED veio solucionar estes problemas. A implementação desta tecnologia foi um processo demoroso, devido ao custo do mesmo. Contudo, o mercado atual oferece soluções a preços competitivos, no que reporta a lâmpadas com esta tecnologia.

O estudo das tecnologias de controlo inteligente para IP vem no seguimento de alguns projetos piloto de sistemas de controlo inteligente da iluminação, aliados aos conceitos de *Smartcities* e *IoT*. Estes têm sido alvo de estudo pela comunidade científica, uma vez que, após a fase de crescimento acelerado das populações e indústrias (coagindo o aumento do preço da energia), o foco passou a incidir na diminuição dos consumos. A junção destes dois termos é inevitável, dado que o controlo e gestão inteligente, defendidos no primeiro conceito, necessitam de comunicações entre os dispositivos e processamento dos dados recolhidos, referentes ao segundo.

O sistema proposto aborda uma perspetiva diferente do convencional, relativamente à iluminação pública. É baseado num controlo descentralizado, fornecendo inteligência ao nível da luminária. A capacidade de análise referente aos cenários exteriores permite a adaptação da luz emitida, com vantagens ao nível de eficiência e qualidade de iluminação. A eficiência energética é um dos objetivos principais deste sistema, conseguida através da diminuição da intensidade luminosa na ausência de movimento, e pela dimerização sequencial da lâmpada relativamente à luminosidade natural, entre os momentos de escuridão total e os momentos calculados para o início e fim do fornecimento de energia luminosa. No que concerne à qualidade de iluminação e segurança das

vias públicas, o sistema é capacitado de uma resposta rápida à movimentação, não só na luminária em questão, através da deteção efetiva de movimento, como em luminárias vizinhas, através da comunicação da deteção de movimento entre estas.

Considerando a viabilidade da aplicação do sistema proposto, na Figura 5.1 é apresentado a análise das forças, oportunidades, fraquezas e ameaças (SWOT) que evidencia a sua viabilidade de implementação.

<p>FORÇAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Controlo Distribuído • Diminuição de Consumos • Configurável • Previsão e Deteção de Falhas • Ausência de barreiras física de comunicação • Funcionamento contínuo • Genérico a nível geográfico • Stand Alone • Possibilidade de Evolução 	<p>FRAQUEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Segurança de comunicação sem fios • Condições extremas de funcionamento restritas (temperatura) • Necessidade de renovação da estrutura da luminária • Adaptação a todos os cenários possíveis
<p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fundos de Investimento para aumentos de eficiência • Partilha de sinergias • Mercado recente e em crescimento 	<p>AMEAÇAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de comunicação sem fios • Concorrência

Figura 5.1: Análise SWOT do sistema proposto.

A partilha de sinergias entre sistemas e organizações é determinante para as estratégias de negócio. O sistema proposto proporciona inúmeras sinergias, que devem ser aproveitadas de forma a aumentar a rentabilidade e diminuir o payback do investimento. A primeira situação advém da instalação de sensores atmosféricos, de poluição e sonoros, que não apresentam interferência direta no funcionamento sistema, no entanto, podem fornecer os dados recolhidos a entidades meteorológicas. A segunda situação advém da instalação da rede de comunicações para suportar o sistema proposto. Esta, devido às características de distribuição geográfica das luminárias, têm um alcance notório em grande parte da urbanização onde esteja aplicada. Este facto pode ser aproveitado para a comunicação de outros sistemas externos a rede de iluminação IP.

Em suma, a viabilidade deste sistema é impulsionada pelas suas características inovadoras relativamente ao sistema convencional, que lhe permite reduções de consumos significativos, assim como, pelas oportunidades que este despoleta. O aproveitamento de fundos de investimentos, e a partilha de sinergias com outros sistemas.

5.2 Apreciação Global e Trabalho Futuro

O trabalho apresentado, apesar de demonstrar todas as fundamentações que o sustentam, encontra-se numa fase inicial para a definição de uma solução final, onde foi focado os resultados energéticos resultantes do controlo da luminária.

