

Sistemas de domótica sobre tecnologias sem fios

Wi-Fi

Por

Jorge Miguel Carvalho Gonçalves

Orientador: Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos

Co-orientador: Doutor Francisco de Sousa Pereira



Dissertação submetida à
UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO
para obtenção do grau de
MESTRE
em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no
DR – I série– N.º151, Decreto-Lei n.º 115/2013 de 7 de Agosto e no
Regulamento de Estudos Conducente ao Grau de Mestre da UTAD
DR, 2.ª série – N.º133 de 13 de Julho de 2016

Sistemas de domótica sobre tecnologias sem fios

Wi-Fi

Por

Jorge Miguel Carvalho Gonçalves

Orientador: Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos

Co-orientador: Doutor Francisco de Sousa Pereira

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

para obtenção do grau de

MESTRE

em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no

DR – I série– N.º151, Decreto-Lei n.º 115/2013 de 7 de Agosto e no

Regulamento de Estudos Conducente ao Grau de Mestre da UTAD

DR, 2.ª série – N.º133 de 13 de Julho de 2016

Orientação Científica :

Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos

Professor Associado com Agregação do
Departamento de Engenharias
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Doutor Francisco de Sousa Pereira

Professor Auxiliar do
Departamento de Engenharias
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO
Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Os membros do Júri recomendam à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro a aceitação da dissertação intitulada “**Sistemas de domótica sobre tecnologias sem fios Wi-Fi**” realizada por **Jorge Miguel Carvalho Gonçalves** para satisfação parcial dos requisitos do grau de **Mestre**.

Dezembro 2017

Presidente: **Doutor José Paulo Barroso de Moura Oliveira,**
Professor Associado com Agregação da Escola de Ciências e
Tecnologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Vogais do Júri: **Luís Miguel Valente Gonçalves,**
Professor Auxiliar da Escola de Engenharia da Universidade do
Minho

Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos,
Professor Associado com Agregação do Departamento de
Engenharias da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Sistemas de domótica sobre tecnologias sem fios Wi-Fi

Jorge Miguel Carvalho Gonçalves

Submetido na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
para o preenchimento dos requisitos parciais para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Resumo — A domótica é uma área de tecnologia que tem estado em constante desenvolvimento pois tem sido beneficiada com a evolução e acessibilidade das tecnologias associadas. A domótica permite controlar e automatizar, localmente ou remotamente, as funções dos equipamentos de uma habitação através de um sistema central. Existem diversos equipamentos e sistemas com as mais variadas funções que comunicam entre si usando protocolos de comunicação, entre eles o KNX, Z-Wave, ZigBee, Wi-Fi, entre outros, que são estudados nesta dissertação. O objetivo global deste trabalho consiste em desenvolver protótipos de dispositivos de baixo custo, assim como a sua comunicação na rede Wi-Fi, onde vários dispositivos comunicam com um elemento central de controlo. O conjunto de dispositivos conterão entradas para ligação de botões e sensores, e saídas para atuação remota de iluminação, estores elétricos entre outros equipamentos. Estes dispositivos desenvolvidos foram testados em vários cenários de utilização com vários dispositivos, mostrando a viabilidade do sistema desenvolvido.

Palavras Chave: Domótica, sistemas embebidos, redes sem-fios, Wi-Fi.

Home automation systems based on Wi-Fi wireless technology

Jorge Miguel Carvalho Gonçalves

Submitted to the University of Trás-os-Montes and Alto Douro
in partial fulfillment of the requirements for the degree of
Master of Science in Electrical Engineering and Computers

Abstract — Home automation, or domotics, is an area of technology that has been in constant development because of its benefits from the evolution and accessibility of the associated technologies. Home automation allows the control and automation, locally or remotely, of the functions from multiple devices and systems in a dwelling through a central system. There are several devices and systems with multiple functions that communicate with each other using communication protocols, among them KNX, Z-Wave, ZigBee, Wi-Fi and others, which are approached in this dissertation.

The overall objective of this work is to develop prototypes of low cost devices, as well as their communication in the Wi-Fi network, where several devices communicate with a central control element. The set of devices will contain inputs for buttons and sensors, and outputs for remote lighting, electric blinds among other equipment. These developed devices have been extensively tested in various usage scenarios with different devices, showing the feasibility of the developed system.

Key Words: Domotics, embedded systems, wireless networks, Wi-Fi.

Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não se teria tornado uma realidade e aos quais estarei eternamente grato.

Ao Professor Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos, orientador deste trabalho, pelas suas sugestões, orientações e ideias inovadoras que sempre me motivaram neste trabalho.

Ao Professor Doutor Francisco de Sousa Pereira, co-orientador deste trabalho, pela grande ajuda, pelas suas observações e orientações, que tiveram um grande impacto no desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus amigos e colegas de curso, pelo companheirismo, pelos desabafos, pela partilha de bons e maus momentos, pela amizade, que me permitiram que cada dia fosse sempre encarado com motivação.

À minha família, em especial aos meus pais, um enorme obrigado pelo apoio incondicional durante todo o percurso académico e por todos os ensinamentos de vida.

UTAD,
Vila Real, 30 de Setembro de 2017

Jorge Miguel Carvalho Gonçalves

Índice geral

Resumo	ix
<i>Abstract</i>	xi
Agradecimentos	xiii
Índice de tabelas	xix
Índice de figuras	xxi
Glossário, acrónimos e abreviaturas	xxiii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento da domótica	1
1.2 Dispositivos de domótica	2
1.3 Motivação e objetivos	2
1.4 Organização da dissertação	3
2 Sistemas de domótica	5
2.1 Perspetiva geral de sistemas domóticos	5
2.2 Protocolos de comunicação	7
2.2.1 Comunicação por barramento KNX	8
2.2.2 Comunicação pelo protocolo Insteon	10
2.2.3 Comunicação pelo barramento LonWorks	11
2.2.4 Comunicação pela rede elétrica X10	13

2.2.5	Comunicação por redes sem-fios Bluetooth	16
2.2.6	Comunicação por redes sem-fios Wi-Fi	17
2.2.7	Comunicação por redes sem-fios Z-Wave	19
2.2.8	Comunicação por redes sem-fios Zigbee	21
2.3	Comparação técnica dos protocolos de comunicação estudados	24
2.4	Soluções de domótica comerciais	26
2.4.1	SmartThings	26
2.4.2	Apple HomeKit	29
2.4.3	Meo Smart Home	30
2.4.4	Sistemas de domótica <i>open-source</i>	32
2.5	Exemplos de dispositivos comerciais de domótica	32
2.5.1	Sonoff	33
2.5.2	Termostato Nest	34
2.5.3	Tomada inteligente TP-Link HS110	34
2.6	Discussão das tecnologias estudadas	35
3	Proposta de um sistema domótico	37
3.1	Arquitetura do sistema	37
3.2	Casos de uso	39
3.3	Comunicação no sistema domótico	40
3.4	Unidade de processamento nos dispositivos I/O	41
3.5	Alimentação dos dispositivos	42
3.5.1	Acoplamento capacitivo	42
3.5.2	Conversor <i>step-down</i> AC-DC com transformador	43
3.5.3	Alimentação por bateria	44
4	Implementação de um protótipo	45
4.1	Microcontrolador	45
4.1.1	Entradas e saídas	46
4.1.2	Sensores e atuadores	48
4.2	Fonte de alimentação	51
4.3	Algoritmo implementado	52
5	Resultados e discussão	57
5.1	Testes e resultados	57
5.1.1	Alimentação e consumo do dispositivo	58
5.1.2	Envio de pedidos	59
5.1.3	Receção de pedidos	59
5.1.4	Execução de pedidos	60
5.2	Resultado de um exemplo prático no sistema completo	60

6 Conclusão e trabalhos futuros	63
Referências bibliográficas	67
A Protocolo de mensagens	75

Índice de tabelas

2.1	Exemplos de funcionalidades de sistemas domóticos.	7
2.2	Identificadores dos dispositivos Z-Wave	21
2.3	Comparação técnica dos protocolos de comunicação estudados	25
3.1	Tabela de comparação de módulos ESP8266.	42
4.1	Tabela do mapeamento das entradas e saídas no microcontrolador.	47
A.1	Estrutura da mensagem de atualização do dispositivo para o servidor.	75
A.2	Estrutura de mensagem para auto registo do dispositivo.	76
A.3	Estrutura da mensagem de atualização do servidor para o dispositivo.	77

Índice de figuras

2.1	Barramento num sistema domótico KNX	8
2.2	Aplicação e interruptores Insteon	10
2.3	<i>Gateway</i> Lonworks	12
2.4	Códigos de casa e códigos de aparelho	14
2.5	Transmissão de códigos e exemplos	15
2.6	Modo de infraestrutura em tecnologia Wi-Fi	18
2.7	Modo <i>ad hoc</i> em tecnologia Wi-Fi	19
2.8	Multi-sensor Z-Wave da marca Fibaro	20
2.9	Motor para cortinas inteligente Zigbee da marca Xiaomi	22
2.10	Tipos de topologia em rede Zigbee	23
2.11	Pack Samsung SmartThings para iniciantes	27
2.12	Arquitetura de um sistema domótico SmartThings	28
2.13	Agrupamento de dispositivos num sistema domótico SmartThings	29
2.14	Aplicação Apple HomeKit	30
2.15	Kit Smart Home da MEO	31
2.16	Dispositivo domótico Wi-Fi Sonoff	33
2.17	Tomada inteligente TP-Link HS110	34

3.1	Arquitetura do sistema domótico	39
3.2	Casos de Uso	40
3.3	Acoplamento capacitivo	43
4.1	<i>Pinout</i> da <i>board</i> NodeMCU com o microcontrolador ESP8266	46
4.2	Módulo de relés usado na implementação do sistema domótico	50
4.3	Fonte de Alimentação usada nos dispositivos do sistema domótico	51
4.4	Esquema do algoritmo implementado	53
5.1	Teste de um caso prático real	58
5.2	Diagrama de atividades de um exemplo prático.	61

Glossário, acrónimos e abreviaturas

Lista de acrónimos

Sigla	Expansão
AC-DC	<i>Alternating Current to Direct Current</i>
ADC	<i>Analog Digital Converter</i>
AP	<i>Access Point</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
AWS	<i>Amazon Web Services</i>
bps	<i>Bits Per Second</i>
BSS	<i>Basic Service Set</i>
DIY	<i>Do It Yourself</i>
DMA	<i>Direct Memory Access</i>
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EIB	<i>European Installation Bus</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Groupe Spécial Mobile</i>

Sigla	Expansão
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IFTTT	<i>If This Then That</i>
IOT	<i>Internet Of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IR	<i>Infrared</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
KB	<i>Kilobyte</i>
KNX	<i>Konnex Networks</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MB	<i>Megabyte</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
NFC	<i>Near-Field Communication</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PIR	<i>Passive Infrared Sensor</i>
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RF	<i>Radio-frequency</i>

Sigla	Expansão
RFID	<i>Radio-frequency Identification</i>
ROM	<i>Read-only Memory</i>
Rx	<i>Reception</i>
SDK	<i>Software Development Kit</i>
SMPS	<i>Switched-mode Power Supply</i>
SOC	<i>System On Chip</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
Tx	<i>Transmission</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WPA	<i>Wi-Fi Protected Access</i>

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Significado(s)
et al.	e outros (autores)
etc.	etecetera, outros
N.A.	não aplicável

1

Introdução

Neste primeiro capítulo é apresentado um pequeno enquadramento da domótica, assim como uma breve explicação dos dispositivos domóticos. Também são explicados os objetivos deste projeto e a motivação para a realização do mesmo, bem como a descrição da organização da dissertação.

1.1 Enquadramento da domótica

A domótica é uma tecnologia relativamente recente que permite a gestão local e/ou remota de todos, ou, parte dos equipamentos eletrónicos de uma habitação. Hoje em dia existem já inúmeras soluções de sistemas inteligentes para habitações, estejam elas em construção ou já habitadas. As soluções mais comuns integram interruptores, sensores e atuadores para que seja possível o acionamento inteligente com base no processamento de dados. As tecnologias para a comunicação de dados vão desde sistemas cablados, barramentos e, mais recentemente, tecnologias de comunicação sem-fios, todas elas com o objetivo de distribuir um sistema de gestão inteligente por todo o espaço. A informação gerida fica posteriormente acessível ao utilizador através de um computador, *smartphone* ou *tablet* que poderão ter mais ou menos

funções de acordo com o desejo do instalador e/ou cliente. Soluções mais recentes incorporam vídeo, que permitem ligações normalizadas a eletrodomésticos (normas EIB, KNX, etc.) e oferecem uma integração em habitações já habitadas com a menor intrusão possível já que recorrem a tecnologias sem-fios e alimentação a baterias.

1.2 Dispositivos de domótica

Uma casa inteligente não é muito mais que uma panóplia de tecnologias e interfaces que permite um elevado grau de interação do ser humano com todos os dispositivos de sua casa, em qualquer lado, em qualquer altura, em qualquer dispositivo. Neste capítulo, as interfaces web apresentam uma importância particular já que permitem ao utilizador esta interação, quer local, quer remota, recorrendo a computação em nuvem para criar sistemas distribuídos sobre Internet (conceito de IoT - *Internet of Things*).

Neste trabalho de dissertação analisam-se algumas das tecnologias mais usadas em domótica, nomeadamente aquelas que permitem que dispositivos de baixo custo possam realizar várias funções num sistema distribuído como é um sistema domótico. Em particular, pretende-se avaliar o uso de tecnologias de comunicação de dados sem-fios em dispositivos simples e que permitam criar uma rede numa habitação.

1.3 Motivação e objetivos

A motivação desta dissertação reside em investigar as tecnologias de comunicações sem-fios que permitam a realização de sistemas distribuídos aplicados à domótica. Destacam-se as tecnologias baseadas em 802.15.4, onde o ZigBee se apoia, redes Wi-Fi com as inerentes vantagens e desvantagens, Z-Wave e outras. Também a forma como estas tecnologias permitem redes de dispositivos simples baseados em sistemas de baixo custo que executem funções simples de entradas e saídas são avaliadas, bem como a forma de alimentação. Destaca-se o acoplamento capacitivo que consegue

minimizar o custo do dispositivo, solução já muito usada em equipamento eletrônico alimentado sem necessidade de transformador. Contribui-se assim para dissertar sobre um tema atual e dinâmico fomentando novas soluções e abordagem à domótica que teve uma grande evolução nos últimos anos.

O objetivo global deste trabalho é a implementação de uma rede de dispositivos que comunicam sem-fios com um sistema central recorrendo a tecnologias sem-fios de baixo custo. Além da construção de pequenos protótipos, eventualmente sobre plataformas de baixo custo como Arduino, pretende-se que estes sejam alimentados diretamente da rede elétrica através de fontes de alimentação. O conjunto de dispositivos conterão entradas para ligação de teclas e/ou outros dispositivos e saídas para atuação remota de iluminação, estores elétricos, etc. Estes dispositivos ficarão ligados a um *gateway* web, baseado em Raspberry Pi (desenvolvido num outro trabalho em paralelo). Cumpre-se também o objetivo de aquisição de competências na aplicação de sistemas embebidos e respetiva alimentação elétrica a aplicações reais e exigentes.

1.4 Organização da dissertação

Para além do presente capítulo, esta dissertação contém mais cinco capítulos e um anexo. No capítulo 2 é feita a revisão bibliográfica e são apresentadas algumas soluções comerciais atuais assim como discussão das mesmas. No capítulo 3 é feita a descrição da arquitetura do projeto desenvolvido, bem como as suas funcionalidades, diagrama de casos-de-uso e elementos constituintes. No capítulo 4, é descrita toda a implementação do sistema, de modo a poder validar a arquitetura escolhida. No capítulo 5 são apresentados os resultados da implementação e apresentados os testes realizados. Finalmente, no capítulo 6 são retiradas as conclusões acerca da satisfação dos objetivos propostos e feitas considerações sobre possíveis desenvolvimentos futuros. No anexo A é descrito em maior detalhe o protocolo de troca de mensagens desenvolvido.

2

Sistemas de domótica

Este capítulo tem como objetivo apresentar as diferentes tecnologias estudadas para compreensão e integração na área da domótica. Inicialmente irão ser abordadas as áreas em que a domótica se foca, mostrando os seus benefícios nas mesmas. Serão descritos e estudados os protocolos de comunicação e soluções comerciais, tendo em conta as tendências atuais do mercado. Por fim, serão abordados alguns dispositivos comerciais existentes, seguindo-se por uma discussão sobre todas as tecnologias estudadas.

