



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MARÍTIMA

Trabalho de Projeto para obtenção do grau de mestre
em Sistemas Eletrónicos Marítimos

Plataforma Didática para Monitorização de Sistemas em Ambientes Domésticos e Industriais

Autor: Nuno Filipe Toco Mendes n.º 9365

Orientador: Professor Victor Gonçalves

Coorientador: Professor Luís Charrua

Agosto 2015



Escola Superior Náutica Infante D. Henrique

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MARÍTIMA

**Plataforma Didática para Monitorização de Sistemas
em Ambientes Domésticos e Industriais**

Trabalho de Projeto para obtenção do grau de mestre em
Sistemas Eletrónicos Marítimos

Nuno Filipe Toco Mendes

Orientador: Professor Victor Gonçalves

Coorientador: Professor Luís Charrua

Agosto 2015

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar à Sofia e à Madalena, respetivamente esposa e filha, por todo o apoio incondicional e compreensão pelos muitos momentos de ausência. Quero também agradecer aos meus colegas, Cláudio e Luís, pelo apoio e incentivo dados para o desenvolvimento deste trabalho, e à minha colega Teresa pela ajuda prestada na tradução para Inglês.

Estou imensamente grato ao meu orientador professor Victor Gonçalves e coorientador professor Luís Charrua, pela disponibilidade, transmissão de conhecimentos e sentido prático que demonstraram ao longo deste trabalho, ajudando-me sempre a tomar as melhores decisões.

Agradeço de uma maneira geral a todos os docentes do departamento de engenharia marítima, pelo apoio que me deram no meu percurso académico contribuindo gradualmente para a minha formação e evolução como profissional.

Resumo

A interligação de sistemas inseridos em ambientes diversos, tem motivado o desenvolvimento de redes e a definição de protocolos apropriados para gerir as comunicações e a interface com sensores e atuadores.

Entre as áreas que atualmente suscitam interesse, destacam-se as redes sem fios, os protocolos usados em ambientes específicos, como a domótica, e o desenvolvimento de estruturas de *hardware* para gerir processos de troca de informação.

Na perspetiva do autor deste projeto, é importante que, a par do conhecimento da tecnologia, se definam abordagens ao ensino das matérias associadas ao estudo dos sistemas acima referidos.

Neste projeto visa-se o desenvolvimento de uma plataforma que constituirá uma ferramenta de apoio ao ensino em cursos profissionais da área tecnológica, visando a condução dos alunos no sentido de desenvolverem uma perspetiva integradora de conhecimentos que geralmente são ministrados em várias disciplinas, enquadradas em áreas como a eletrónica, as telecomunicações e os sistemas digitais.

Para tal, definiu-se um ponto fulcral, que é a capacitação dos alunos para lidar com estruturas importantes na área da monitorização e controlo de processos em redes de sensores e atuadores. Identificaram-se algumas áreas de conhecimento que serão introduzidas, com recurso a uma linguagem simples, e desenvolveu-se uma estrutura de *hardwares* que suporta a realização de trabalhos laboratoriais.

As experiências a desenvolver visam capacitar os alunos para intervir ao nível da instalação e manutenção de redes de dispositivos de baixo custo, utilizados, por exemplo, em ambientes industriais e habitacionais. Abordam-se as redes sem fios baseadas em dispositivos que suportam o protocolo Zigbee e são compatíveis com o padrão IEEE 802.15.4, os sistemas domóticos baseados no protocolo KNX e, ao nível dos sistemas digitais, o projeto de uma estrutura baseada em microcontroladores.

Palavras Chave: padrão IEEE 802.15.4, zigbee, KNX, comunicação sem fios XBee, placas de ensaio.

Abstract

The interconnection of systems embedded in various environments, has motivated the development of networks and the definition of protocols appropriate to manage the communications and interface with sensors and actuators.

Among the areas that currently raise interest, stand out the wireless networks, the protocols used in specific environments, such as home automation, and the development of hardware structures for managing processes of exchanging information.

From the perspective of this project's author, it is important, along with the knowledge of technology, to define approaches to the teaching of subjects related to the study of the systems mentioned above.