Relativamente aos componentes usados na construção do protótipo, ainda que não representem a primeira opção, apresentaram um funcionamento razoável, dentro do expectável. No caso do sensor de movimento usado, apresentava condicionantes na distância de deteção, a qual não existiria com o uso do sensor resultante do processo de seleção. Foi detetada uma condicionante em todos os componentes, no que diz respeito aos seus intervalos de temperatura de funcionamento. Esta condicionante impossibilita o uso destes sensores em regiões com temperaturas extremas, que ultrapassam os seus limites de funcionamento. A solução para esta limitação passa pela escolha de sensores que tenham um intervalo de temperatura mais alargado.

A validação deste protótipo realizou-se em laboratório, sem deteção de problemas, sendo importante, como trabalho futuro, a realização de testes nos cenários reais de iluminação, a fim de perceber a eficiência do sistema quando lida com fatores externos imprevistos.

A nível de *software* ficou por desenvolver e validar as rotinas de comunicação e de adaptação automática aos fatores externos. As primeiras teriam como tarefa a comunicação entre luminárias, de modo a partilhar a deteção e movimento e ainda, confirmar as alterações da luminosidade. Relativamente às rotinas de adaptação, teriam o objetivo de definir os parâmetros de funcionamento de forma automática, tendo em conta a movimentação na rua.

Com o objetivo de tornar este sistema um produto para produção em massa, existe ainda a necessidade da criação de uma placa de desenvolvimento própria com os componentes necessários ao funcionamento, tendo em conta a possibilidade de *upgrade* de componentes ou de *software*.

Por último, relativamente a todos os restantes subsistemas referidos na modelação do sistema, há a necessidade de um estudo de mercado, assim como de desenvolvimento e validação particularizada e global de todo o sistema.

Anexo A

Interface de Sistema

Neste anexo é apresentado a distribuição de gastos de consumo energético da iluminação pública portuguesa, em dois momentos temporais distantes. É possível observar um aumento de consumo na imagem mais recente. No entanto a distribuição do consumo continua a ser relativamente parecida.

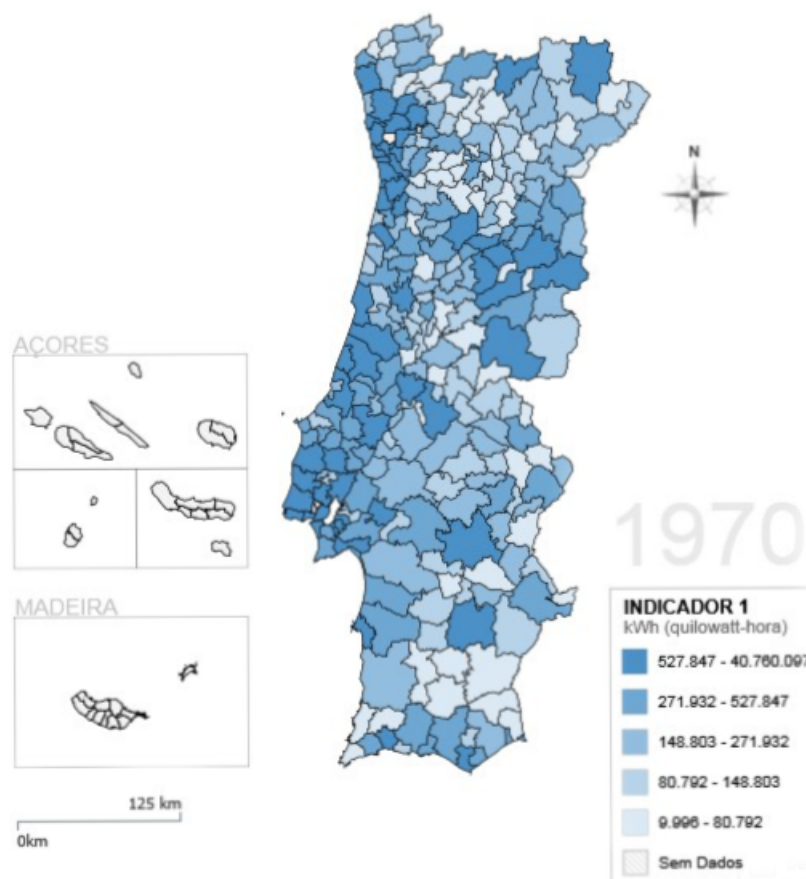


Figura A.1: Distribuição de gasto na IP portuguesa em 1970 (Adaptado de [11])