2.1 Perspetiva geral de sistemas domóticos

As áreas que têm vindo a ter mais foco pela domótica são: eficiência energética, conforto e segurança (Gomez and Paradells, 2010). Embora os equipamentos de domótica tenham sempre algum consumo residual de energia, as poupanças utilizando termostatos inteligentes podem vir a ser consideráveis, principalmente em climas extremos. Alguns destes dispositivos podem agendar os dias e horas a que se liga o sistema de climatização, ajustar automaticamente de acordo com as temperaturas consultadas na Internet ou até mesmo desligar o aquecimento após detetar que

o utilizador não está em casa. O mesmo se pode dizer de outros equipamentos como tomadas inteligentes que conseguem desligar a horas programadas, cortando assim os chamados consumos de *stand-by*, alguns podem também monitorizar em tempo-real a energia a ser consumida ou o seu histórico de consumos, sendo a monitorização outra característica importante da domótica. Para além do conforto e várias utilidades como a monitorização e o controlo remoto, a segurança é uma das características mais importantes. Desde detetores de anomalias como sensores de fumo, água e incêndio, é possível ter câmaras que comunicam quando detetam movimento no seu ângulo de visão. No entanto, os sistemas de domótica no geral ainda não foram amplamente adotados. Esta timidez na adoção é particularmente surpreendente porque muitos dos dispositivos necessários para habilitar estes sistemas como sensores de movimento e iluminação programável, estão disponíveis para consumidores desde a década de 1970. Enquanto algumas tecnologias de automação vão ganhando aceitação em configurações comerciais (por exemplo, luzes sensíveis ao movimento), falta uma adoção mais ampla, com a exceção dos sistemas de segurança que já são instalados e monitorizados por determinadas empresas de serviços bem estabelecidas (Brush et al., 2011). Atualmente, a diversidade de soluções existentes ao nível da domótica é grande graças à evolução da tecnologia. As diferenças entre as várias tecnologias existem a diversos níveis, sendo necessário analisar vários aspetos aquando da escolha de uma solução de domótica, tais como:

- Custo;
- Número de funcionalidades disponíveis;
- Fiabilidade;
- Quantidade de produtos disponíveis e aceitação no mercado;
- Sistemas centralizados ou distribuídos;
- Os meios de comunicação.

Atualmente é possível uma variedade de funcionalidades, bem como a interação entre as mesmas. Normalmente a maioria das soluções de domótica tendem a oferecer as funcionalidades representadas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Exemplos de funcionalidades de sistemas domóticos.

Segurança	Conforto	Eficiência Energética
Controlo de acessos	Controlo de iluminação	Controlo de iluminação automático
Deteção de intrusão/inundação/incêndio/gases	Controlo de estores	Controlo de aquecimento/refrigeração/ventilação
Videovigilância	Controlo de portões	Controlo e monitorização de tomadas

2.2 Protocolos de comunicação

Os protocolos de domótica são formas de comunicação normalizadas entre equipamentos. Ou seja, um equipamento só poderá comunicar com outro equipamento que obedeça ao mesmo protocolo. Por vezes os controladores centrais possuem compatibilidade com vários protocolos ou módulos adaptadores que possibilitam a comunicação com outros protocolos adicionais. Existem três meios principais para a comunicação: por fio, *powerline*, e sem-fios. A primeira tem como vantagem a fiabilidade e a segurança que lhe é associada, no entanto são necessárias infraestruturas próprias e isso acresce no custo e na dificuldade da instalação. Comunicação *powerline* utiliza a instalação elétrica para transmitir informação, não sendo necessário cabos adicionais para comunicação. Contudo, tem como desvantagem as baixas taxas de transmissão e a possibilidade de interferências através de outros aparelhos ligados à corrente elétrica da casa ([SmartHomeUSA](#)). Utilizando tecnologias sem fios, os custos em relação às opções com fio dedicado baixam, assim como a dificuldade na instalação, no entanto não serão à partida tão fiáveis devido a interferências ou a limitações em termos de alcance.

A tendência que se tem observado no mercado em relação a esta matéria é utilizar controladores centrais sem-fios que conseguem comunicar, recorrendo a diferentes protocolos, sendo Z-Wave, Zigbee, Bluetooth e Wi-Fi os principais. Isto em sistemas grandes, completos e escaláveis, em sistemas básicos, onde o utilizador quer apenas

usufruir em parte dos benefícios da domótica com poucos dispositivos de funcionalidades semelhantes, tem havido um forte crescimento nas apostas em Wi-Fi e Bluetooth que apenas comunicam com um ou vários smartphones.

2.2.1 Comunicação por barramento KNX

O KNX (Konnex Networks) é um protocolo de comunicação internacional constituído por uma pilha protocolar. A iniciativa surgiu pela convergência de três normas (EIBA, BCI e EHSa) com o objetivo de criar um standard Europeu único para a domótica. Caracteriza-se por ser um protocolo flexível, uma vez que pode incluir *gateways* com vários meios de comunicação suportados, entre eles, o par trançado, rede elétrica (*powerline*), infravermelhos, Ethernet (KNXnet/IP) e radiofrequência. Este protocolo que é aprovado por várias normas europeias e internacionais (ISO/IEC 14543-3) é aberto a todos que desejam desenvolver na área da domótica, existindo assim mais de 7000 produtos grupos de produtos e mais de 370 empresas associadas (KNX Association, a).

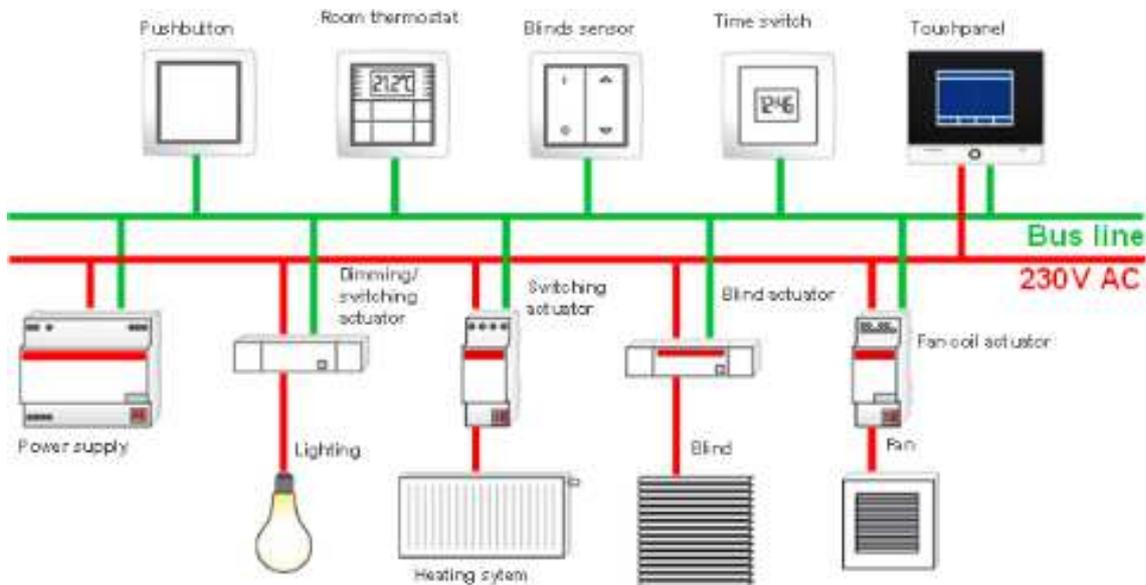


Figura 2.1 – Barramento num sistema domótico KNX (Shah and Mehta).

O KNX possui uma arquitetura descentralizada. O protocolo define uma relação

elemento a elemento entre os dispositivos, o que permite distribuir a inteligência entre os sensores e atuadores instalados. O protocolo contempla três modos de funcionamento:

- S-mode (*System mode*): nesta configuração do modo do sistema os diversos dispositivos são instalados e configurados recorrendo a um software concebido propositadamente para este fim, o ETS;
- E-mode (*Easy mode*): neste modo requer os dispositivos são pré-programados na fábrica e carregados com uma definição dos parâmetros. Embora com um simples configurador, cada dispositivo pode ser reconfigurado, principalmente a nível dos parâmetros definidos e das suas ligações de comunicação;
- A-mode (*Automatic mode*): a configuração do sistema neste modo automático segue uma filosofia de *plug and play*, onde não é necessária a configuração do dispositivo (da Silva Tiago, 2016).

O KNX permite diferentes topologias: topologias de árvore, linha e em estrela. Essas topologias podem ser misturadas conforme necessário. A rede distribuída pode ter até 65536 dispositivos com endereços individuais de 16 bits que podem ser de grupo ou individual. A notação dos endereços é constituída por 2 octetos com 2 número decimais de 4 bits e um 1 número decimal de 8 bits, permitindo obter endereços desde 0.0.00 até 15.15.255. A estrutura da sub-rede permite 256 dispositivos numa linha. As linhas podem ser agrupadas com uma linha principal numa área. Até 15 linhas podem ser conectadas a uma linha principal através de um acoplador de linha (LC) para um total de 16 linhas. Uma linha consiste num máximo de 4 segmentos de linha, cada um com um máximo de 64 dispositivos. Cada segmento requer uma fonte de energia apropriada (da Silva Mendes, 2010).

Vantagens:

- Elevada flexibilidade;
- Altamente viável;

- Vários modos de configuração;
- Boa interoperabilidade entre os diferentes produtos e aplicações.

Desvantagens:

- Elevados custos de implementação;
- Difícil implementação em habitações antigas.

2.2.2 Comunicação pelo protocolo Insteon



Figura 2.2 – Aplicação e interruptores Insteon (**Axiom**).

O Insteon é um protocolo que permite estabelecer comunicações entre dispositivos pouco avançados tecnologicamente e de baixo custo. Este protocolo utiliza radiofrequência (RF) bem como a ligação elétrica instalada no edifício para garantir as comunicações entre os dispositivos. Nas comunicações realizadas através da instalação elétrica da casa, o protocolo Insteon tira partido dos princípios do protocolo X10 e é compatível com a mesma. O uso de um controlador central (*hub*) não é necessário, mas é crucial para controlo remoto e integração com smartphones, computadores ou comandos de voz. esta tecnologia utiliza ligações *peer-to-peer* numa topologia *mesh* onde todos os dispositivos têm permissão para transmitir, receber e repetir, mas neste caso quantos mais dispositivos forem adicionados à rede Insteon mais robusta esta fica, uma vez que os dispositivos Insteon repetem as mensagens uns dos outros simultaneamente (*simulcasting*). Mais concretamente, um transmissor transmite o

sinal, outros dispositivos próximos repetem o sinal original, o sinal eventualmente chega ao recetor correto e o sinal volta a ser repetido para todos os outros aparelhos para assegurar o máximo de fiabilidade. Este método permite também que um dispositivo capaz de comunicar apenas por ondas de radiofrequência receba ou envie comandos para um dispositivo capaz de comunicar unicamente por corrente elétrica desde que exista um dispositivo capaz de comunicar através das duas tecnologias. Para contrariar repetições infinitas, o protocolo define um máximo de *hops* de 3 e um intervalo de tempo específico no envio de informação. No caso de erro de envio as mensagens são reenviadas automaticamente (Insteon, 2013).

Vantagens:

- Facilidade na instalação;
- Escalabilidade;
- Baixo custo.

Desvantagens:

- Limitação a produtos certificados e fornecidos pela marca Insteon.

2.2.3 Comunicação pelo barramento LonWorks

O LonWorks é uma plataforma de comunicação em rede, criada pela empresa Echelon na década de 90, direcionada ao desempenho, fiabilidade e às necessidades originais de manutenção de aplicações de controlo. Este protocolo implementa todas as camadas do modelo de OSI, através da utilização de um processador denominado de Neuron, onde a comunicação se pode dar por vários meios como a rede elétrica, cabo coaxial, infravermelhos, fibra ótica ou rádio frequência.

As redes LonWorks são constituídas pelos nós, que utilizam um protocolo comum, designado LonTalk, que permite comunicar aos nós comunicarem entre si. Cada



Figura 2.3 – Gateway Lonworks que permite controlo central dos dispositivos (Distech Controls).

nó é constituído por um microcontrolador específico, o Neuron Chip. Este é um circuito integrado constituído por três processadores de 8 bits, necessários para a execução do protocolo LonTalk e para o controlo das aplicações do nó, memórias RAM, ROM e EEPROM, um transmissor responsável pela ligação ao meio físico de comunicação, 11 pinos de I/O e o *firmware* LonWorks. Cada Neuron Chip possui um identificador único com 48 bits, o Neuron ID, responsável por sinalizar univocamente qualquer nó numa rede de controlo, está gravado na EEPROM logo após o seu fabrico, onde também contém com outras informações relativas à configuração e endereçamento da rede. Para o endereçamento dos pacotes podem ser usados três tipo de endereços, *Device Address*, *Group Address* e *Broadcast Address*, consoante se queira transmitir para um único módulo, para um grupo de módulos ou para todos os módulos, respetivamente. Este protocolo prevê ainda a utilização de quatro tipos de mensagens, para otimização da qualidade do serviço, a designar, *Acknowledged Messaging*, *Repeated Messaging*, *Unacknowledged Messaging* e *Authenticated Messaging* (Echelon, 2009). Cada trama contém informação para o encaminhamento, dados da aplicação do utilizador e de controlo, e uma lista de verificação como código para detetar erros. De modo a endereçar um dispositivo numa rede LonWorks é necessário recorrer ao domínio, sub-rede e nó. A interconexão entre domínios é possível, desde que o dispositivo tenha suporte para esse tipo de funções de encaminhamento. Cada domínio possui até 255 sub-redes e cada sub-rede pode

possuir até 127 nós. Através desta estrutura de endereçamento, pode-se integrar até aproximadamente 248 dispositivos onde cada dispositivo da rede possui um endereço lógico único (North Beach Consulting, 2003).

Vantagens:

- Arquitetura descentralizada;
- Muitos meios para comunicação;

Desvantagens:

- Necessário utilizar um microcontrolador em específico;
- Fraca Interoperabilidade (Mantovani, 1998);
- Alto custo.

2.2.4 Comunicação pela rede elétrica X10

O X10 é um protocolo de comunicação focado na domótica desenvolvido na década de 70 pela empresa Pico Electronics Ltd, com o objetivo de transmitir dados através da corrente elétrica permitindo o controle remoto de dispositivos eletrônicos (Rye, 1999). Esta tecnologia usa uma arquitetura descentralizada, não necessitando de nenhum elemento central para o seu funcionamento. Um sistema X10 pode ser simplesmente constituído por um conjunto de dispositivos que são comandados diretamente pelo utilizador. Por exemplo, através de um telecomando RF, o utilizador poderá enviar um comando para um recetor X10/RF, que é transmitido através da rede elétrica para um atuador X10 que, por sua vez, liga ou desliga o aparelho indicado. À partida pode parecer ter uma utilidade bastante limitada, mas sendo uma tecnologia bastante utilizada no ramo da domótica, já permite integração com várias aplicações, como sistemas de aquecimento central, conversores para sinais infravermelhos, e vários sistemas de segurança. Ou até mesmo outras tecnologias, como é o caso do protocolo Insteon que é compatível com aparelhos X10.

No endereçamento das mensagens o protocolo X10 implementa um sistema simples que usa 16 códigos de casa (usando como letras de A - P) e 16 códigos de aparelho (1-16), permitindo endereçar 256 aparelhos (Eurox10).

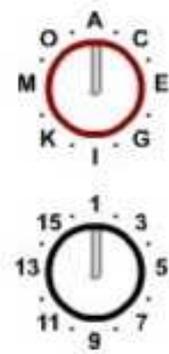


Figura 2.4 – Códigos de casa e códigos de aparelho (Eurox10).

O envio de informação recorre a um pequeno sinal de potência existente na rede elétrica da habitação modulado numa frequência maior (120KHz) que é injetado de novo na rede elétrica através do módulo emissor. Cada *burst* tem a duração de 1 ms e é inserido em sincronismo com a passagem pela origem da onda sinusoidal de 50 Hz da rede elétrica. O bit-1 corresponde à presença do *burst* de 120 kHz e o bit-0 à ausência do mesmo. De forma a reduzir a probabilidade de o sinal válido ser confundido com ruído elétrico da rede elétrica do edifício, estabeleceu-se que por cada bit é enviado o seu valor lógico e o seu complemento.

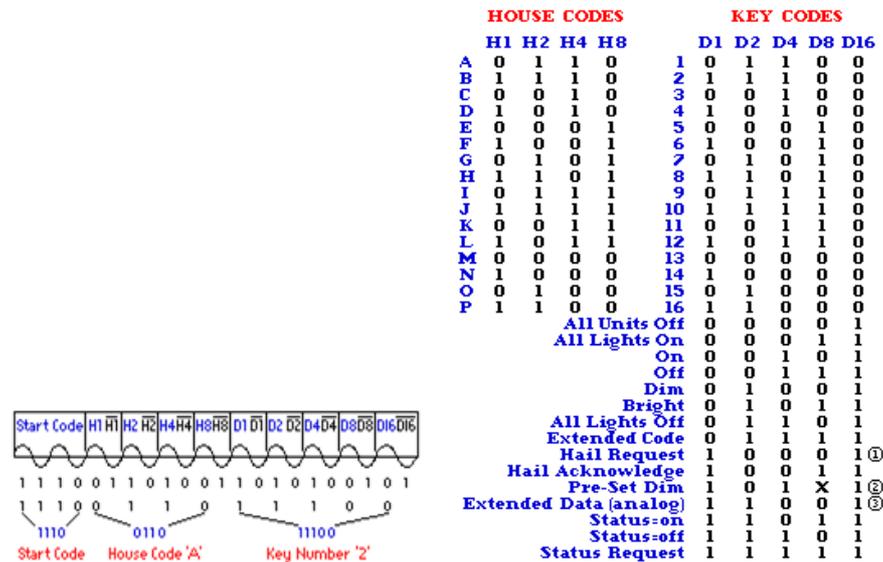


Figura 2.5 – Transmissão de códigos e exemplos (SmartHomeUSA).