This project aims to develop a platform that will be a teaching support tool for vocational courses in the technological area, aimed at driving the students in order for them to develop an integrative perspective of acquisitions that are usually taught in several subjects, framed in areas such as electronics, telecommunications and digital systems.

To do this, a central point was defined, which is the training of students to deal with important structures in the area of monitoring and to control processes in networks of sensors and actuators. Some areas of knowledge were identified and will be introduced, using a simple language, and a hardware structure that gives support to the fulfillment of laboratory work was developed.

The experiments aim to develop enable students to intervene in terms of installation and maintenance of low-cost devices to networks used, for example in industrial and residential environments. It addresses the wireless networks based on devices that support the ZigBee protocol and are compatible with the IEEE 802.15.4 standard, the home automation systems based on the KNX protocol and, at the level of digital systems, the design of a structure based on microcontrollers.

Key-words: IEEE 802.15.4 standard, Zigbee, KNX, Wireless Xbee, Assay board

Índice

Agradecimentos.....	I
Resumo.....	II
Índice	IV
Lista de Figuras	VI
Lista de Tabelas.....	VIII
Lista de Acrónimos	IX
1. Introdução.....	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Objetivo.....	2
1.3 Estrutura da dissertação.....	3
2. Padrão IEEE 802.15.4	5
2.1.Arquitetura de rede.....	6
2.1.1. A Camada Física.....	6
2.1.2. A Camada de Controlo e Acesso ao Meio:.....	7
2.2. Parâmetros do IEEE 802.15.4	9
2.3. Modulação	10
2.4. Topologias de rede	12
3. ZIGBEE.....	15
3.1. Protocolo Zigbee	15
3.2. Dispositivos Zigbee.....	17
3.3. Topologia de rede Zigbee.....	18
3.4 Arquitetura	19
3.4.1. Camada de Rede	20
3.4.2. Camada de Aplicação	21
3.5. Montagem de uma rede no padrão ZigBee	21
3.5.1. Modos de operação em rede	22
3.5.2. Tipos de mensagens nas redes ZigBee	23
4. Sistemas de Domótica	25
4.1. Protocolo KNX.....	28

4.2. Topologia da Rede KNX.....	30
4.3. Modos de configuração	31
4.3.1. Tipos de Implementação	32
4.3.2. Componentes KNX.....	32
4.4. Vantagens e Limitações do Protocolo.....	32
5- Placa de Ensaio	35
5.1. Placa Central	35
5.2. Módulo Periférico	37
6. Estruturas testadas	41
6.1 Diagrama de Blocos do Sistema	41
6.2 Módulo XBEE.....	41
6.3. Módulo Picaxe AXE210	46
6.4. Software X-CTU	48
6.5. Sistema Domótico Tébis	49
7. Descrição de Procedimentos e Análise de Resultados	53
8. Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	59
Bibliografia.....	61
Anexos.....	65