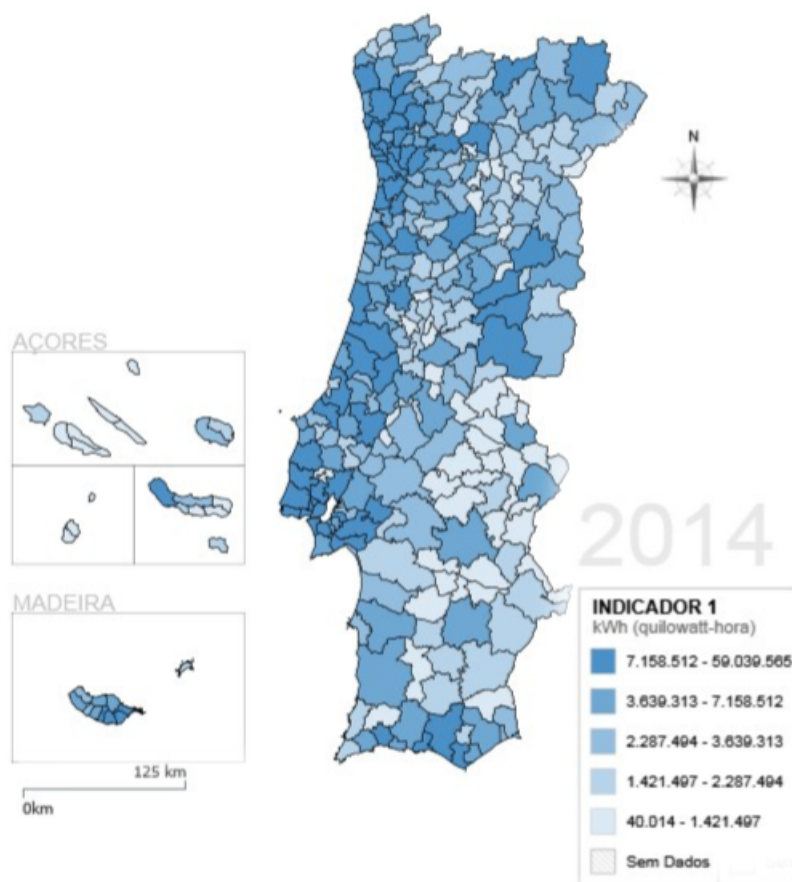


Figura A.2: Distribuição de gasto na IP portuguesa em 2014 (Adaptado de [11])

Anexo B

***MindMap* da interface de utilizador**

A interface tem várias funcionalidades repartidas por várias secções. A vertente de supervisão está ilustrada na Figura [B.1](#). As interface de controlo, análise de eventos e a estatística estão ilustradas na Figura [B.2](#).