O envio completo do código consiste na transmissão ao longo de onze ciclos em que os dois primeiros ciclos representam o *Start Code*, os quatro próximos ciclos representam o *House Code* e por fim, os últimos cinco ciclos representam o *Number Code* ou o *Function Code* dependendo do fim pretendido (SmartHomeUSA).

Vantagens:

- Simplicidade;
- Custo;
- Facilidade na instalação.

Desvantagens:

- Muito limitado devido à muito baixa taxa de transmissão e ao método de comunicação;
- Possíveis interferências com outros aparelhos ligados à rede elétrica de casa.

2.2.5 Comunicação por redes sem-fios Bluetooth

Bluetooth é uma tecnologia criada pela Ericsson em 1994, sendo caracterizada como pessoal e de curta distância, *Wireless Personal Area Network* (WPAN). Dentre outros aspectos foi destinada para substituir ligações por cabo. É a mais indicada para sistemas robustos, de baixo consumo, custo acessível e que usam curtas distâncias, além de ser compatível com outras tecnologias (Insteon, 2013). As especificações do Bluetooth foram desenvolvidas e licenciadas pela BSIG, Bluetooth Special Interest Group, constituído por empresas como Nokia, Ericson, Intel, entre outras, fazendo assim com que tenha uma boa aceitação por parte da comunidade tecnológica (Devmedia).

O Bluetooth pode ligar até oito dispositivos (um *master* e sete *slaves*) simultaneamente formando uma *piconet*, sendo improvável que interfiram entre si (ao contrário do que se pensa) uma vez que o Bluetooth usa uma técnica denominada FHSS, *Spread Spectrum Frequency Hopping*, que torna raro um dispositivo transmitir na mesma frequência que outro ao mesmo tempo. Uma *scatternet* é uma série de *piconets* interligadas. As *Scatternets* podem ser formadas quando um membro de uma *piconet* (o mestre ou um dos escravos) escolhe participar como um escravo numa segunda *piconet*. O dispositivo que participa em ambas as *piconets* pode retransmitir dados entre membros de ambas as redes *ad hoc* (Bluetooth SIG, c). A Bluetooth SIG lançou oficialmente o Bluetooth 5 em junho de 2016. No lado técnico, o Bluetooth 5 quadruplica o alcance, usando maior potência de transmissão e duplica a velocidade das versões anteriores, o que pode ser importante para aplicações IoT onde os nós estão conectados em toda a casa (Bluetooth SIG, a). Em 18 de julho de 2017 a Bluetooth SIG lançou oficialmente as especificações do modelo *mesh* da tecnologia. A especificação da rede mesh permite o uso de Bluetooth Low Energy (usado a partir do Bluetooth 4.0) para comunicações entre dispositivos de muitos para muitos, o que é útil na domótica, redes de sensores e outras aplicações (Bluetooth SIG, b).

Vantagens:

- Altas taxas de transmissão;
- Baixo consumo usando versões adequadas (Bluetooth Low Energy);
- São permitidas agora redes *mesh* que garantem a conexão de muitos dispositivos e fácil extensão do alcance.

Desvantagens:

- A largura de banda é baixa em comparação com Wi-Fi;

2.2.6 Comunicação por redes sem-fios Wi-Fi

Wi-Fi é uma tecnologia de rede sem-fios popular que é usada para fornecer redes sem fio e conexões de Internet. Foi introduzida em 1998 e é uma marca registrada da Wi-Fi Alliance que promove a tecnologia, padroniza-a e certifica produtos que a utilizam ([Wi-Fi Alliance](#)). É utilizada por produtos certificados que pertencem à classe de dispositivos de rede local sem-fios (WLAN), baseados na norma IEEE 802.11 que estabelece as normas para a criação e para o uso de redes sem-fios. Por causa do relacionamento íntimo com a sua norma, o termo Wi-Fi é usado frequentemente como sinónimo para a norma IEEE 802.11 ([Webopedia](#)). A flexibilidade do Wi-Fi é tão grande que se tornou viável a implementação de redes que fazem uso desta tecnologia em diversos lugares, devido à facilidade de utilização e à possibilidade de poder aceder a uma ligação de Internet banda larga em qualquer ponto de alcance da transmissão. Estes fatores e outros, podem também fazer com que haja uma alta diminuição de custos na implementação e manutenção de uma rede local ([Alecrim, 2008](#)). Em 14 de Junho de 2017, Wi-Fi Alliance introduziu um programa de certificação que traz redes Wi-Fi integradas e projetadas profissionalmente para novas casas. Da mesma forma que as novas casas são construídas com sistemas de iluminação e eletricidade bem planeados, os utilizadores beneficiarão de redes Wi-Fi com cobertura consistente de toda a casa ([Wi-Fi Alliance, 2017](#)).

A arquitetura IEEE 802.11 consiste em vários componentes que interagem para fornecer uma LAN sem fio que suporte a mobilidade da estação de forma transparente para as camadas superiores (Pothuganti and Chitneni, 2014). O modelo padrão IEEE 802.11 define três modos: um modo de infraestrutura, um modo *ad hoc* e um modo *mesh* (mistura de modo infraestrutura e modo *ad hoc*). No modo de infraestrutura, a rede sem-fios consiste em pelo menos um AP conectado à rede fixa e um conjunto de dispositivos (ou estações) de clientes sem-fios. Essa configuração é baseada na arquitetura celular onde o sistema é subdividido em células. Cada célula na IEEE 802.11 é controlada por uma estação base (chamada AP). Os dispositivos dentro de uma célula (ou BSS) executam o mesmo protocolo MAC e competem pelo acesso ao mesmo meio sem-fios compartilhado. A distância máxima entre estações (dispositivo e AP) é limitada por muitos fatores como a potência de saída, e as condições de propagação dos ambientes internos e externos. Para fornecer uma área de cobertura alargada, podem ser utilizados vários APs conectados através de um *backbone* chamado sistema de distribuição (Labioud et al., 2007).

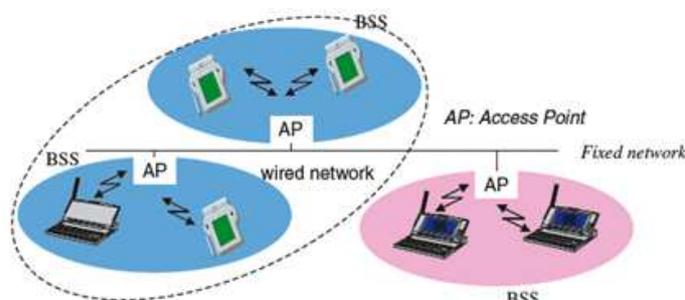


Figura 2.6 – Modo de infraestrutura em tecnologia Wi-Fi (Labioud et al., 2007).

No modo *ad hoc* os dispositivos sem fio comunicam diretamente entre eles sem ter uma conexão com um AP, ou uma conexão a uma rede fixa através de um sistema de distribuição. Essa configuração às vezes é referida como uma configuração *peer-to-peer*. Cada dispositivo pode estabelecer uma comunicação com qualquer outra estação na célula que é chamada célula independente. O modo *ad hoc* tem, no entanto, várias limitações como a segurança, as velocidades de transmissão mais baixas e impossibilidade de monitorizar a força do sinal (Mitchell, 2016).



Figura 2.7 – Modo de *ad hoc* em tecnologia Wi-Fi (Labioud et al., 2007).

Vantagens:

- Altas taxas de transmissão;
- Flexibilidade;
- Baixos custos de implementação e instalação;
- Fácil integração com outros dispositivos como computadores e telemóveis.

Desvantagens:

- Altos consumos de energia;
- Diminuição da largura de banda com a utilização de muitos dispositivos.

2.2.7 Comunicação por redes sem-fios Z-Wave

Z-Wave é uma tecnologia desenvolvida especialmente para automação residencial (domótica) pela empresa Zensys e é considerada uma das tendências para sistemas de automação residencial. Tem como intenção fornecer métodos simples e fidedignos para controlo sem-fios de luzes, ar-condicionado, sistemas de segurança, janelas,

portas ou garagens. É um protocolo de comunicação completamente sem-fios que usa uma largura da banda estreita para enviar comandos de controlo e, potencialmente, dados secundários (informações do tempo etc.). Usa um meio simples, fiável, de baixo consumo, de ondas rádio que facilmente viajam através das paredes, pisos e armários. Contudo, não tem largura da banda suficiente para transmissão de áudio ou vídeo ([Z-Wave Alliance](#)). Como outros protocolos e sistemas virados para a área da domótica, o sistema de automação Z-Wave pode ser controlado via Internet, por um gateway Z-Wave ou outro controlador central compatível. Existem mais de 1500 dispositivos Z-Wave desenvolvidos por várias marcas ([Pink, 2017](#)).



Figura 2.8 – Multi-sensor (temperatura, luminosidade, movimento e vibração) Z-Wave da marca Fibaro ([Smartliving](#)).

Z-Wave está desenhado para fornecer pacotes de dados certos, com baixa latência e com baixas velocidades, suficientes para aplicações que envolvem sensores e controlo. Usa modulação Manchester, onde a codificação não necessita de um sinal *clock* externo para a sua sincronização, o sinal sincroniza-se sozinho. Devido à natureza da modulação, a codificação é adequada para pequenas transferências de dados como RFID e NFC ([Z-Wave Alliance](#)). Este protocolo usa uma arquitetura *source-routed* de redes *mesh*, onde o transmissor de um pacote de dados especifica, parcialmente ou completamente, o percurso a ser percorrido na rede para chegar ao destino, e

onde os dispositivos usam nós intermédios para encaminhamento dos sinais. Os nós são adicionados à rede por emparelhamento ou adição e podem ser removidos pelo mesmo método. Cada rede tem um número identificador chamado *Network ID* ou *Home ID*, enquanto cada dispositivo, que é definido na rede como nó, tem um identificador único chamado *Node ID*, onde o *Network ID* é comum para todos *Node ID*'s (Mushtaq, 2016a).

Network ID	4 bytes - 32 bits
Node ID	1 byte - 8 bits

Tabela 2.2 – Identificadores dos dispositivos Z-Wave (Mushtaq, 2016a).

Vantagens:

- Possível monitorizar o local remotamente (pela Internet ou telemóvel);
- Utiliza a infra-estrutura existente;
- Instalação rápida, simples e barata: sem custo de instalação e alterações estruturais. Basta substituir os interruptores existentes por dispositivos Z-Wave.

Desvantagens:

- Baixa velocidade na transmissão dos dados, o que inviabiliza a transmissão de imagem, som e outros dados;
- Os sistemas têm uma limitação de alcance e cobertura do ambiente, exigindo o uso de repetidores ou mesmo cabos.

2.2.8 Comunicação por redes sem-fios Zigbee

ZigBee é um protocolo de rede introduzido pela ZigBee Alliance que assenta sobre a norma IEEE 802.15.4 para criar redes de área pessoal sem-fios com sinais de baixa

potência, baixa taxa de transmissão de dados e baixo custo de implementação. É mais utilizado na domótica, aquisição de dados de dispositivos médicos e outras aplicações que possam envolver baixos consumos e baixas taxas de transmissão. Destina-se a ser mais simples e menos dispendiosa do que outras redes de área pessoal sem-fios (WPANs), como Bluetooth ou Wi-Fi. Trata-se de uma rede *mesh* sem fio de baixa potência *ad hoc* usada para o desenvolvimento de redes de área pessoal. A faixa de transmissão pode ser de 10 a 100 metros, mas a faixa pode ser estendida usando características de rede de malha através de dispositivos intermediários. ZigBee foi concebido em 1998 e padronizado em 2003, sendo revisto em 2006 e 2007 (Farahani, 2008).



Figura 2.9 – Motor para cortinas inteligente Zigbee da marca Xiaomi (GearBest).

ZigBee é normalmente usado em aplicações que usam uma baixa taxa de transmissão de dados, que requerem longa vida útil da bateria e uma rede segura (as redes ZigBee são protegidas por chaves de criptografia simétricas de 128 bits). Os dispositivos ZigBee são de três tipos: ZigBee *Coordenador* (ZC), ZigBee *Router* (ZR) e ZigBee *End Devices* (ZED). ZC forma a raiz da rede ZigBee, atua como ponte para outras redes e armazena informações sobre a rede. ZR atua como *router* intermediário e passa os dados entre dispositivos. ZED comunica com o nó parente (ZC ou ZR), portanto, precisa de bateria de longa duração, assim como menos memória que os

outros tipos de dispositivos (Mushtaq, 2016b).

Neste protocolo podem ser usados vários tipos de tipologias de rede: Estrela, *Mesh* e *Árvore Cluster*. Na topologia em estrela, o coordenador PAN (*Personal Administration Network*), que pode ser simplesmente referido como coordenador ou *router*, é usado para a comunicação entre dispositivos e um controlador central único, o coordenador PAN é alimentado pela rede elétrica do edifício enquanto que os dispositivos são alimentados por bateria. Na instalação inicial, a rede escolhe um identificador PAN que não esteja a ser usado atualmente por qualquer outra rede perto da esfera de rádio de influência, logo, permite que cada rede em estrela possa operar independente. Na topologia *mesh*, os nós estão interligados com outros nós de maneira a que haja pelo menos duas conexões em cada nó e que as conexões entre nós sejam atualizadas dinamicamente. Cada nó é capaz de desempenhar as funcionalidades de *routing* e confiável para se conectar a outros nós, conforme necessário. A topologia de *Árvore Cluster* é uma rede *peer-to-peer* onde a maioria dos nós são FFD (*Full Function Devices* que desempenham a maioria das funções necessárias) do e os RFD (*Reduced Function Devices*) comunicam com a folha ou ramo da árvore (Tomar, 2011).

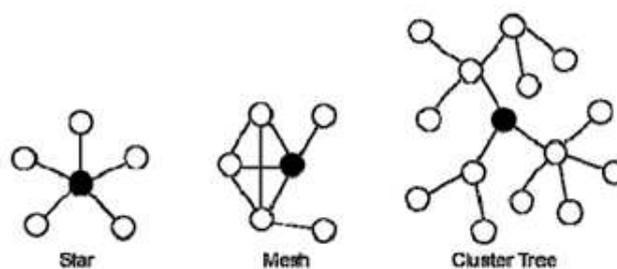


Figura 2.10 – Tipos de topologia em rede Zigbee (Tomar, 2011).

Vantagens:

- Simplicidade na configuração da rede;
- Baixos consumos dos dispositivos;

- Não há um controlador central e as cargas são distribuídas uniformemente em toda a rede;
- Facilidade na monitorização e controlo de aparelhos remotamente;
- A rede é escalável, sendo fácil adicionar ou remover dispositivos.

Desvantagens:

- Não é tão seguro como um sistema baseado em Wi-Fi;
- Alto custo na substituição e reparação de equipamentos compatíveis com o protocolo;
- A baixa transmissão de dados pode ser um ponto negativo se o objetivo for enviar grandes quantidades de dados como vídeo;

2.3 Comparação técnica dos protocolos de comunicação estudados

Para uma compreensão mais aprofundada dos protocolos estudados, na tabela [2.3](#) estão apresentados alguns dos aspetos técnicos de cada protocolo de comunicação estudados nesta dissertação.

Tabela 2.3 – Comparação técnica dos protocolos de comunicação estudados (KNX Association, b; Pau et al., 2017; Labiod et al., 2007; Mushtaq, 2016b,a; SmartHomeUSA; North Beach Consulting, 2003; Axiom).

Protocolos	Meio de comunicação	Máxima taxa de transmissão	RF	Alcance/ Distância entre nós	Dispositivos
KNX	Radiofrequência Par trançado Rede elétrica	9600 bps (par trançado)	868 Mhz	30 m	65536
Insteon	Radiofrequência Rede elétrica	13,165 kbps	868 Mhz	45 m	16777216
LonWorks	Rede elétrica Cabo coaxial	1,25 mbps (cabo coaxial)	N.A.	N.A.	248
X10	Rede elétrica	50 bps	N.A.	N.A.	256
Bluetooth	Radiofrequência	2 mbps	2,4-2,485 Ghz	100-200 m	8 por cada <i>piconet</i>
Wi-Fi	Radiofrequência	6,75 gbps (802.11ad)	2,4 Ghz; 5Ghz	50 m	253
Z-Wave	Radiofrequência	40 kbps	868,42 Mhz	30 m	232
Zigbee	Radiofrequência	250 kbps (2.4 Ghz)	868 Mhz; 2,4 Ghz	20 m	Aproximadamente 65536

2.4 Soluções de domótica comerciais

A maioria das soluções comerciais disponíveis no mercado integram a componente de hardware e software. Isto implica que quando queremos utilizar a aplicação móvel de um determinado fabricante somos obrigados a comprar os seus meios físicos para estabelecer comunicação com a aplicação. No entanto têm aparecido várias propostas que tentam diminuir este tipo de problemas.