Lista de Figuras

FIGURA 1- ARQUITETURA 802.15.4-----	5
FIGURA 2- SUBCAMADA NORMA IEEE 802.15.4, FONTE: HTTPS://SITES.GOOGLE.COM/SITE/TEAMOFINCREDIBLES/ZIGBEE -----	6
FIGURA 3- CARACTERÍSTICA PHY -----	7
FIGURA 4- CARACTERÍSTICAS MAC -----	8
FIGURA 5- PORTADORA MODULADA BPSK, FONTE: HTTP://WWW.ANALUISAMARTINS.COM/SITES/DEFAULT/FILES/ACADEMIC/ ISEC_2003_GSM.PDF-----	10
FIGURA 6- CANAIS I E Q, FONTE: HTTP://WWW.ANALUISAMARTINS.COM/SITES/DEFAULT/FILES/ACADEMIC/ ISEC_2003_GSM.PDF -----	11
FIGURA 7- SINAL MODULADO OQPSK, FONTE: HTTP://WWW.ANALUISAMARTINS.COM/SITES/DEFAULT/FILES/ACADEMIC/ ISEC_2003_GSM.PDF -----	11
FIGURA 8- TIPOS DE TOPOLOGIA, FONTE: HTTP://ZEITGEISTLAB.CA/DOC/PERSONAL-AREA-NETWORKS.HTML -----	12
FIGURA 9- TOPOLOGIA TOPOLOGIA EM ESTRELA, ÁRVORE E MALHA FONTE: HTTP://WWW.NI.COM/WHITE-PAPER/9852/EN/ -----	19
FIGURA 10- ARQUITETURA DO PROTOCOLO ZIGBEE, FONTE: HTTP://EMBEDDED-DESIGN-VIC.BLOGSPOT.PT/2011/11/ZIGBEE.HTML -----	20
FIGURA 11- ESTRUTURA DA FRAME, FONTE: HTTP://WWW.IFN.ET.TU- DRESDEN.DE/~MARANDIN/ZIGBEE/ZIGBEETUTORIAL.HTML -----	22
FIGURA 13- DOMÓTICA, FONTE: HTTP://INSBAR.ES/DOMOTICA/-----	25
FIGURA 14- EXEMPLO DE UMA ARQUITETURA CENTRALIZADA -----	26
FIGURA 15- EXEMPLO DA COMUNICAÇÃO DOS ELEMENTOS BÁSICOS, FONTE: HTTP://REVISTATIS.DC.UFSCAR.BR/INDEX.PHP/REVISTA/ARTICLE/VIEW/27/301 -----	27
FIGURA 16- FUNCIONALIDADES KNX, FONTE: HTTP://WWW.SCHNEIDERELECTRIC.PT/SITES/PORTUGAL/PT/PRODUTOS- SERVICOS/PRODUCT-LAUNCH/KNX/KNX.PAGE -----	29
FIGURA 17- SOLUÇÃO CONVENCIONAL, FONTE: HTTPS://LIBRARY.E.ABB.COM/PUBLIC/E784BBF356160FCEC125777E002 AA94A/0156_SYSTEMBE_GB_06_09.PDF -----	29
FIGURA 18- SOLUÇÃO INTELIGENTE, FONTE: HTTPS://LIBRARY.E.ABB.COM/PUBLIC/E784BBF356160FCEC125777E002 AA94A/0156_SYSTEMBE_GB_06_09.PDF -----	30

FIGURA 19- MODOS DE CONFIGURAÇÃO KNX, FONTE:

HTTP://WWW.KNX.ORG/PT/STANDARD-KNX/MODOS-DE-CONFIGURACAO/1	31
FIGURA 20- ESQUEMÁTICO DA PLACA CENTRAL	36
FIGURA 21- LAYOUT DA PLACA CENTRAL	36
FIGURA 22- CONCEÇÃO DA PLACA CENTRAL	37
FIGURA 23- PLACA CENTRAL COM BREADBOARD OU MÓDULO XBEE	37
FIGURA 24- ESQUEMÁTICO DO MÓDULO DE PERIFÉRICOS	38
FIGURA 25- LAYOUT MÓDULO DE PERIFÉRICOS	39
FIGURA 26- CONCEÇÃO DO MÓDULO DE PERIFÉRICOS	39
FIGURA 27- MÓDULO DE PERIFÉRICOS COM BREADBOARD OU MÓDULO XBEE	40
FIGURA 28- DIAGRAMA DE BLOCOS	41
FIGURA 29- MÓDULOS XBEE, FONTE: HTTP://XBEE.CL/QUE-ES-XBEE/	42
FIGURA 30- COMUNICAÇÃO SÉRIE COM O MICROCONTROLADOR	44
FIGURA 31- MODO DE COMUNICAÇÃO TRANSPARENTE	45
FIGURA 32- MODO DE COMUNICAÇÃO API	45
FIGURA 33- ESTRUTURA DA FRAME API, FONTE	
HTTP://FTP1.DIGI.COM/SUPPORT/DOCUMENTATION/90000976_W.PDF	46
FIGURA 34- PROGRAMA X-CTU	49
FIGURA 35- FONTE DE ALIMENTAÇÃO KNX MÓDULO TX 111	50
FIGURA 36- BORNES DE LIGAÇÃO TG 008	50
FIGURA 37- CONFIGURADOR TX100	51
FIGURA 38- MÓDULO KNX DE 2 ENTRADAS BINÁRIAS TX 3021	51
FIGURA 39- ATUADOR BINÁRIO DE 6 CANAIS MÓDULO TXA 206B 1	52
FIGURA 40- CABO BUS	52
FIGURA 41- FLUXOGRAMA DEMONSTRATIVO DO PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO 1	54
FIGURA 42- FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DO MOTOR	55