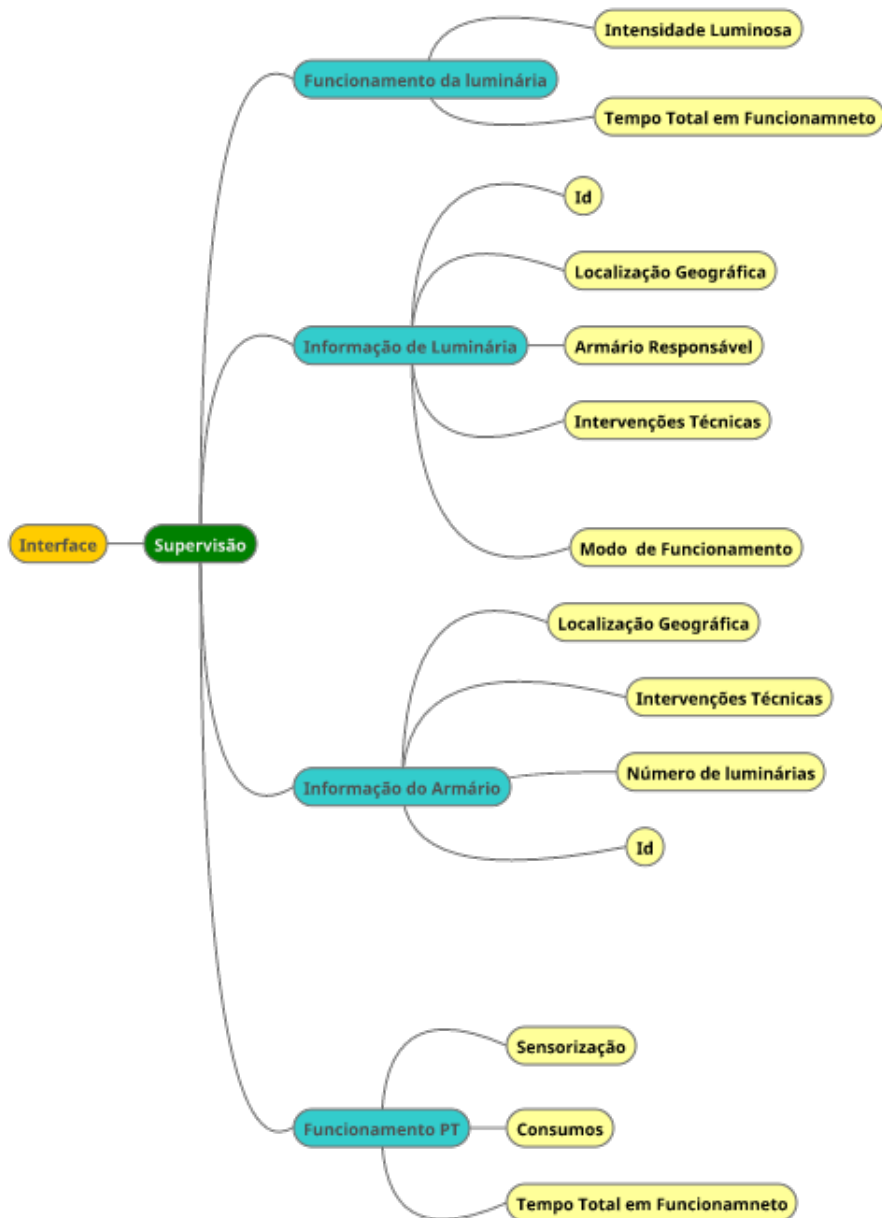


Figura B.1: MindMap da interface de supervisão.