2.4.1 SmartThings

SmartThings é uma empresa que desenvolve uma plataforma aberta para sistemas de domótica, mais propriamente controladores centrais (*hubs* ou *gateways*), uma plataforma *cloud*, aplicações para *smartphone* assim como certos sensores e atuadores. A empresa foi comprada pela Samsung em 2014. Assim, como a maioria dos sistemas mais recentes de domótica, o SmartThings permite controlar uma casa a partir de uma aplicação móvel, recorrendo a sensores e a um *hub* que permite interagir com os diferentes dispositivos (Pierce, 2015). O *hub* é a peça fundamental neste tipo de sistemas, neste caso, tem alta capacidade de processamento, suporta vídeo e consegue funcionar mesmo sem energia elétrica. Na comunicação suporta Zigbee, Z-Wave e dispositivos acessíveis por IP. O *hub* conecta assim os dispositivos à *cloud* através da Internet para depois serem acessíveis pela aplicação móvel (Kovach, 2014).

Um dos principais atrativos do sistema é dar aos utilizadores a capacidade de criar as suas divisões, seus próprios métodos e funções de controlo. Sendo possível assim criar "rotinas", por exemplo, desligar todas as luzes quando é detetado que o utilizador saiu de casa. Graças à aposta no selo "*works with SmartThings*", vários fornecedores estão disponíveis a fazer parcerias e a desenvolver dispositivos que funcionem diretamente com a aplicação. Mesmo que não comuniquem diretamente, é possível desenvolver aplicativos (*device handlers*, a representação virtual da parte física dos dispositivos) ou utilizar já existentes desenvolvidos pela comunidade para integrar o dispositivo na aplicação (SmartThings, b). Cada dispositivo na plataforma



Figura 2.11 – Pack Samsung SmartThings para iniciantes(Griffiths).

SmartThings possui "capacidades", que definem e padronizam atributos e comandos disponíveis para um dispositivo. Isso permite o desenvolvimento de aplicativos para um tipo de dispositivo, independentemente do protocolo de comunicação (Zigbee, Z-Wave ou acessível por IP) ou do fabricante.

Neste tipo de sistemas por *cloud* onde assenta a filosofia *Internet of Things* é integrado o serviço IFTTT (*if this then that*), que permite aos utilizadores desencadear eventos quando determinadas coisas acontecem em diferentes aplicativos da web. Fazendo assim com que seja sempre tentado separar a inteligência dos dispositivos conectados, deixando assim os dispositivos apenas responsáveis por executar as suas tarefas nativas, como abrir/fechar, ligar/desligar, entre outras. Mais recentemente foram desenvolvidas novas versões do *hub* pela Samsung que permitem fazer algumas ações localmente, sem necessidade de ligação à Internet ou sem necessidade de corrente elétrica graças ao suporte para bateria.

A aplicação funciona com dispositivos pré-definidos, ou seja, conforme o tipo de dispositivo adicionado este vai resultar num conjunto de atributos e comandos normalizados para o mesmo. Na figura 2.12 é especificada a arquitetura, onde se verifica que a plataforma utiliza um sistema de subscrição. Quando os eventos são

criados, eles não fazem inerentemente nada para além de anunciar que aconteceram. Em vez de eventos que desencadeiam a alteração, SmartApps são configuradas com inscrições que escutam eventos definidos. O objetivo da camada de subscrição é combinar eventos que são acionados pelos manipuladores de dispositivos com a SmartApp que está a ser usada. As SmartApps são executadas quando acionadas por subscrições, através de chamadas externas para *endpoints* da SmartApp ou por métodos agendados (SmartThings, a).

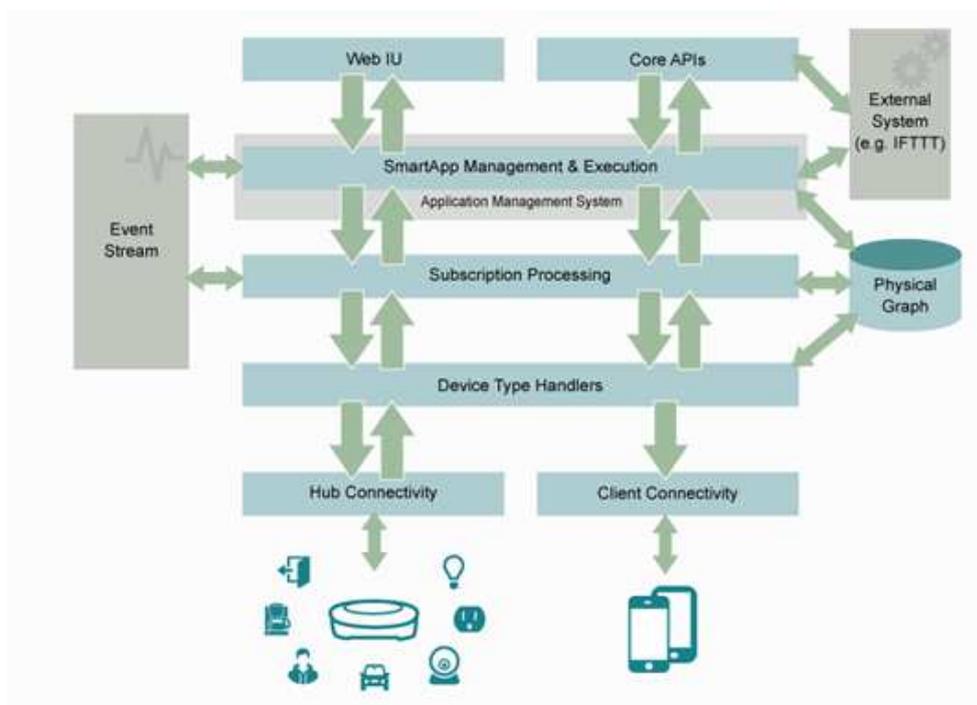


Figura 2.12 – Arquitetura de um sistema doméstico SmartThings (SmartThings, a).

De forma a facilitar a utilização e a navegação do sistema é utilizado um esquema de agrupamento dos dispositivos. Existem três tipos destes agrupamentos:

- Conta: a conta associada, que pode ser utilizada por várias pessoas;
- Locais: podem ser utilizadas várias casas ou são utilizados hubs diferentes por cada conta;
- Grupos: normalmente a divisão da casa onde estão inseridos os dispositivos.

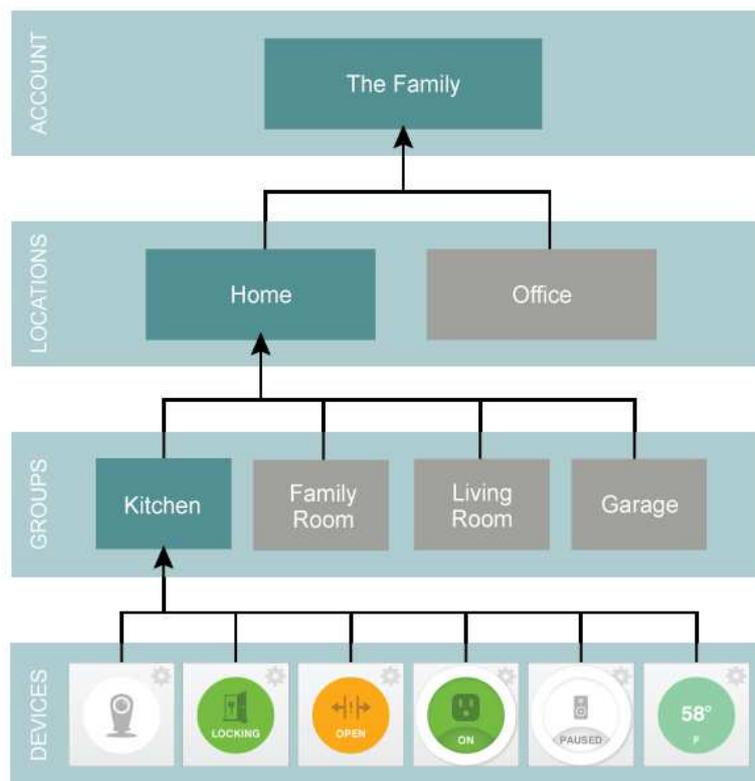


Figura 2.13 – Agrupamento de dispositivos num sistema domótico SmartThings (SmartThings, a).

2.4.2 Apple HomeKit

O HomeKit, desenvolvido pela Apple para o iOS anunciado em 2014, serve como uma *framework* que permite aos utilizadores configurar o iPhone para comunicar, configurar e controlar dispositivos inteligentes. Qualquer pessoa pode controlar dispositivos inteligentes com a aplicação, não sendo possível a integração de dispositivos antigos e não compatíveis com esta tecnologia. Os fabricantes de dispositivos habilitados para HomeKit necessitam comprar de uma licença e de serem aprovados pela Apple (Apple). A principal característica diferenciadora deste sistema é de apenas necessitar da aplicação móvel e de equipamentos com o selo "Works with Apple HomeKit", descartando assim a utilização necessária de um controlador central/*hub* específico, uma vez que outros produtos da Apple como o iPad podem

funcionar como tal, no entanto é apenas necessário um controlador central para controlo remoto ou para agendar eventos. A aplicação deteta dispositivos compatíveis que estejam na rede Wi-Fi e por Bluetooth, e é também possível integrar o *hub* da Insteon, tornando assim os dispositivos da Insteon compatíveis com o sistema (Gebhart and Wollerton, 2016).



Figura 2.14 – Aplicação Apple HomeKit (Wright).

Os dispositivos na aplicação estão separados por "rooms" ou criando grupos específicos. Os eventos automatizados ou agendados baseiam-se:

- Na localização do utilizador;
- Na hora;
- Noutro dispositivo que esteja a ser controlado;
- Quando um sensor deteta algo.

2.4.3 Meo Smart Home

O serviço MEO Smart Home é uma plataforma criada por a empresa portuguesa MEO e lançado em 2017. Trata-se de uma solução totalmente proprietária, onde a empresa fornece os equipamentos próprios e os serviços, e o funcionamento dos

mesmos é cobrado pelo recurso a mensalidades. A maioria dos equipamentos utiliza pilhas e usa como protocolo de comunicação proprietário, radiofrequência a 868 MHz, enquanto alguns equipamentos como câmaras utilizam Wi-Fi. Para o funcionamento do sistema é necessário o *gateway* com ligação à Internet (com a possibilidade de ligação à rede móvel complementar à rede fixa). O *gateway* contém a opção para alimentação por pilhas caso a energia falhe, o que aumenta a segurança e fiabilidade.

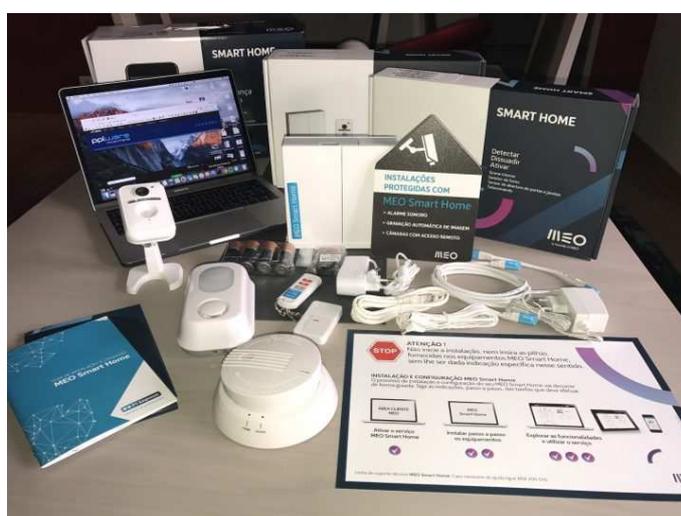


Figura 2.15 – Kit Smart Home da MEO (Pinto, 2017).

O pacote inicial é constituído por: um telecomando, sensor de abertura de portas e janelas, uma câmara de vídeo, sirene interior, um detetor de fumo, uma central de controlo, placa e autocolantes dissuasores. Existe ainda a possibilidade de adquirir mais dispositivos separadamente, que se adaptem às necessidades de cada utilizador, como lâmpadas e tomadas inteligentes, interruptores sem fios, sensores de humidade e temperatura. Toda a gama de dispositivos pode ser gerida e controlada através da plataforma web ou da aplicação móvel para Android e iOS, onde se podem executar as funcionalidades do sistema como consultar valores, consultar estados dos dispositivos, configurar alertas, consultar gravações, definir temporizações e definir perfis personalizados para grupos de dispositivos (Meo).

2.4.4 Sistemas de domótica *open-source*

No que toca a soluções *open-source* a maioria não representa soluções integradas, mas sim software capaz de ser implementado para executar funções de controlo doméstico. Os praticantes da filosofia DIY são normalmente os aderentes a estas aplicações, uma vez que são geralmente integradas com um computador pessoal ou um Raspberry Pi, necessitam normalmente de configurações manuais tanto para a interface do utilizador como para os dispositivos, e de recetores para certas tecnologias como Z-Wave ou Zigbee. No entanto estes sistemas oferecem a vantagem da flexibilidade, o custo e uma segurança mais fiável.

Um dos sistemas mais utilizados é o Home Assistant, que é projetado para ser facilmente implantado na maioria das máquinas que conseguem executar o Python 3, sendo mais comum um Raspberry Pi. Pode integrar uma série de dispositivos e funcionalidades, permitindo que se ligue, por exemplo, IFTTT, informações meteorológicas ou comandos de voz ([Baker, 2016](#)).

Entre outras opções deste tipo de sistemas encontram-se:

- Calaos;
- OpenHAB;
- Domoticz;
- OpenMotics.

2.5 Exemplos de dispositivos comerciais de domótica

A tendência que se observa nos dispositivos inteligentes de domótica é a oferta de serviços próprios de *cloud* e das suas aplicações móveis para controlo, principalmente em dispositivos que operam em Wi-Fi e Bluetooth. No entanto têm havido várias marcas que optam por fazer parcerias com sistemas como o SmartThings e o HomeKit.

2.5.1 Sonoff

O Sonoff é uma série de dispositivos inteligentes Wi-Fi, produzidos pela ITEAD e lançados em 2016, que fornece aos utilizadores um controlo inteligente dos aparelhos já presentes na casa por um custo muito baixo. Transmite dados para a *cloud* através do *router* Wi-Fi, que permite aos clientes controlar remotamente todos os aparelhos conectados através da aplicação móvel iOS/Android eWeLink, utilizando o servidor global da Amazon AWS como servidor. Esta aplicação é também compatível com comandos de voz como o Amazon Echo e termóstatos da Nest Labs. A oferta de dispositivos contém: lâmpadas inteligentes, interruptores de parede, dispositivos com sensores de temperatura e humidade, entre outros.



Figura 2.16 – Dispositivo domótico Wi-Fi Sonoff (ITEAD).

Este aparelho na figura 2.16 é alimentado por 90-250 VAC, é constituído por um relé que servirá de interruptor e um microcontrolador ESP8266 para comunicação Wi-Fi e controlo. Para a alimentação destes componentes é utilizado um conversor AC-DC para 5 V com recurso a um pequeno transformador. Na saída, este Sonoff mais básico consegue comutar uma corrente máxima de 10 A/2200 W. Na aplicação EWeLink é permitido executar várias funções básicas como: ligar/desligar remotamente os

dispositivos sem necessidade de *gateway* ou *hub*, estabelecer temporizações, partilhar o controlo com outros utilizadores, gerir grupos de dispositivos e criar cenários inteligentes como o estabelecimento da temperatura para uma casa, onde o interruptor ativa e desativa consoante a temperatura (ITEAD).

2.5.2 Termostato Nest

O Nest Learning Thermostat é um dos dispositivos mais bem-sucedidos relacionados com a domótica, é um termostato inteligente projetado por Fred Bould e desenvolvido pela Nest Labs, lançado em 2011. O dispositivo é um termostato eletrónico, programável e com ligação Wi-Fi que otimiza a climatização de casas e empresas para economizar energia. Baseia-se em algoritmos de *machine learning*: nas primeiras semanas o termostato é regulado manualmente para fornecer o conjunto de dados de referência. Depois pode então aprender o horário das pessoas, a que temperatura estão acostumados e quando. Usando sensores integrados e GPS de telemóveis, pode também mudar para modo de poupança de energia quando percebe que ninguém está em casa (Nest Labs; Pogue, 2011).

2.5.3 Tomada inteligente TP-Link HS110



Figura 2.17 – Tomada inteligente TP-Link HS110 (TP-Link).

Este tipo de tomadas inteligentes permite, com acesso a Internet, controlar remotamente equipamentos, temporizar e agendar ações (ligar e desligar). Neste caso, contém também um sistema de monitorização energética, que analisa o consumo do equipamento em tempo real e revela o seu histórico através das aplicações móveis fornecidas. Tem como potência máxima 3,68 Kw e utiliza Wi-Fi como protocolo de comunicação (**TP-Link**). Tem compatibilidade com comandos de voz Amazon Echo, sendo possível configurar manualmente a integração com o sistema open-source Home Assistant (**Home Assistant, b**).

Outras marcas com este tipo de dispositivos contêm por vezes vários sensores incluídos e a possibilidade de controlo sem a necessidade de ligar à Internet, utilizando outros protocolos como o Bluetooth (**BeeWi**). No caso da marca Fibaro é utilizado o Z-Wave como protocolo de comunicação, tem como vantagem não necessitar de Internet, mas é necessário um controlador, é também das poucas marcas que revela o consumo extra da tomada inteligente, que neste caso é no máximo 1,6 W (**Fibaro**).