Lista de Tabelas

TABELA 1- PARÂMETROS DA NORMA IEEE 802.15.4, FONTE: HTTP://ELECTRONICDESIGN.COM/WHAT-S-DIFFERENCE-BETWEEN/WHAT-S-DIFFERENCE- BETWEEN-IEEE-802154-AND-ZIGBEE-WIRELESS	9
TABELA 2- CLASSES E TIPOS DE DISPOSITIVOS LÓGICOS	13
TABELA 3- CARACTERÍSTICAS PROTOCOLO ZIGBEE	16
TABELA 4- FUNÇÕES DO COORDENADOR,ROUTER E END-DEVICE	18
TABELA 5- COMPARAÇÃO DOS MÓDULOS XBEE E XBEE-PRO	43
TABELA 6- DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES DOS PINOS DO MÓDULO XBEE	43
TABELA 7- CONSTITUIÇÃO DA FRAME	46
TABELA 8- FUNÇÃO DOS LEDS	47
TABELA 9- POSIÇÃO DOS JUMPERS	47
TABELA 10- FUNÇÃO DOS JUMPERS	48

Lista de Acrónimos

ACK	Acknowledgment
AF	Application Framework
API	Application Programming Interface
APL	Application layer
APO	Application object
APS	Application Support Sub Layer
BER	Bit error rate
BPSK	Binary Phase Shift Keying
ETS	Engineering Tool Software
FFD	Full Function Device
GTS	Guaranteed Time Slot
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Industrial Scientific Medical
MAC	Media Access Control
NWK	Network layer
OSI	Open Systems Interconnection
OQPSK	Offset-Quadrature Phase Shift Keying
PAN	Personal Area Network
PDU	Protocol Data Unit
PHY	Physical Layer Protocol
PLC	Power Line Carrier
RFD	Reduced Function Devices

SNR	Signal-to-Noise Ratio
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
ZDO	ZigBee Device Object

1. Introdução

As comunicações sem fios assumem um papel cada vez mais importante na nossa sociedade. De facto, nas últimas décadas, assistiu-se a uma grande expansão do mercado de dispositivos que dispensam a existência de uma ligação física para comunicarem entre si e ao desenvolvimento de redes locais sem fios que, atualmente, se apresentam como uma boa alternativa às redes convencionais, oferecendo as mesmas funcionalidades, mas fornecendo maior mobilidade, melhor facilidade de instalação e uma boa interligação entre redes.

Por outro lado, a utilização de dispositivos, ligados através de redes controladas por estruturas de *hardware*, de baixo custo, tem vindo a ganhar espaço de aplicação em muitos domínios, incluindo a área da domótica, onde se usam protocolos específicos para instalações com suporte físico. E, neste domínio, tem aumentado o interesse na utilização de microcontroladores, que, para além de controlarem grandes gamas de periféricos – sensores, atuadores e dispositivos de monitorização – incorporam cada vez mais módulos de comunicação e são capazes de gerir processos de transmissão de dados em canais dedicados.

Assim, surgiu a ideia de compilar um conjunto de conhecimentos sobre protocolos usados em redes sem fios e em domótica, e de propor uma estrutura de *hardware* baseada em microcontroladores, que pode gerir processos de comunicação entre redes e constitui uma pequena plataforma que sustenta o ensino integrado dessas matérias e o desenvolvimento de projetos baseados na intersecção daquelas áreas.

1.1. Motivação

A expansão do mercado das aplicações baseadas em redes sem fios, acima referidas, tem conduzido à necessidade crescente de inserir esta área nos diversos níveis de ensino e, em particular, na via profissionalizante, recorrendo, preferencialmente, a sistemas de fácil compreensão que permitam formar quadros técnicos que, para além de serem capazes de operar ao nível da instalação e manutenção, conheçam o essencial das bases teóricas que suportam os sistemas.