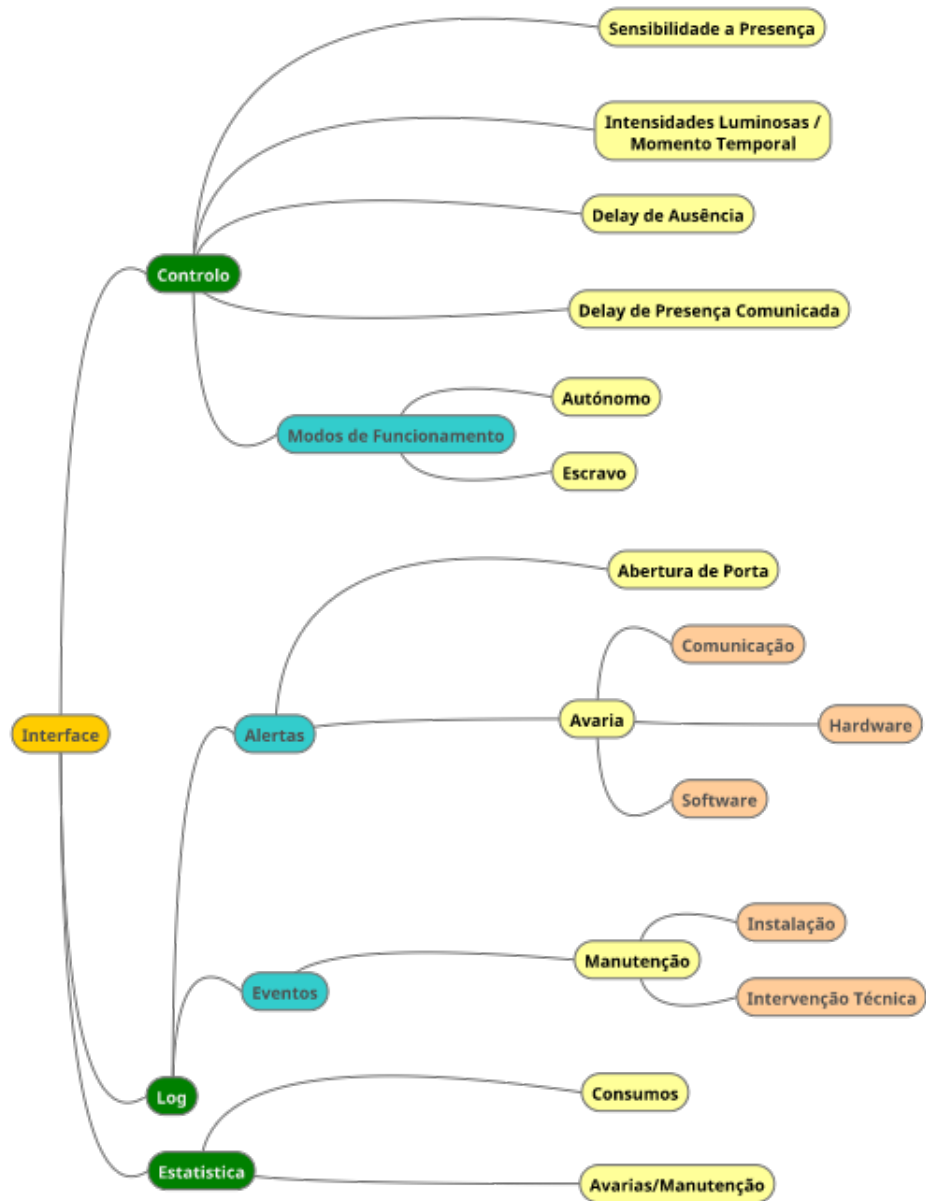


Figura B.2: MindMap das interfaces de controlo, eventos e estatística.

Anexo C

Descrição das classes desenvolvidas

Durante a fase de desenvolvimento, a programação dos sensores foi dividida por classes, de forma a tornar a programação mais intuitiva. As figuras seguintes representam a descrição das variáveis e funções pertencentes às classes criadas.

Tabela C.1: Descrição das variáveis das classes

Classe	Variável	Descrição
Sensor de Luminosidade	delay	Intervalo de tempo para leitura inicial.
	address	Endereço para comunicação.
	xad	Endereço para comunicação.
Sensor de Movimento	input_pin	Pino do sensor.
	previous_state	Estado de presença anterior.
	current_state	Estado de presença atual.
Luminária	id	Identificador de luminária.
	id_neighbor[]	Identificador de luminárias vizinhas.
	id_master	Identificador do PT de alimentação
	longitude	Parâmetro de posição geográfica.
	latitude	Parâmetro de posição geográfica.
	delay_presence_send	Intervalo de tempo de espera após recepção da informação de presença.
	delay_no_presence	Intervalo de tempo de espera, após fim de detecção de movimento
	minimum_lux	Intensidade mínima para início de fornecimento de iluminação.
	func_mode	Modo de funcionamento da luminária (Automático ou Controlado).
	night_dimmer[]	Informação de horários e respectivas intensidades de iluminação.
	out_pin	Informação de intensidade e fornecer.

Tabela C.2: Descrição das funções das classes

Classe	Função	Descrição
Sensor de Luminosidade	sensor_lux	Leitura do sensor de luminosidade.
Sensor de Movimento	setup	Configuração do pino de leitura.
	detect	Atualização da variável de detecção de movimento.
Luminária	setup	Configuração do pino de saída.
	dimming	Atualização da intensidade do dimmer.