2.6 Discussão das tecnologias estudadas

Após o estudo destas tecnologias de domótica, pode-se afirmar que existem vários benefícios associados à domótica. No entanto, apesar dos benefícios, a ascensão da domótica no mercado tem sido medíocre. Isto deve-se a fatores económicos, fatores humanos, que estão ligados à perceção do grau de utilidade e ao desejo das pessoas deste tipo de tecnologias. A existência de múltiplas marcas e tecnologias, incompatíveis entre si, também dificultou o processo de implantação.

A responsabilidade em uniformizar os sistemas tem tendência em cair em grandes empresas como a Samsung e a Apple, visto que ambas já mostraram interesse na área com vários produtos e aplicações. Destaque para o SmartThings da Samsung, que contendo um *hub* compatível com vários protocolos de comunicação, procura uma abrangente compatibilidade entre os mais variados produtos de diferente marcas.

Mesmo com esta luta entre grandes empresas, o mundo DIY para entusiastas apresenta várias soluções como o Home Assistant que disponibiliza um sistema pouco intuitivo e difícil de usar, mas com menor custos e bastante abrangente a nível de produtos domóticos e de tecnologias diferentes.

Atualmente, a maioria das soluções comerciais disponíveis no mercado integram sistemas de rede sem fios, visto que têm custos mais baixos e uma instalação mais facilitada. Apesar da introdução de tecnologias sem-fios, os custos ainda continuam altos para o utilizador comum. Tendo em consideração as soluções estudadas, conclui-se que a solução mais indicada, seria um sistema sem-fios com dispositivos de baixo custo baseado numa rede Wi-Fi. Deste modo, apresenta-se uma proposta para um sistema domótico no Capítulo 3.

3

Proposta de um sistema domótico

Neste capítulo será apresentada a arquitetura adotada para o sistema, a par dos casos de uso relativos ao sistema completo. De seguida, irão ser apresentadas as especificações sobre os dispositivos e comunicações utilizadas.

3.1 Arquitetura do sistema

Como já foi referido, o objetivo é o desenvolvimento de um sistema de domótica sem-fios, para tal foi pensado o sistema ilustrado na figura 3.1. O sistema é dividido em duas partes: dispositivos I/O e a sua comunicação com o dispositivo central (Raspberry Pi) e a interface com o utilizador (projeto desenvolvido noutra dissertação).

Nos dispositivos I/O controlados por microcontroladores, descrevem-se as seguintes funcionalidades:

- Registo no sistema: aquando a instalação, o dispositivo terá a capacidade de se registar automaticamente na base de dados do sistema central;
- Envio de dados de sensores: deverão ser enviados dados recolhidos pelos

sensores periodicamente para o servidor;

- Alteração do estado dos atuadores: o dispositivo deverá controlar o estado dos atuadores, neste caso relés, tanto por comandos enviados pelo servidor como por botões de pressão presentes no próprio dispositivo.

Com estas funcionalidades implementadas nos dispositivos será possível ao utilizador executar funções como ligar/desligar luzes, controlar estores e manipular portas e portões. Recorrendo aos sensores será também possível observar dados recolhidos por sensores de temperatura, humidade, e receber notificações de alarmes técnicos que permitem detetar intrusões e anomalias, como inundações, fugas de gás ou incêndios.

Tendo em conta a figura 3.1, a rede criada pelo Raspberry Pi segue uma topologia em estrela, onde todos dispositivos comunicam apenas com o Raspberry Pi e nunca entre si. Os dispositivos estão ligados à rede criada pelo Raspberry Pi, efetuando envio de dados quando necessário, ou para receber pedidos do utilizador via Raspberry Pi. Para a interação entre o utilizador e o sistema é usada uma aplicação web alojada no Raspberry Pi que pode ser acedida através da sua rede local e, a partir daí, o utilizador pode usufruir das funcionalidades principais do sistema como ligar/desligar, criar temporizações e consultar leituras de sensores. No entanto também é possível alterar o estado dos atuadores nos dispositivos através de botões de pressão. É a partir da aplicação web que são efetuados os registos manuais dos sensores, atuadores, microcontroladores e alarmes, assim como a receção de notificações.

A informação de todos os elementos presentes na rede fica armazenada numa base de dados, que se encontra alojada também no Raspberry Pi. Cada vez que é efetuada uma alteração de estado de algum elemento na rede, após estabelecida a comunicação com o servidor, é alterada a devida informação na base de dados, existindo também um sistema de *logs* que guarda as alterações e erros que ocorreram no sistema.

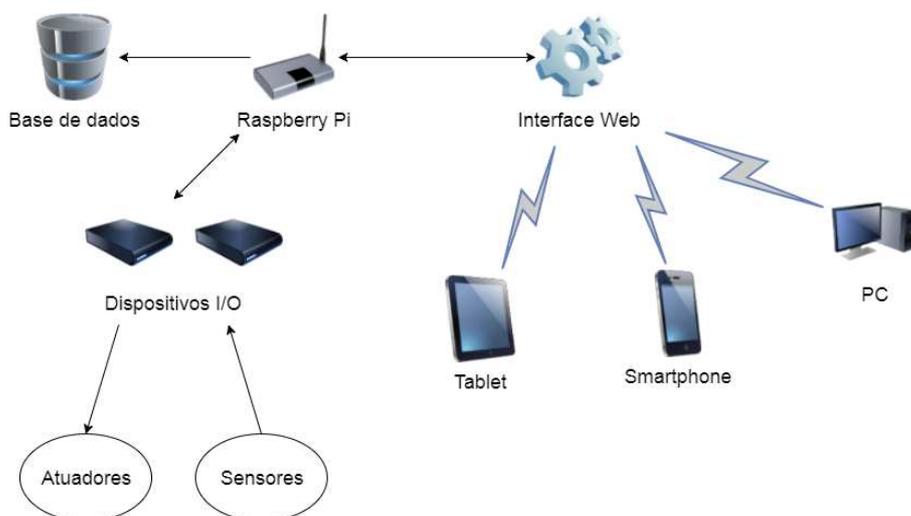


Figura 3.1 – Arquitetura do sistema doméstico.

3.2 Casos de uso

As funcionalidades disponíveis no sistema apresentam-se através dos casos de uso da solução. Com recurso a narrativas de texto e com o apelo a ilustrações fornece-se uma noção mais elucidativa das funcionalidades e interação do utilizador com o sistema.

Analisando a figura 3.2, as funções do utilizador como ator são as funções que podem ser executadas através aplicação web em tempo real, enquanto as funções da aplicação web como ator são funcionalidades autónomas.

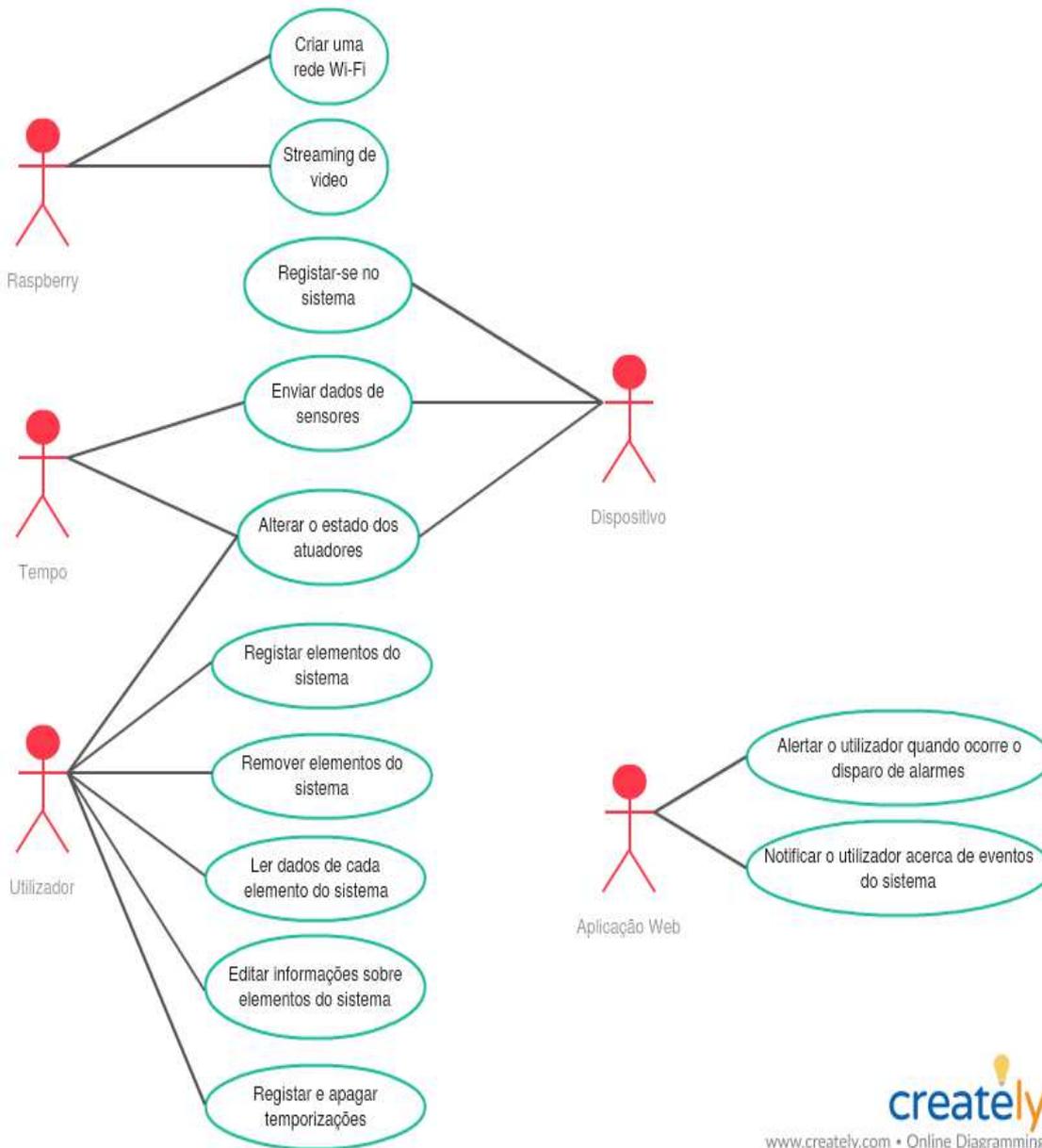


Figura 3.2 – Casos de uso do sistema.

3.3 Comunicação no sistema domótico

O sistema utiliza a pilha protocolar TCP/IP sendo o protocolo a nível da camada física e de ligação ponto a ponto suportado pelo Wi-Fi (IEEE 802.11), facilitando

a integração e desenvolvimento dos dispositivos na rede do Raspberry, tendo este uma antena de Wi-Fi incorporada. Como é utilizado o IP (*Internet Protocol*), cada dispositivo I/O é identificado através do seu endereço IP, mas também pelo seu endereço MAC com um número de identificação associado, ficando este último campo denominado MACID.

O envio e troca de mensagens entre os dispositivos e o servidor é efetuado através de pedidos HTTP, mais concretamente pedidos POST, que enviam os parâmetros necessários para o pedido em questão no conteúdo da mensagem. Esses parâmetros são constituídos pelos identificadores referidos anteriormente, pelo estado do atuador ou pelo valor do sensor/alarme dependendo do tipo de pedido efetuado, apresentado com mais detalhe no anexo A as situações previstas. Os parâmetros são codificados em JSON (*JavaScript Object Notation*), que é um formato de texto humanamente legível para transmitir conjuntos de dados que consistem em pares atributo-valor(es). Como está descrito no protocolo realizado no anexo A, no caso de falha de comunicação, erro na base de dados ou outro tipo de erro que impeça o sucesso do pedido efetuado, é seguido uma série de regras como um número de tentativas para determinadas ações ou mensagens de erro apresentados ao utilizador.

3.4 Unidade de processamento nos dispositivos I/O

Existem várias opções de placas com microcontroladores para o desenvolvimento deste tipo aplicações: Arduino, ESP8266, Waspote, LaunchPad, entre outros. Foi escolhido o ESP8266 devido ao seu baixo custo (aproximadamente 3 a 5 euros), diferentes opções para *boards* com alta capacidade de memória, compatibilidade com o IDE do Arduino e antena Wi-Fi integrada.

ESP8266 pode ser definido como uma solução para acesso a redes sem-fios Wi-Fi desenvolvido pela Espressif, tendo também sido desenvolvidos SDKs, tanto oficiais como por terceiros. Mais especificamente, o ESP8266EX é um sistema no chip (SoC)

com recursos para Wi-Fi de 2,4 GHz (802.11 b/g/n, suportando WPA/WPA2), com possibilidade de utilizar uma interface periférica serial (SPI), interfaces I²S com acesso direto à memória (DMA), UART em pinos dedicados e modulação da largura do pulso (PWM). Os módulos mais utilizados possuem uma ROM de inicialização de 64 KB, RAM de instruções de 64 KB e RAM de dados de 96 KB.

Existem diversos módulos e placas desenvolvidas por fabricantes com as suas vantagens e desvantagens. Na tabela 3.1 são apresentados alguns dos principais módulos que são compatíveis com a arquitetura desenvolvida nesta dissertação.

Módulo	Ai-Thinker ESP-01	Ai-Thinker ESP-12	Wemos D1 R2	NodeMCU v0.9	NodeMCU v1.0
Pinos I/O	2	11	11	11	11
ADC	0	1	1	1	1
USB para serial	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Tamanho	Pequeno	Pequeno	Grande	Grande	Médio

Tabela 3.1 – Tabela de comparação de módulos ESP8266.

3.5 Alimentação dos dispositivos

No que toca à alimentação dos dispositivos existem três possibilidades principais que foram tidas em conta: Acoplamento capacitivo sem necessidade de transformador, conversor *step-down* AC-DC com transformador e bateria. De seguida serão apresentadas algumas características e respetivas vantagens e desvantagens de cada opção.

3.5.1 Acoplamento capacitivo

Gerar baixa tensão em corrente contínua é necessário para aplicações que envolvem microcontroladores. O acoplamento capacitivo oferece uma solução de baixo custo e de pequenas dimensões. Este tipo de circuitos, como é representado na figura 3.3, são normalmente constituídos por uma ponte retificadora, uma resistência adequada

que limita a corrente e a dissipação, um diodo Zener funcionando como regulador de tensão básica, um condensador para filtragem e outro condensador na entrada. Ao usar o condensador de entrada como impedância de entrada a eficiência é superior, porque a corrente não se está a perder por dissipação de calor como acontece no caso de uma impedância de entrada resistiva. Em vez disso, a carga é armazenada no condensador sem perdas e, em seguida, descarregada sem perdas (Condit, 2004).

Como já foi referido, este tipo de circuitos é vantajoso em relação ao custo e dimensões. No entanto não é aconselhável para aplicações com microcontroladores com altos consumos e que utilizem relés, uma vez que este tipo de solução não fornece uma corrente suficiente. Outro problema é o facto do circuito não ter isolamento da linha de tensão em corrente alternada, o que introduz alguns problemas de segurança (Designer Circuits).

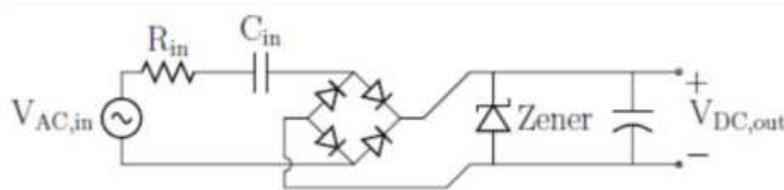


Figura 3.3 – Circuito retificador capacitivo (Designer Circuits).

3.5.2 Conversor *step-down* AC-DC com transformador

Neste tipo de fontes de alimentação existem muitas abordagens, sendo a mais popular e de menor custo, as fontes comutadas (SMPS), especificamente as que usam topologia Flyback. Este tipo de circuito, muitas vezes referido como *Ringling Choke Converter* (RCC), devido à sua robustez, simplicidade e necessidade de poucos componentes é bastante utilizado em aplicações fixas e de baixa potência, como por exemplo carregadores de telemóvel ou outras aplicações de baixo custo. Outras das características vantajosas são o isolamento galvânico graças ao transformador e intervalos abrangentes de tensão de entrada, tornando este tipo de circuitos universais (T. Irving and Jovanovic, 2002; Ryu, 2014).

3.5.3 Alimentação por bateria

Na era da IoT, um dos maiores desafios é a alimentação, sendo a maioria dos dispositivos alimentados por bateria por razões de custo, conveniência ou a necessidade de portabilidade. Apesar das dimensões reduzidas e, portanto, da capacidade da bateria, muitos dispositivos IoT perspetivam longas vidas operacionais (de alguns dias para possivelmente vários anos) sem a necessidade de substituição da bateria, no entanto, esta opção pode ficar cara e nem sempre é viável. A maneira mais eficaz de melhorar a duração da bateria de um dispositivo IoT é diminuir a energia consumida pelos componentes de hardware constituintes. O que significa que a escolha de hardware para o dispositivo irá ser limitada, assim como as funcionalidades do dispositivo.