Referências

- [1] PORDATA. Consumo de energia eléctrica: total e por tipo de consumo, Março 2016. <http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+por+tipo+de+consumo-1124>.
- [2] James Ayre. Led streetlight system cuts down on light pollution and improves energy efficiency, Junho 2016. <http://cleantechnica.com/2013/04/29/led-streetlight-system-cuts-down-on-light-pollution-and-improves-energy-eff>
- [3] Alexis Barwise. Surge protection concept for led street lights, Maio 2016. <http://www.ee.co.za/article/surge-protection-concept-led-street-lights.html>.
- [4] Schneider. Dalicontrol architecture, Março 2016. <http://www.schneider-electric.com/solutions/ww/EN/sol/20338800-lifespace-solutions-lighting-control-dalicontrol>.
- [5] Dillon Rocks. Where we are in the big picture http tcp ip ethernet interface http tcp ip ethernet interface ip ethernet interface ethernet interface, Junho 2016. <http://trilliantinc.com/library-files/white-papers/WP-CommunicationAssessmentCriteria.pdf>.
- [6] Wikipedia. Topologias de rede, Março 2016. https://en.wikipedia.org/wiki/Network_topology.
- [7] José Gouveia e Alberto Magalhães. *Redes de Computadores*. FCA - Editora de Informática, Lda, Eight edição, 2009.
- [8] Andrew S. Tanenbaum e DAVID J. WETHERALL. *Computer Networks*. Pearson Education, Fifht edição, 1994.
- [9] Olivier Monnier Xiaolin Lu. Developing robust power line communications (plc) with g3, Junho 2016. <http://www.ti.com/lit/wp/slay021/slay021.pdf>.
- [10] Makezine. Arduino uno vs beaglebone vs raspberry pi, Fevereiro 2016. <http://makezine.com/2013/04/15/arduino-uno-vs-beaglebone-vs-raspberry-pi/>.
- [11] PORDATA. Consumo de energia eléctrica: total e por tipo de consumo, Junho 2016. <http://www.pordata.pt/Municipios/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+por+tipo+de+consumo-25-127>.
- [12] Christovão César da Veiga Pessoa Junior. Manual de iluminação pública, Junho 2016. <http://www.radioamadores.org/biblio/outros/COPEL-Luz-Pub-2012.pdf>.

- [13] Luis Timóteo. Lâmpada de descarga, Junho 2016. <http://pt.slideshare.net/MarioTimotius/iluminao3-lampadas-fluorescentes?qid=202f39>.
- [14] Tvilight. Tvilight intelligent lighting, Março 2016. <http://www.tvilight.com/wp-content/uploads/2015/12/English-Technical-Brochure-Tvilight-Nov-2015.pdf>.
- [15] Schneider. Sistemas de controlo de iluminação, Março 2016. <http://www.senergia.pt/images/upload/File/Schneider28fev.pdf>.
- [16] Comptechdoc. Ethernet, Junho 2016. <http://www.comptechdoc.org/independent/networking/cert/nethwethernet.html>.
- [17] Lammertbies. Rs485 serial information, Fevereiro 2016. <http://www.lammertbies.nl/comm/info/RS-485.html#char>.
- [18] Texas Instruments. Power line communications (plc) - products, Junho 2016. <http://www.ti.com/llds/ti/apps/smartgrid/plcmodem/product.page?DCMP=plc-prime&HQS=PRIME-wp#prime>.
- [19] Sparkfun. Why use i²c, Junho 2016. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c/why-use-i2c>.
- [20] Design Spark. 11 internet of things (iot) protocols you need to know about, Junho 2016. <http://www.rs-online.com/designspark/electronics/knowledge-item/eleven-internet-of-things-iot-protocols-you-need-to-know-about>.
- [21] Telecomab. Zigbee, Junho 2016. <http://www.telecomabc.com/z/zigbee.html>.
- [22] Sanida Omerovic. Wimax overview, Junho 2016. http://www.lait.fe.uni-lj.si/Seminarji/s_omerovic.pdf.
- [23] University of Virginia. Wireless sensor networks, Junho 2016. <http://www.slideshare.net/rajrayala/zigbee-intro-v5>.
- [24] Murat Kuzlu, Manisa Pipattanasomporn, e Saifur Rahman. Communication network requirements for major smart grid applications in han, nan and wan. *Computer Networks*, 67:74–88, 2014. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128614001431>, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2014.03.029>.
- [25] OMS. Ambient (outdoor) air quality and health, Maio 2016. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>.
- [26] Deutsche Welle. China fecha milhares de fábricas por causa da poluição, Janeiro 2016. <http://www.dw.com/pt/china-fecha-milhares-de-f%C3%A1bricas-por-causa-da-polui%C3%A7%C3%A3o/a-18886190>.
- [27] ADENE. Financiamento, Maio 2016. <http://www.adene.pt/financiamento-1>.
- [28] Diário Económico. Edp investe dez milhões no inovcity e prepara projeto para exportação, Dezembro 2015. <http://www.inesctec.pt/cpes/noticias-eventos/nos-na-imprensa/edp-investe-dez-milhoes-no-inovcity-e-prepara-projecto-para-exportacao>.

- [29] Diário de Notícias. Venda de carros elétricos quase triplica mas ainda não chega a 500, Fevereiro 2016. <http://www.dn.pt/sociedade/interior/venda-de-carros-eletricos-quase-triplica-mas-ainda-nao-chega-a-500-4924448.html>.
- [30] Adene. Certificação energética de edifícios, Fevereiro 2016. <http://www.adene.pt/certificacao-energetica-de-edificios>.
- [31] IAPMEI. Decreto-lei nº 78/2006 de 4 de abril de 2006, Maio 2016. <http://www.iapmei.pt/iapmei-leg-03.php?lei=4339>.
- [32] Lightsources. Light in the built environment, Fevereiro 2016. <http://www.adene.pt/certificacao-energetica-de-edificios>.
- [33] Schneider. Sistemas de controlo de iluminação, Fevereiro 2016. <http://www.senergia.pt/images/upload/File/Schneider28fev.pdf>.
- [34] History of Lighting. History of street lighting, Junho 2016. <http://www.historyoflighting.net/electric-lighting-history/history-of-street-lighting/>.
- [35] ADENE. Iluminação pública, Junho 2016. <http://www.adene.pt/iluminacao-publica>.
- [36] Diário da República. Resolução do conselho de ministros n.º 2/2011, Junho 2016. <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2011/01/00800/0027000271.pdf>.
- [37] ADENE. Eco.ap, Junho 2016. <http://www.adene.pt/ecoap-0>.
- [38] Renato Branco. Sustentabilidade e gestão da iluminação a iluminação pública, Junho 2016. http://ave.dee.isep.ipp.pt/~see/jornadas2010/Jornadas/images/Pdf/Schreder_RenatoBranco.pdf.
- [39] Diário da República. Resolução do conselho de ministros n.º 20/2013, Junho 2016. <https://poseur.portugal2020.pt/Content/docs/Poseur/PNAEE.pdf>.
- [40] OSRAM. Led: Tecnologia para soluções flexíveis, com eficiência energética, Junho 2016. http://www.osram.pt/osram_pt/noticias-e-conhecimento/pagina-inicial-led/conhecimento-profissional/principios-basicos-do-led/conhecimento-basico/index.jsp.
- [41] Emmanuel Loureiro Garrido. Equipamento auxiliar para luminárias com lâmpadas de descarga de alta pressão, Junho 2016. https://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page706.htm.
- [42] Emmanuel Loureiro Garrido. Fontes de alimentação para leds (“drivers”), Junho 2016. https://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page851.htm.
- [43] Clipsal. Dalicontrol, Março 2016. <http://updates.clipsal.com/ClipsalOnline/Files/Brochures/C0000226.pdf>.
- [44] Katharina Ebert. Siemens installs over 4,500 led streetlights for the u.s.city of mancheste, Junho 2016. [http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=en/pressrelease/2015/mobility/pr2015070281moen.htm&content\[\]=MO](http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=en/pressrelease/2015/mobility/pr2015070281moen.htm&content[]=MO).