Ao longo da última década, obter energia a partir de, por exemplo, energia solar fotovoltaica, surgiu como uma opção atrativa e cada vez mais viável, tendo a possibilidade de tornar os dispositivos auto-suficientes. No entanto este tipo solução só se aplica a dispositivos que tenham a possibilidade de obter esse tipo de energia sem comprometer a viabilidade dos dispositivos desenvolvidos ([Jayakumar et al., 2014](#)).

4

Implementação de um protótipo

Neste capítulo são apresentadas as ferramentas utilizadas na implementação de um protótipo tendo em conta os requisitos definidos anteriormente. É explicado o dispositivo domótico e todos os seus componentes, incluindo o microcontrolador utilizado, a comunicação, o código e a alimentação.

4.1 Microcontrolador

A função do microcontrolador é o de controlar os relés através de botões nos pinos GPIO ou pedidos HTTP via Wi-Fi, ler sensores e comunicar todas as ocorrências no dispositivo. Na implementação do dispositivo o módulo de ESP8266 utilizado foi o NodeMCU v1.0. Esta placa utiliza o módulo ESP-12E em conjunto com uma série de componentes para facilitar o desenvolvimento de aplicações, sendo as principais características a memória *flash* com capacidade para 4MB e uma interface USB para comunicação série ([NodeMcu Team, 2014](#)). Como linguagem de programação o *firmware* usa Lua, desenvolvido por entusiastas numa coleção de componentes de *software* que permitem programar os chips ESP8266 em C/C++ no IDE do Arduino, sendo que este se tornou na principal plataforma de desenvolvimento para

aplicações que envolvem os mais variados chips e módulos ESP8266, incluindo a placa NodeMCU. Assim, muitas das bibliotecas e funções utilizadas no Arduino podem ser utilizadas neste microcontrolador, abrangendo e facilitando assim o desenvolvimento da aplicação pretendida (Arduino Team).

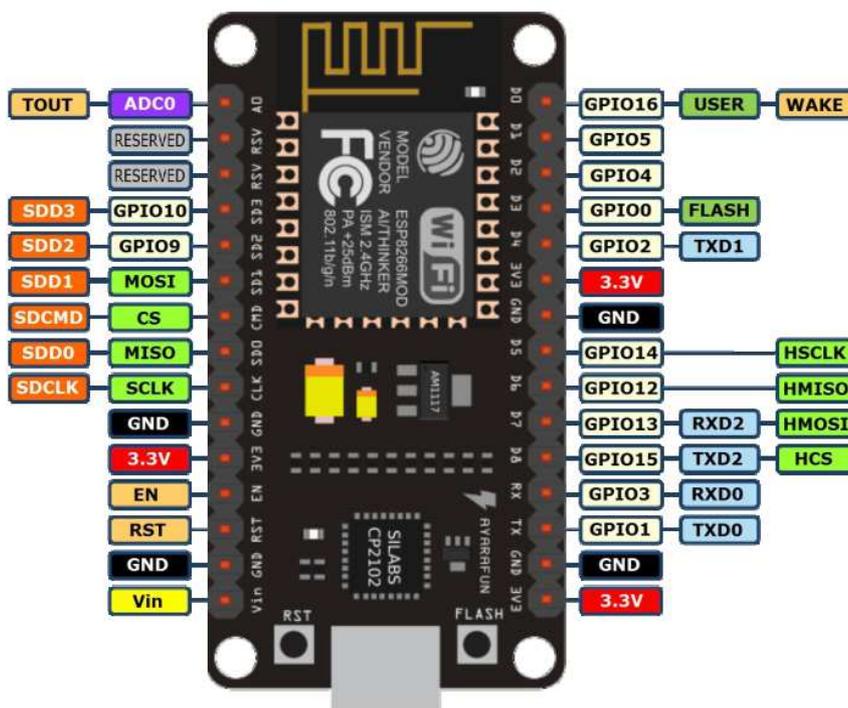


Figura 4.1 – Pinout da board NodeMCU com o microcontrolador ESP8266 (Singh, 2016).

4.1.1 Entradas e saídas

Para projetar as funções do microcontrolador e o funcionamento do dispositivo no geral foi necessário projetar as ligações da placa NodeMCU ESP8266. Na tabela 4.1 estão demonstradas os pinos principais e ligações entre os vários componentes do dispositivo, não estando representados os pinos com funções específicas que não são utilizadas neste projeto como o *reset* do microcontrolador ou para SPI, uma interface de comunicação série síncrona.

Este mapeamento passou por várias versões até chegar ao formato mais solidificado e otimizado. A ideia inicial foi ter quatro atuadores por cada dispositivo, no

Tabela 4.1 – Tabela do mapeamento das entradas e saídas no microcontrolador.

ADC (pino 17)	Sensor analógico de temperatura LM35
GPIO 1	Reservado para transmissão de dados (Tx) na comunicação serial, não sendo recomendável utilizar para uso comum.
GPIO 2	Ligado a Vcc (3,3 V) da board para garantir o arranque do microcontrolador pela memória <i>flash</i> .
GPIO 3	Reservado para recepção de dados (Rx) na comunicação serial, não sendo recomendável utilizar para uso comum.
GPIO 4	Atuador 1.
GPIO 5	Atuador 2.
GPIO 12	Botão de pressão para alterar estado do atuador 1 usando interrupções.
GPIO 13	Alarme técnico.
GPIO 14	Botão de pressão para alterar estado do atuador 2 usando interrupções.
GPIO 15	Ligado a <i>ground</i> da <i>board</i> para garantir o arranque do microcontrolador pela memória <i>flash</i> .
GPIO 16	Reservado para a possibilidade no futuro de implementar modos <i>sleep</i> . Utiliza também o LED interno.

entanto nem todos os pinos suportam interrupções. Os interruptores associados individualmente aos atuadores utilizam essas interrupções. Ao utilizar o interruptor é executado o código pretendido, que neste caso irá mudar a variável relacionada com o atuador, alterando conseqüentemente o estado do relé que estaria noutra pino, e de seguida enviar a mudança efetuada para o servidor. Para além desse fator, a utilização dos pinos 0, 2 e 15 provocavam erro no arranque do microcontrolador, uma vez que estes são necessários para o arranque adequado a partir da memória *flash*. Este problema do número de pinos disponíveis para os atuadores e respetivos botões/interruptores poderia ser resolvido com um expensor de portas como o MCP23017.

4.1.2 Sensores e atuadores

Como exemplo de um sensor analógico, foi usado o sensor de temperatura LM35, uma solução simples para utilizar na porta analógica. É um dispositivo de temperatura constituído por um circuito integrado de precisão com uma tensão de saída diretamente proporcional à temperatura em centígrados com uma escala de $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. O sensor não requer qualquer tipo de calibração para fornecer uma precisão de $1/4$ $^\circ\text{C}$ na temperatura ambiente, opera entre 4 e 30 V, consome apenas $60 \mu\text{A}$ e tem um baixo aquecimento ([Texas Instruments, 2016](#)).

O sensor liga diretamente ao pino da porta analógica da *board* NodeMCU. Uma vez que o ADC do microcontrolador tem 10 *bits* e como tensão de entrada entre 0 e 1 V, os valores lidos são mapeados entre 0 e 1023 ([Espressif, 2015](#)). No entanto a *board* NodeMCU contém um divisor resistivo entre o pino e o ADC que torna 3,3 V o valor de referência correspondente a 1023, i.e. o valor mais alto possível. Isto é necessário para a conversão do valor analógico para um valor digital correto e coerente.

Outros sensores analógicos compatíveis com esta abordagem seria o sensor de temperatura TMP36 com semelhante funcionamento ao LM35, e os vários tipos de termístores (PTC ou NTC), dispositivos elétricos que têm a sua resistência elétrica alterada termicamente e podem ser usados como sensores temperatura. De modo semelhante, fotoresistências (LDR), cuja resistência varia conforme a intensidade da luz incidida também poderiam ser incorporadas no dispositivo. Como sensor digital, um dos mais usados é DHT11 que lê temperatura e humidade, no entanto para este dispositivo seria necessário utilizar uma das portas da comunicação serial (Tx e Rx) do microcontrolador para utilizar este tipo de sensor.

O alarme técnico nesta dissertação é definido como uma situação onde um sensor digital comunica uma alteração de estado, de desativado para ativado ou de *low* e *high*, sendo que normalmente este tipo de sensores têm a possibilidade de calibrar a sensibilidade através de resistências ou potenciômetros. A entrada do microcontrolador a qual este sensor está ligado está associada a uma interrupção, esta é ativada quando deteta que houve uma alteração de estado de desativado (0) para ativado

(1) e executa o código que muda uma determinada variável, que conseqüentemente faz com que seja executado logo de seguida o envio do acontecimento para o servidor. Neste projeto não foi implementado nenhum sensor em específico, foi apenas simulado na *breadboard* utilizada com ligações manuais à terra.

Alguns dos sensores que poderiam ser utilizados como alarme técnico no dispositivo seriam:

- Sensor PIR de movimento: É um sensor eletrônico que mede a luz infravermelha (IR) que irradia de objetos em seu campo de visão, sendo mais aplicado como detetores de movimento. Um bom exemplo de baixo custo deste tipo de sensores seria o HC-SR501;
- Sensor de chama/incêndio: São sensores de infravermelhos usados para detecção de fogo a curto alcance e podem ser usados para monitorizar projetos ou como uma precaução de segurança para cortar dispositivos. Existem vários módulos de placas que constituem o sensor de infravermelhos e outros componentes para uma incorporação nos projetos mais facilitada, tendo também dois tipos de saída, analógica e digital;
- Sensor de gás e fumos MQ-2: com um funcionamento semelhante aos sensores de chama, este tipo de sensor consegue detetar fumo e vários gases inflamáveis como butano, propano, hidrogénio, metano, GPL e álcool, onde a diferenciação dos gases seria pela resistência do sensor em cada tipo de gás caso seja usado a saída analógico;
- *Reed switch*: consiste num par de contactos de metal ferromagnético revestidos em vidro hermeticamente fechado. Os contactos podem estar normalmente abertos, fechando quando um campo magnético está presente, ou normalmente fechados e abertos quando um campo magnético é aplicado (Graf, 1974). Pode ser utilizado para monitorizar janelas e portas, funcionando como um sensor de proximidade.

Para atuadores foi implementado um módulo com relés alimentado a 5 V que

opera como interruptor dos aparelhos eletrônicos ligados aos mesmos. No caso do relé eletromecânico, a comutação é realizada alimentando-se a bobina do mesmo. Quando uma corrente originada no primeiro circuito passa pela bobina, um campo eletromagnético é gerado, acionando o relé e possibilitando o funcionamento do segundo circuito. Sendo assim, a aplicação do relé é usar baixas tensões e correntes para o comando no primeiro circuito, isolando o primeiro circuito das possíveis altas tensões e correntes a circular no segundo circuito, que serão os aparelhos que se pretendem desligar e ligar.



Figura 4.2 – Módulo de relés usado na implementação do sistema domótico, adaptado de [Anusha \(2017\)](#).

O módulo utilizado contém optoacopladores que têm como função isolar o resto do circuito ligado ao módulo de possíveis picos de voltagem, assim como possíveis interferências provenientes de ruídos da ligação em corrente alternada no outro lado dos relés. Os relés têm como tensão máxima 250 V em corrente alternada e corrente máxima de 10 A. Um relé deste tipo tem três ligações no lado do segundo circuito: comum (COM), normalmente aberto (NO) e normalmente fechado (NC). Quando o sinal é aplicado a um dos pinos próprios do módulo pelo microcontrolador, o relé respectivo irá mudar de NC para NO. Implementou-se um candeeiro usando o fio fase do mesmo, cortando-o e ligando uma ponta na ligação e comum e outra na ligação NO, sendo assim preferível uma vez que o candeeiro só será ligado ocasionalmente.

4.2 Fonte de alimentação

Na alimentação elétrica do microcontrolador e restantes componentes do dispositivo são usados 5 V fornecidos por um módulo conversor *step-down* AC-DC representado na figura 4.3 com recurso a um pequeno transformador. Basicamente, este módulo de baixo custo recebe 230 VAC provenientes da instalação elétrica da casa e converte para 5 VDC.

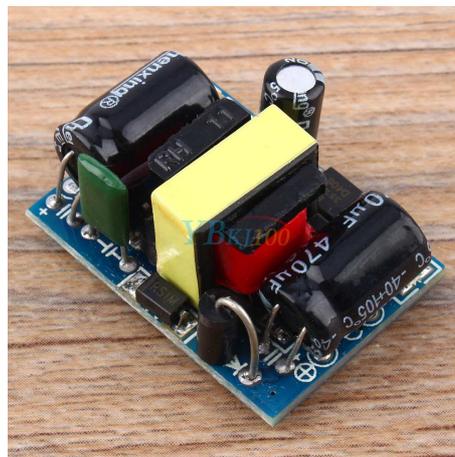


Figura 4.3 – Fonte de Alimentação usada nos dispositivos do sistema domótico, adaptado de [Industry Mall \(2017\)](#).

Algumas das características principais são:

- Tensão de entrada entre 85 e 265 VAC ou entre 100 e 370 VDC;
- Frequência: 50/60 Hz;
- Tensão de saída a 5 V (± 0.2 V);
- 700 mA de corrente máxima;
- 3.5 W de potência;
- 80 % de eficiência;
- Dimensões: 3 x 2 x 1.8 cm.

Este módulo alimenta a placa de relés diretamente nos pinos dedicados e a placa NodeMCU através do pino Vin, onde contém uma entrada para um regulador de tensão que regula a tensão para os 3,3 V que o ESP8266 precisa. Tendo o regulador uma tensão de entrada máxima de 20 V, seria possível alimentar o microcontrolador com outro tipo de fonte alimentação com voltagem diferente, como uma bateria de 9 V por exemplo, mas como é preciso alimentar a placa de relés a 5 V e outros sensores que sejam usados, e por outras razões antes discutidas, optou-se por esta solução fixa com o módulo a alimentar a placa de relés, a placa NodeMCU e potencialmente no futuro sensores caso seja necessário.

4.3 Algoritmo implementado

A nível de software implementou-se essencialmente no microcontrolador ESP8266 via USB, utilizando o ambiente de desenvolvimento do Arduino e bibliotecas *open-source* que permitem implementar código que recorre às funções e bibliotecas do Arduino, executando diretamente no ESP8266 e sem necessidade de um microcontrolador externo ([Arduino Team](#)). Como mostra a figura 4.4, o microcontrolador após o *boot* executa a função *setup* que é executada apenas uma vez, seguindo-se pela função *loop* que é executada num ciclo infinito.

Na ligação à rede local Wi-Fi é configurado o nome da rede (SSID), a password e é adquirido o IP, tudo através de funções pré-definidas nas bibliotecas referidas anteriormente. O programa só passa à fase seguinte se a ligação à rede for bem-sucedida. Nesta fase é também iniciado o servidor HTTP, que irá ser utilizado para receber os pedidos HTTP vindos da aplicação web.

Na configuração das portas, define-se quais são as entradas e saídas, assim como as portas onde podem ocorrer as interrupções pretendidas.