- [45] VISÃO. As vantagens e desvantagens das lâmpadas led, Junho 2016. <http://visao.sapo.pt/ambiente/cidadeseconsumo/as-vantagens-e-desvantagens-das-lampadas-led=f710735>.
- [46] Câmara Municipal de Évora. Évora a caminho da smartcity, Junho 2016. <http://ecoxxi.abae.pt/wp-content/uploads/sites/5/2014/12/Evora-a-caminho-da-SMARTCITY-FINAL.pdf>.
- [47] IBTA. Sistemas de controlo de iluminação, Março 2016. http://pt.slideshare.net/renatogersos/portas-de-comunicacao?next_slideshow=1.
- [48] Tutorialsspoint. Wimax - what is wimax, Junho 2016. http://www.tutorialspoint.com/wimax/what_is_wimax.htm.
- [49] André Moreira. Controlo de acesso ao meio (mac), Junho 2016. <http://www.dei.isep.ipp.pt/~andre/documentos/mac.html>.
- [50] Lammertbies. Rs232 specifications and standard, Fevereiro 2016. http://www.lammertbies.nl/comm/info/RS-232_specs.html.
- [51] Vitor Amadeu Souza. Protocolos rs232 e rs485, Fevereiro 2016. <http://www.ebah.pt/content/ABAAAAMYcAI/protocolos-rs232-rs485>.
- [52] Sparkfun. Serial peripheral interface (spi), Fevereiro 2016. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi>.
- [53] Sparkfun. I²c, Fevereiro 2016. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c>.
- [54] NXP. I²c-bus specification and user manual, Fevereiro 2016. http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf.
- [55] CCM. Ethernet, Fevereiro 2016. <http://ccm.net/contents/685-ethernet>.
- [56] AXIS. Network technologies, Fevereiro 2016. <http://www.axis.com/pt/pt/learning/web-articles/technical-guide-to-network-video/lan-and-ethernet>.
- [57] Ram Vedantham Xiaolin Lu, Il Han Kim. Implementing prime for robust and reliable power line communication (plc), Junho 2016. <http://www.ti.com/lit/wp/slyy038/slyy038.pdf>.
- [58] M. Hoch. Comparison of plc g3 and prime. Em *Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), 2011 IEEE International Symposium on*, páginas 165–169, April 2011. doi:10.1109/ISPLC.2011.5764384.
- [59] Xavier Carcelle. *Power Line Communications in Practice*. Artech House, First edição, 2006.
- [60] Maxim Integrated. Mesh networking extends a plc network to thousands of meters, Junho 2016. <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/5409>.
- [61] RFWireless World. Bluetooth tutorial, Fevereiro 2016. http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Bluetooth_tutorial.html.

- [62] Bluetooth. Low energy1, Junho 2016. <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics/low-energy>.
- [63] RFWireless World. Zigbee tutorial, Fevereiro 2016. http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Zigbee_tutorial.html.
- [64] Meshdynamics. Wimax and wifi wireless mesh – friends or foes?, Junho 2016. <http://meshdynamics.com/documents/MDWImaxFriendOrFoe.pdf>.
- [65] Trilliant. Smart grid communication assessment criteria among rf mesh, plc, and cellular technology, Junho 2016. <http://slideplayer.com/slide/3333745/>.
- [66] Decuredge Networks. How many users can connect to an 802.11ac wireless access point?, Junho 2016. <http://www.securedgenetworks.com/blog/How-Many-Users-Can-Connect-to-an-802-11ac-Wireless-Access-Point>.
- [67] Hans-Jörg Vögel Christian Bettstetter e Jörg Eberspächer. Gsm phase 2+ general packet radio service gprs, Fevereiro 2016. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.332.2789&rep=rep1&type=pdf>.
- [68] ELECTRONICS HUB. Light sensors, Janeiro 2016. <http://www.electronicshub.org/light-sensors/>.
- [69] Electronics-Tutorials. Light sensors, Janeiro 2016. http://www.electronics-tutorials.ws/io/io_4.html.
- [70] Aris Antony Yiannoulos. Photosensing device with improved spectral response and low thermal leakage, Janeiro 2016. <https://www.google.com/patents/US5942775>.
- [71] Safewise. The beginner’s guide to motion sensors, Janeiro 2016. <http://www.safewise.com/resources/motion-sensor-guide>.
- [72] Maxim Integrated. Ds1307, Janeiro 2016. https://www.maximintegrated.com/en/products/digital/real-time-clocks/DS1307.html/tb_tab0.
- [73] Sparkfun. Nmea reference manual, Janeiro 2016. <https://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/NMEA%20Reference%20Manual1.pdf>.
- [74] Direção de Tecnologia e Inovação. Aparelhos de iluminação elétrica e acessórios, Junho 2016. <http://www.edpdistribuicao.pt/pt/profissionais/Lists/EDPDocumentosNormativos/Attachments/881/DMA-C71-111N.pdf>.
- [75] Makezine. Raspberry pi or arduino? one simple rule to choose the right board, Fevereiro 2016. <http://makezine.com/2015/12/04/admittedly-simplistic-guide-raspberry-pi-vs-arduino/>.
- [76] Raspberrypi. Windows 10 for iot, Fevereiro 2016. <https://www.raspberrypi.org/blog/windows-10-for-iot/>.
- [77] Python Software Foundation. Ephem 3.7.6.0y, Junho 2016. <https://pypi.python.org/pypi/ephem/>.