De seguida o dispositivo verifica se está registado na base de dados do sistema. Para isso lê as primeiras duas posições da EEPROM, uma memória não volátil presente no microcontrolador. Assim é construído o número inteiro que será o

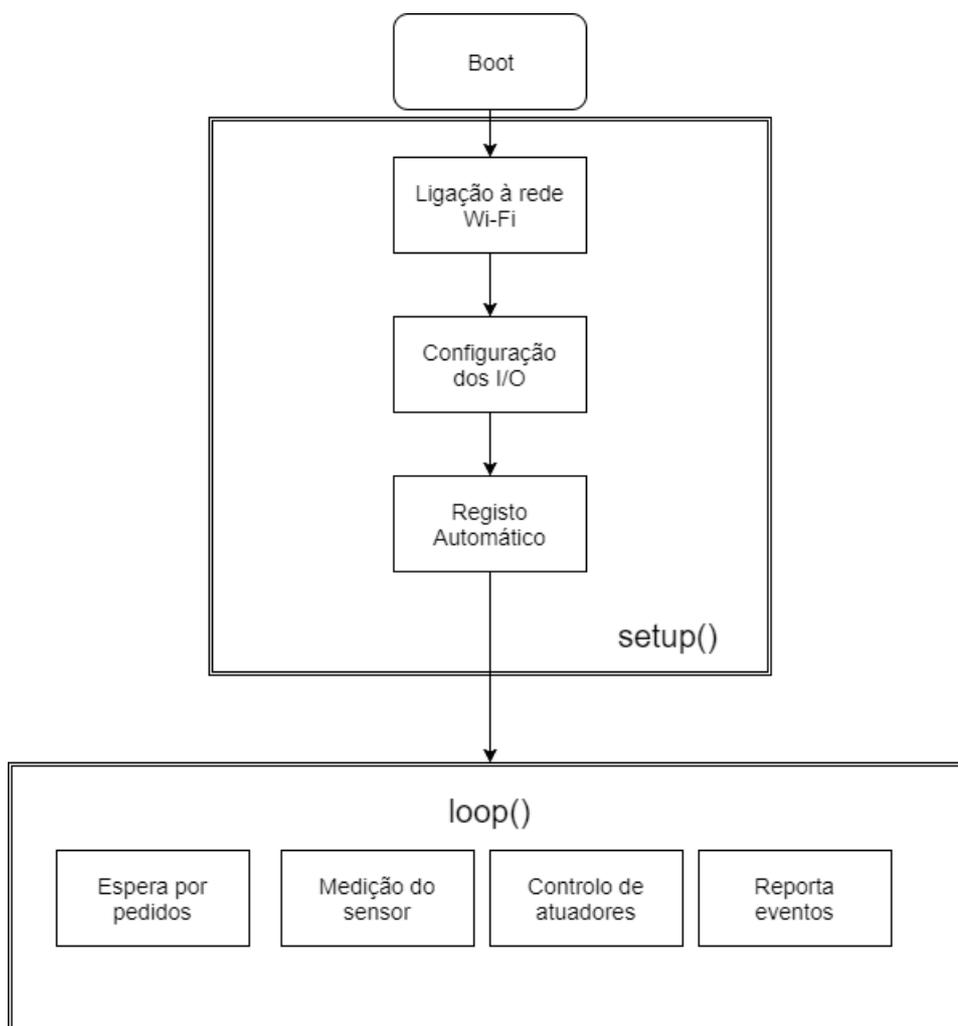


Figura 4.4 – Esquema do algoritmo implementado.

número identificador (ID) a partir dessas duas primeiras posições, uma vez que uma variável do tipo inteiro neste ambiente é constituída por 16 *bits*, ou seja, dois *bytes*. Depois é iniciada uma ligação ao servidor fazendo um pedido HTTP do tipo POST, enviando os dados necessários, IP, endereço MAC e ID, para uma página PHP dedicada para esta ação. Se o número identificador enviado for 0, o sistema irá detetar que o dispositivo é novo e irá efetuar um novo registo automaticamente, senão fará a atualização. O dispositivo fica à espera de uma resposta consoante a ação que o servidor tomou e irá guardar na EEPROM o novo ID. Caso não seja estabelecida com sucesso a conexão ao servidor ou a resposta do mesmo aos

pedidos não seja recebida, o processo é repetido, caso seja recebido uma mensagem de sucesso, o programa prossegue para a função *loop*.

Cada dispositivo tem três campos de identificação únicos e necessários. O endereço IP é essencial para comunicação com o servidor, enquanto que o endereço MAC e o ID são campos específicos para uma determinada funcionalidade do sistema. Utilizando esses dois campos torna possível a substituição de um dispositivo de uma forma mais simples, uma vez que basta programar o novo dispositivo com o ID do dispositivo antigo, assim, na operação do registo automático o servidor irá detetar que se trata de uma substituição e irá atualizar o endereço MAC do novo dispositivo, mantendo as outras características e historiais intactos na base de dados.

Dentro do ciclo (função *loop*), o servidor web do microcontrolador fica disponível para receber pedidos, ficando também outras funcionalidades do dispositivo principais disponíveis. Na interpretação dos pedidos recebidos são seguidos os seguintes passos: é tido em conta apenas o conteúdo da mensagem que contém o objeto JSON com as variáveis do pedido pretendido, depois de passar a mensagem para um objeto JSON e de seguida atualizar as variáveis, é enviada uma mensagem de sucesso para o servidor.

Nesta fase é também atualizado o *timer* que utiliza a biblioteca *Timer.h*, que permite que seja executado outras porções do código enquanto o tempo é cronometrado, ao contrário da função *delay()* do Arduino ([Monk](#)). Quando é detetado que foi passado 1 minuto, é efetuado uma medição à porta analógica e são enviados os dados para o servidor através de um pedido HTTP como todas as comunicações entre servidor e dispositivos feitas neste sistema.

Para além das funcionalidades já explicadas, no ciclo é também onde são verificados os valores das variáveis correspondentes ao alarme técnico, botões e respetivos atuadores. Ao verificar as variáveis booleanas dos botões, caso sejam TRUE, a alteração do estado do atuador é comunicada ao servidor e a variável do estado do atuador é alterada, passando depois a variável do botão para FALSE. Consequentemente são verificadas as variáveis do estado dos atuadores e serão aí postas as

alterações em prática. Acontece algo semelhante com o alarme técnico, quando o sensor envia um pulso HIGH para o microcontrolador é alterado o estado de uma variável dedicada e de seguida é comunicado o acontecimento ao servidor, sendo depois revertido o estado da variável para o estado inicial.

No envio de pedidos está implementado um sistema que verifica a criticidade do pedido a ser enviado. Assim, quando o sensor de temperatura deteta valores muito altos ou quando o alarme técnico é ativado, o número de tentativas até o pedido contendo essas informações ser descartado é superior ao de um pedido normal.

O funcionamento é também constituído por outras funções específicas não referenciadas na totalidade anteriormente. As funções são as seguintes:

- `DebounceA()`. Função que pode ser ativada por uma interrupção provocada pelo alarme técnico, mudando o estado da variável em questão para depois o dispositivo comunicar a ocorrência ao servidor. As mudanças de estado que ocorram durante apenas 200 ms ou menos serão ignoradas;
- `JsonData()`. Esta função acaba por ser um conjunto de métodos com o mesmo nome, mas com argumentos e finais diferentes, a esta prática chama-se *function overloading*. A função tem como objetivo utilizar os argumentos introduzidos para criar uma string de texto em formato JSON, que posteriormente são enviados nos pedidos HTTP assim como o tamanho da *string* em questão;
- `CriticalLevelTemp()`. Consoante o valor de temperatura lido esta função vai criar um nível de criticidade para a mensagem a ser enviada. Quanto mais alta a temperatura, mais alto o nível de criticidade e assim maior será o número de tentativas ao enviar a mensagem em questão;
- `Alarme()`. Este método tem como objetivo enviar um pedido HTTP para o servidor, indicando que o alarme técnico foi ativado. Este processo é de alta prioridade por isso o nível de criticidade das tentativas de ligação e envio é o mais alto, tendo 300 tentativas;

- `TakeReading()`. Faz a leitura na porta analógica do microcontrolador tendo em conta que se está a ser utilizado o sensor de temperatura LM35. Comunica depois ao servidor o valor da leitura efetuada assim como o dispositivo onde esta foi realizada;
- `Estado()`. Efetua um processo semelhante a algumas funções já descritas atrás, a função é chamada quando é necessário comunicar ao servidor alguma alteração do estado dos atuadores, usando um pedido HTTP para o fazer;
- `ISR0()`. Função que pode ser ativada por uma interrupção provocada pelo botão de pressão, apenas altera o estado da variável do respetivo atuador;
- `ISR1()`. Idêntica à função `ISR0()`, apenas altera o estado da variável do respetivo atuador;
- `CutRequest()`. Delimita o conteúdo de todo o pedido HTTP recebido, retornando apenas a mensagem formatada em JSON no formato string;
- `ParseParaJSON()`. Este método tem como objetivo interpretar o conteúdo do pedido recebido. Para isso usa-se a mensagem formatado em JSON que está em formato *string* e passa-se para um objeto JSON com recurso à biblioteca *ArduinoJson.h* (Blanchon), de seguida atribui-se as variáveis ao valor dos respetivos pares do objeto JSON (*parsing*). É necessário referir um valor em concreto, o "código", esta variável consiste num *byte*, sendo apenas de relevância dois *bits* nesta implementação, uma vez que se acabou apenas por utilizar dois atuadores com o microcontrolador utilizado. Cada bit corresponde a um atuador/relé ligado ao microcontrolador, *bit* 1 corresponde a ligado e *bit* 0 a desligado. Para a interpretação deste valor o *byte* é percorrido *bit* a *bit*, fazendo operações lógicas para determinar o valor lógico de cada atuador;
- `ParseIDJSON()`. Função idêntica à função `ParseParaJson()`, sendo que aqui é apenas feito o *parse* da variável ID quando o dispositivo recebe um ID novo na operação de registo automático.

5

Resultados e discussão

Neste capítulo são apresentadas as operações e resultados do sistema protótipo implementado. Serão indicados os consumos, as funcionalidades principais do dispositivo e a eficácia das mesmas no sistema através de testes práticos. Para testar as funcionalidades no dispositivo foi utilizado todo o equipamento referido na arquitetura projetada no Capítulo 3 em conjunto com um candeeiro, onde o fio elétrico de fase do mesmo é cortado, uma ponta é conectada ao pino comum e outra ao pino NO (*Normally Open*). Esta configuração é preferível pois o candeeiro estará mais tempo desligado que ligado.

5.1 Testes e resultados

Para testar as várias funcionalidades previstas no dispositivo, os testes foram divididos em quatro diferentes tipos: alimentação, envio, receção e execução.



Figura 5.1 – Teste de um caso prático real.

5.1.1 Alimentação e consumo do dispositivo

Sendo um dos objetivos da domótica a eficiência energética e controlo dos aparelhos eletrónicos, deve ser uma prioridade ter um consumo elétrico reduzido nos dispositivos domóticos, senão a poupança será perdida para esse consumo acrescido. Para fazer o teste de alimentação, foi utilizada uma fonte de alimentação regulada para obter os 5 V à entrada do dispositivo e seus componentes, nas condições onde os relés estão ligados e o dispositivo está ligado à rede local Wi-Fi.

Tendo em conta a tensão e a corrente, 0,23 A a 5 V, o dispositivo consome 1,15 W, sendo este valor inferior aos valores de outros aparelhos domóticos referidos anteriormente como a tomada inteligente da marca Fibaro. Em termos de fonte de alimentação utilizado no dispositivo esta baixava a tensão para valores perto de 4,4 V, o que aparentemente não influenciou o funcionamento normal do microcontrolador. No entanto, através desta fonte de alimentação, o microcontrolador nem sempre efetuava o *boot* normal.

5.1.2 Envio de pedidos

Registro automático do dispositivo: esta funcionalidade é executada logo após o *boot* do dispositivo para verificar se este já está registrado no sistema. Para isso, envia um pedido HTTP com a informação necessária, depois irá receber uma resposta positiva ou uma resposta com o número identificador com que ficou registrado no sistema. Este processo foi testado com sucesso com dois microcontroladores diferentes nas várias situações possíveis: quando o dispositivo já está registrado no sistema; quando se efetua a substituição usando o número identificador de um dispositivo diferente já registrado; quando o dispositivo não está registrado.

Envio de dados do sensor: este processo é realizado uma vez por minuto e comunica o valor de temperatura lida pelo sensor com o servidor. Este teste foi sempre realizado com sucesso.

Envio de alteração do estado dos atuadores: processo provocado quando o estado de um atuador é alterado e, conseqüentemente, comunicado ao servidor. O teste foi sempre realizado com sucesso.

Envio de alteração do estado do alarme técnico: processo provocado quando o sensor associado é ativado e, conseqüentemente, o acontecimento é comunicado ao servidor. O teste foi simulado, sem usar sensor específico, usou-se apenas fios condutores para fechar o circuito provocando assim o processo pretendido. O teste realizou-se sempre com sucesso.

5.1.3 Receção de pedidos

Receção de respostas a todos os tipos de pedidos: estes processos foram sempre testados em conjunto com os processos associados a envio de pedidos, sendo assim sempre executados com sucesso.

Receção de pedidos para ligar/desligar atuadores: nesta funcionalidade o microcontrolador interpreta corretamente o pedido vindo do servidor, executando de seguida

a ação pretendida.

5.1.4 Execução de pedidos

Após a recepção dos pedidos pretendidos o dispositivo executa corretamente todas as ações pretendidas. Quando são utilizados os botões de pressão para desligar/ligar atuadores, a ação é executada com sucesso mesmo se a ligação com o servidor falhar.

5.2 Resultado de um exemplo prático no sistema completo

O diagrama representado na figura 5.2, permite descrever com melhor detalhe aquilo que acontece no sistema num exemplo prático simples.

O exemplo prático representado na figura 5.2 consiste em ligar um atuador, neste caso um candeeiro, através de uma aplicação web. Para tal o utilizador realiza o pedido ao sistema para ligar o atuador, através da interface web, responsável por enviar o pedido ao servidor que por sua vez faz um pedido ao microcontrolador/dispositivo para ligar o atuador. Após isto, é devolvido o resultado do pedido ao servidor, que por sua vez, envia um pedido à base de dados com o objetivo de atualizar o estado do atuador. Se este processo ocorrer na sua totalidade com sucesso, o utilizador recebe uma mensagem de sucesso e a página será atualizada com o novo estado do atuador.

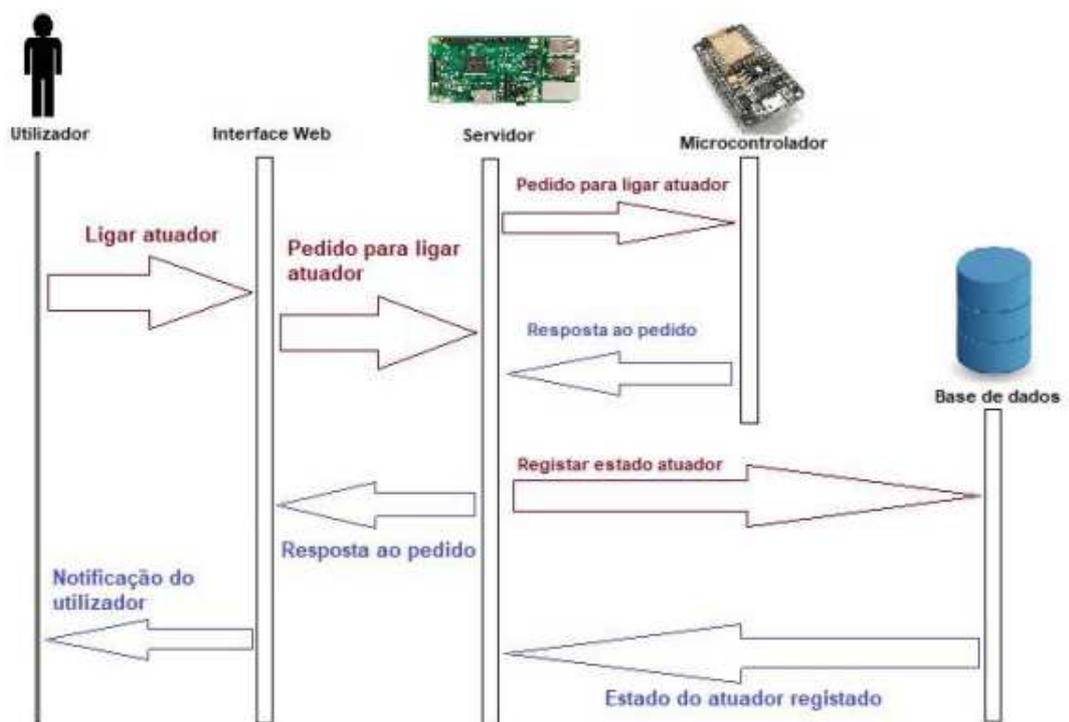


Figura 5.2 – Diagrama de atividades de um exemplo prático.

6

Conclusão e trabalhos futuros

Atualmente a domótica é uma área da tecnologia em constante desenvolvimento, graças à diversidade e concorrência de diferentes tecnologias e empresas. Foi essencial o estudo do mercado para compreender em que nível se encontram os sistemas comercializados pelas principais empresas nesta área, e para perceber quais são as funcionalidades mais comuns nestes sistemas. Sendo a domótica um mercado em expansão, este ainda não se encontra normalizado, apesar da introdução de tecnologias sem-fios, os custos também ainda continuam altos para o utilizador comum. A responsabilidade em uniformizar os sistemas tem tendência em cair em grandes empresas de tecnologia como a Samsung e a Apple, visto que ambas já mostraram interesse na área com vários produtos e aplicações. Mesmo com esta luta entre grandes empresas, o mundo DIY (*Do it yourself*) para entusiastas apresenta várias soluções como o Home Assistant que disponibiliza um sistema pouco intuitivo e difícil de utilizar, mas com menor custos e bastante abrangente a nível de produtos domóticos.

O trabalho desenvolvido ao longo da dissertação contribuiu para uma melhor perceção das funcionalidades de um sistema de domótica e do seu desenvolvimento. Foi desenvolvida uma arquitetura para este projeto que permite ao utilizador controlar

e monitorizar vários aspetos de uma habitação, utilizando dispositivos inteligentes ligados diretamente à corrente elétrica (230 VAC).

Os objetivos do projeto foram cumpridos, uma vez que foi construído um protótipo funcional onde é possível o controlo do mesmo entre outras funcionalidades autónomas, como a monitorização da temperatura, o registo automático e a funcionalidade alarme técnico que comunica ocorrências para o servidor. A implementação da rede e um protocolo de mensagens onde os dispositivos construídos podem ser inseridos também foi bem-sucedida, como foi mostrado nos testes todas as funcionalidades são comunicadas e executadas com êxito.

Do ponto vista pessoal, este projeto mostrou-se enriquecedor o que permitiu uma boa perceção da área de domótica, assim com as suas tendências das tecnologias no mercado, expansão do conhecimento sobre sistemas embebidos e um mais à vontade em projetos de programação C/C++. Embora o protótipo esteja funcional e os objetivos principais tenham sido cumpridos, o dispositivo ainda precisará de algum trabalho para ficar ao nível da qualidade apresentada por produtos comerciais. Pode ser melhorado e aprofundado em diferentes vertentes, entre as quais destacam-se:

- Implementação de um sistema de chaves (API key) para a autenticação e identificação dos dispositivos no sistema, aumentando assim a segurança do sistema;
- Em detrimento do que foi implementado a nível de comunicações neste projeto, pode ser implementado um protocolo como o MQTT, que é um protocolo leve de mensagens *machine-to-machine* que funciona por cima do protocolo TCP/IP e permite mensagens de subscrição e publicação ([MQTT Organization](#)). Uma boa implementação deste protocolo daria a possibilidade de compatibilidade com outros sistemas abertos como o Home Assistant ([Home Assistant](#), [a](#));
- Desenho do PCB recorrendo a software de desenho de placas eletrónicas (EDA) como o Kicad ou EAGLE;

- Utilizar outros microcontroladores com diferentes características de forma a reduzir os custos e o tamanho, ou aumentar a programabilidade e robustez dos dispositivos. Uma sugestão seria utilizar o ESP32, o microcontrolador sucessor ao ESP8266;
- Implementar ou incorporar um serviço do tipo IFTTT para evoluir o nível de automação do sistema.

Referências bibliográficas

- Alecrim, E. (2008). O que é wi-fi (ieee 802.11)? <https://www.infowester.com/wifi.php>. Acedido em 10-Maio-2017. 17
- Anusha (2017). Arduino controlled power outlet. <http://www.electronicshub.org/arduino-controlled-power-outlet/>. Acedido em 29-Julho-2017. 50
- Apple. Homekit. <https://developer.apple.com/homekit/>. Acedido em 27-Agosto-2017. 29
- Arduino Team. Arduino core for esp8266 wifi chip. <https://github.com/esp8266/Arduino>. Acedido em 10-Junho-2017. 46, 52
- Axiom. Insteon. <http://axiomintegration.com/insteon/>. Acedido em 20-Setembro-2017. 10, 25
- Baker, J. (2016). 5 open source home automation tools. <https://opensource.com/life/16/3/5-open-source-home-automation-tools>. Acedido em 27-Agosto-2017. 32
- BeeWi. Bbp200 - smart plug. <http://www.bee-wi.com/bbp200,us,4,BBP200-A1.cfm>. Acedido em 27-Agosto-2017. 35

- Blanchon, B. Arduinojson - c++ json library for iot. <https://github.com/bblanchon/ArduinoJson>. Acedido em 30-Fevereiro-2017. 56
- Bluetooth SIG. Bluetooth 5 quadruples range, doubles speed, increases data broadcasting capacity by 800%. <https://www.bluetooth.com/news/pressreleases/2016/06/16/-bluetooth5-quadruples-rangedoubles-speedincreases-data-broadcasting-capacity-by-800>. Acedido em 20-Agosto-2017. 16
- Bluetooth SIG. Bluetooth sig announces mesh networking capability. <https://www.bluetooth.com/news/pressreleases/2017/07/bluetooth-sig-announces-mesh-networking-capability>. Acedido em 20-Agosto-2017. 16
- Bluetooth SIG. What is bluetooth? <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/how-it-works>. Acedido em 20-Agosto-2017. 16
- Brush, A., Lee, B., Mahajan, R., Agarwal, S., Saroiu, S., and Dixon, C. (2011). Home automation in the wild: Challenges and opportunities. In *CHI*. ACM Conference on Computer-Human Interaction. 6
- Condit, R. (2004). An954 transformerless power supplies: Resistive and capacitive. <https://www.mikrocontroller.net/attachment/146673/00954A.pdf>. Acedido em 10-Junho-2017. 43
- da Silva Mendes, T. M. (2010). Rede doméstica knx sobre rede física can. Master's thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 9
- da Silva Tiago, E. B. (2016). Mordomo - sistema de gestão de habitação. Master's thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 9
- Designer Circuits. Transformerless power supply design. <http://www.designercircuits.com/DesignNote1b.pdf>. Acedido em 10-Junho-2017. 43
- Devmedia. Introdução à comunicação bluetooth no android. <http://www.devmedia.com.br/introducao-a-comunicacao-bluetooth-no-android/27636#>. Acedido em 20-Agosto-2017. 16

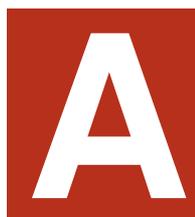
- Distech Controls. ilon-600 lonworks/ip server. <http://www.distech-controls.com/en/ca/products/field-devices/nc-network-connectivity/related-products/ilon600-lonworks-ip-server/>. Acedido em 20-Setembro-2017. 12
- Echelon (2009). Introduction to the lonworks platform revision b. http://www.echelon.com/assets/blt893a8b319e8ec8c7/078-0183-01B_Intro_to_LonWorks_Rev_2.pdf. Acedido em 15-Agosto-2017. 12
- Espressif (2015). *ESP8266EX Datasheet Version 4.3*. Espressif Systems. 48
- Eurox10. O que é o x-10. <http://www.eurox10.com/Content/X10Information.htm>. Acedido em 20-Agosto-2017. 14
- Farahani, S. (2008). *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*. Newnes. 22
- Fibaro. Fibaro manuals - wall plug. <http://manuals.fibaro.com/wall-plug/>. Acedido em 27-Agosto-2017. 35
- GearBest. Xiaomi aqara intelligent curtain motor. https://www.gearbest.com/access-control/pp_626697.html. Acedido em 20-Setembro-2017. 22
- Gebhart, A. and Wollerton, M. (2016). Apple's home app makes it easy to control your home from your phone. finally. <https://www.cnet.com/news/exploring-apples-home-for-homekit/>. Acedido em 27-Agosto-2017. 30
- Gomez, C. and Paradells, J. (2010). Wireless home automation networks: A survey of architectures and technologies. *IEEE Communications Magazine*, 48(6):92–101. 5
- Graf, R. F. (1974). *Radio Shack New 1974-75 Unabridged Dictionary of Electronics*. Radio Shack. 49
- Griffiths, S. The £200 smart home: Samsung unveils its smarthings kit that lets you control lights, temperature and remotely monitor your house using just one app. <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3220687/The-200-smart-home-Samsung-unveils-SmartThings-kit-lets-control->

- [lights-temperature-remotely-monitor-house-using-just-one-app.html](#).
Acedido em 20-Setembro-2017. 27
- Home Assistant. Mqtt. <https://home-assistant.io/components/mqtt/>. Acedido em 20-Setembro-2017. 64
- Home Assistant. Tplink switch. <https://home-assistant.io/components/switch.tplink/>. Acedido em 27-Agosto-2017. 35
- Industry Mall (2017). Step down voltage regulator ac 110/220v to 5v 700ma 3.5w switching power supply. <http://www.ebay.co.uk/itm/Step-Down-Voltage-Regulator-AC-110-220V-To-5V-700mA-3-5W-Switching-Power-Supply-/182199902109?hash=item2a6bf5df9d:g:kAcAA0SwaDtXgHV5>. Acedido em 29-Janeiro-2017. 51
- Insteon (2013). *Insteon: White Paper: The Details*. Disponível em www.insteon.com. 11, 16
- ITEAD. <https://www.itead.cc/sonoff-wifi-wireless-switch.html>. Acedido em 29-Agosto-2017. 33, 34
- Jayakumar, H., Lee, K., Lee, W. S., Raha, A., Kim, Y., and Raghunathan, V. (2014). Powering the internet of things. 44
- KNX Association. Introdução. <https://www.knx.org/pt/knx/tecnologia/introducao/index.php>. Acedido em 10-Agosto-2017. 8
- KNX Association. The knx standard :: Communication media. <https://web.archive.org/web/20130825071022/https://www.knx.org/uk/knx-standard/communication-media/>. Acedido em 29-Setembro-2017. 25
- Kovach, S. (2014). I turned my tiny, dark, and overpriced unit into a smart home for just \$us300. <https://www.businessinsider.com.au/smartthings-review-2014-2>. Acedido em 25-Agosto-2017. 26
- Labiod, H., Hossam, A., and Santis, C. D. (2007). *Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee and WiMax*. Springer-Verlag New York, Inc. 18, 19, 25

- Mantovani, E. (1998). Aplicações e limitações da tecnologia lonworks na automação. 13
- Meo. Meo smart home. <https://www.meo.pt/pacotes/meo-smart-home>. Acedido em 27-Agosto-2017. 31
- Mitchell, B. (2016). Limitations of ad hoc mode wireless networking. <https://www.lifewire.com/limitations-of-ad-hoc-mode-networking-818294>. Acedido em 20-Julho-2017. 18
- Monk, S. Timer library for arduino. <https://playground.arduino.cc/Code/Timer>. Acedido em 25-Fevereiro-2017. 54
- MQTT Organization. Frequently asked questions. <http://mqtt.org/faq>. Acedido em 20-Setembro-2017. 64
- Mushtaq, N. U. (2016a). Z wave for home automation. <http://cctvinstitute.co.uk/z-wave/>. Acedido em 25-Julho-2017. 21, 25
- Mushtaq, N. U. (2016b). Zigbee in home automation. <http://cctvinstitute.co.uk/zigbee/>. Acedido em 25-Julho-2017. 23, 25
- Nest Labs. Nest thermostat. <https://nest.com/thermostats/nest-learning-thermostat/overview/>. Acedido em 29-Agosto-2017. 34
- NodeMcu Team (2014). Nodemcu – an open-source firmware based on esp8266 wifi-soc. http://www.nodemcu.com/index_en.html. Acedido em 10-Junho-2017. 45
- North Beach Consulting (2003). *Lonworks Fundamentals: A Basic Understanding of the Lontalk Protocol*. North Beach Consulting LLC. 13, 25
- Pau, G., Collotta, M., and Maniscalco, V. (2017). Bluetooth 5 energy management through a fuzzy-pso solution for mobile devices of internet of things. *Energies*, 10(7). 25
- Pierce, D. (2015). A smart home divided cannot stand. this hub can help. <https://www.wired.com/2015/09/smartthings-desperately-wants-turn-houses-smart-homes/>. Acedido em 25-Agosto-2017. 26

- Pink, R. (2017). Zigbee vs z-wave for the iot. <http://electronics360.globalspec.com/article/8625/zigbee-vs-z-wave-for-the-iot>. Acedido em 25-Julho-2017. 20
- Pinto, P. (2017). Meo smart home: Vamos conhecer a plataforma web. <https://pplware.sapo.pt/gadgets/hardware/meo-smart-home-conhecer-plataforma-web/>. Acedido em 20-Setembro-2017. 31
- Pogue, D. (2011). A thermostat that's clever, not clunky. <http://www.nytimes.com/2011/12/01/technology/personaltech/nest-learning-thermostat-sets-a-standard-david-pogue.html>. Acedido em 29-Agosto-2017. 34
- Pothuganti, K. and Chitneni, A. (2014). A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi. *ISSN 2231-1297*, 4(6):655–662. 18
- Rye, D. (1999). My life at x10. <http://www.hometoys.com/content.php?url=htinews/oct99/articles/rye/rye.htm>. Acedido em 20-Agosto-2017. 13
- Ryu, J. (2014). When ac-dc buck converters can achieve up to 9w new design thinking and application example. <http://blog.fairchildsemi.com/2014/ac-dc-buck-converters-can-achieve-9w-new-design-thinking-application-example/#.WcqAA1tSzRZ>. Acedido em 15-Junho-2017. 43
- Shah, M. and Mehta, R. Knx standard. <http://www.light-and-magic.com/knx.html>. Acedido em 20-Setembro-2017. 8
- Singh, P. (2016). Nodemcu pinout. <https://iotbytes.wordpress.com/nodemcu-pinout/>. Acedido em 10-Junho-2017. 46
- SmartHomeUSA. How x10 works. <http://www.smarthomeusa.com/how-x10-works/>. Acedido em 10-Agosto-2017. 7, 15, 25
- Smartliving. Fibaro z-wave plus motion, temperature, light & vibration sensor (gen5). <http://www.smartliving.com.au/fibaro-z-wave-motion-sensor-4-in-1-pir.html>. Acedido em 20-Setembro-2017. 20

- SmartThings. Architecture. <http://docs.smarthings.com/en/latest/architecture/>. Acedido em 25-Agosto-2017. 28, 29
- SmartThings. Smarthings community. <https://community.smarthings.com/>. Acedido em 25-Agosto-2017. 26
- T. Irving, B. and Jovanovic, M. (2002). Analysis and design of self-oscillating flyback converter. volume 2, pages 897 – 903. 43
- Texas Instruments (2016). *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. Texas Instruments. 48
- Tomar, A. (2011). Introduction to zigbee technology. <http://www.cs.odu.edu/~cs752/papers/zigbee-001.pdf>. Acedido em 25-Julho-2017. 23
- TP-Link. Wi-fi smart plug with energy monitoring. [http://static.tp-link.com/res/down/doc/HS110\(EU\)-1.0.pdf](http://static.tp-link.com/res/down/doc/HS110(EU)-1.0.pdf). Acedido em 27-Agosto-2017. 34, 35
- Webopedia. Wi-fi (wireless networking). <http://www.webopedia.com/TERM/W/Wi-Fi.html>. Acedido em 10-Maio-2017. 17
- Wi-Fi Alliance. Who we are. <https://www.wi-fi.org/who-we-are>. Acedido em 10-Maio-2017. 17
- Wi-Fi Alliance (2017). Wi-fi alliance delivers wi-fi certified home designs. <http://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-alliance-delivers-wi-fi-certified-home-designs>. Acedido em 20-Julho-2017. 17
- Wright, A. Here's every apple homekit product announced at ces 2017 coming later this year. <http://appleinsider.com/articles/17/01/11/heres-every-apple-homekit-product-announced-at-ces-2017-coming-later-this-year>. Acedido em 20-Setembro-2017. 30
- Z-Wave Alliance. Z-wave: The basics. <http://www.z-wave.com/faq>. Acedido em 25-Julho-2017. 20



Protocolo de mensagens

Atualização do dispositivo para o servidor

Estrutura da mensagem JSON com os seguintes parâmetros:

Tabela A.1 – Estrutura da mensagem de atualização do dispositivo para o servidor.

Tipo	Número Inteiro	Número Inteiro	Número Float
Variável	ID do microcontrolador	Porta	Valor ou Estado

Tipo de respostas: Quando tenta fazer o pedido HTTP, é obtido uma resposta automática da parte do servidor, por exemplo "200 OK" no caso de sucesso. De seguida são apresentados dois tipos de aviso acerca do sucesso/insucesso na conexão à base de dados e na atualização da mesma.

No envio das mensagens utiliza-se o termo de criticidade, de forma a estabelecer um grau de prioridade nas mesmas. Os níveis críticos encontram-se num intervalo de 0-2:

- No nível de criticidade 2 (prioridade mais baixa) caso haja insucesso no envio da mensagem ou na atualização da base de dados, à terceira tentativa a mensagem é descartada;

- No nível de criticidade 1 é designado para ocorrências que não ponham em risco a saúde do utilizador, mas sim para possíveis ocorrências que danifiquem o material. Sendo a mensagem descartada após 20 tentativas;
- As mensagens de criticidade 0 (prioridade mais alta) são designadas para ocorrências que ponham em risco a saúde do utilizador, tais como fugas de gás, inundação ou incêndio. Ficando num ciclo finito de 300 tentativas.

Auto registo do dispositivo

Estrutura da mensagem inicial JSON:

Tabela A.2 – Estrutura de mensagem para auto registo do dispositivo.

Tipo	Número Inteiro	Varchar	Varchar
Variável	ID do microcontrolador	Endereço MAC do microcontrolador	Endereço IP

Quando o dispositivo se pretende registar na rede como novo dispositivo, apresenta o seu MAC e ID (que será igual a 0 neste caso) ao servidor. O servidor verifica o ultimo ID registado, auto incrementa e regista o novo ID, o respetivo endereço MAC e a variável MACID que será a chave primária. Depois disto retorna o ID com que foi registado para o dispositivo.

No caso da substituição de dispositivo em que se quer manter os mesmos dados anteriores, o ID do novo dispositivo tem que ser predefinido com o ID do dispositivo anterior. Assim o servidor verifica se o ID existe e atualiza a base de dados com o novo MAC, MACID na linha com ID já existente.

Atualização do servidor para o dispositivo

Estrutura da mensagem JSON com os seguintes parâmetros:

Tabela A.3 – Estrutura da mensagem de atualização do servidor para o dispositivo.

Tipo	Número float	Número inteiro
Variável	Valor	Código dos atuadores

Tipo de respostas: Quando tenta fazer o pedido HTTP, é obtido uma resposta automática da parte do dispositivo quando é estabelecida a ligação, por exemplo "200 OK" no caso de sucesso. O dispositivo após efetuar aquilo que é pretendido, envia uma mensagem de sucesso na execução para o servidor e é fechada a ligação. Se houver falha na comunicação, o servidor envia uma mensagem de alerta para o utilizador sobre o erro de comunicação.