O autor deste projeto é professor do ensino profissional, e decidiu abraçar o desafio de desenvolver um trabalho em que apresenta aquelas bases teóricas, com recurso a uma

linguagem simples e, por outro lado, uma estrutura de *hardware* que, podendo constituir a base de pequenos projetos utilizáveis na área da domótica, é produzida essencialmente com fins didáticos, pois pode constituir a base para um vasto conjunto de aulas laboratoriais. Efetivamente, tanto os conteúdos teóricos como a ferramenta prática, constituem uma importante base para o desenvolvimento de conhecimentos por parte dos alunos, mas fundamentalmente pretende-se que esta estrutura de *hardware* seja um fator motivacional para os mesmos.

Para o efeito, apresentam-se as vantagens da utilização de uma ferramenta, inicialmente, utilizada e testada por alunos do ensino profissional do curso de eletrónica e telecomunicações, nas unidades de formação relacionadas com a domótica, em ambiente laboratorial, garantindo aos mesmos uma maior variedade de experiências práticas.

Assim, este trabalho é produzido para obtenção parcial da creditação (trinta créditos) da unidade curricular de Projeto, no âmbito do Mestrado em Sistemas Eletrónicos Marítimos, mas também com o intuito de constituir a primeira versão de uma plataforma que o autor pretende facultar aos seus alunos.

1.2. Objetivo

Neste trabalho, introduzem-se as redes de comunicação sem fios, abordando técnicas e protocolos de comunicação – com ênfase para o Zigbee – assim como as redes usadas em domótica baseadas no protocolo KNX, e apresenta-se um sistema baseado num microcontrolador que pode ser usado para gerir diversos periféricos, ligados a módulos de Zigbee.

O sistema de teste que foi desenvolvido é vocacionado para o ensino na área dos sistemas domóticos e inclui um módulo de *hardware* que suporta diversos microcontroladores. Assim, este trabalho pretende abordar os temas acima referidos, otimizando os conteúdos dos módulos das Unidades de Formação de Curta Duração (UFCD), do catálogo nacional de Qualificações, sobre Instalações ITED – Domótica, com a duração de 25 horas. Fundamentalmente, pretende-se demonstrar uma ferramenta de simples utilização que permita aos alunos compreender a interação entre os protocolos KNX e Zigbee. Esta ferramenta, pretende garantir um maior número de experiências práticas na sala de aula, de forma simples e melhorando a motivação dos alunos.

1.3. Estrutura da dissertação

Segue-se uma breve apresentação dos assuntos que se abordam em cada um dos capítulos seguintes.

O capítulo 2 é dedicado à apresentação de protocolos de comunicação sem fios. Faz-se uma introdução à norma 802.15.4, referindo aspetos gerais e apresentando alguns detalhes da camada física e da camada de acesso ao meio.

No capítulo 3 faz-se uma abordagem detalhada ao protocolo zigbee. Para além de se apresentar um enquadramento teórico, faz-se referência à norma IEEE, com base na qual é implementado, e abordam-se as topologias de rede, a arquitetura e os tipos de dispositivos que o suportam.

No capítulo 4 faz-se uma introdução ao conceito de domótica e apresenta-se o protocolo KNX, referindo também as topologias de rede, os modos de configuração de sistemas e os tipos de implementação.

No capítulo 5 apresenta-se uma placa de ensaio, que foi desenvolvida com fins didáticos, para suportar experiências e apoiar o desenvolvimento de projetos. Para além de ser composto por uma placa central, o sistema incorpora módulos com suportes para um conjunto de periféricos de uso comum e pode ser utilizado em conjunto com módulos XBee e com sistemas de domótica.

No capítulo 6, dá-se conta das várias experiências realizadas, inserindo um microcontrolador na placa e controlando vários periféricos, bem como um conjunto de dispositivos interligados em redes Zigbee e KNX.

No capítulo 7 são descritos os procedimentos e os resultados obtidos durante a execução do projeto.

Por fim, no capítulo 8 seguem-se as conclusões obtidas e as propostas de trabalho futuro.

2. Padrão IEEE 802.15.4

O IEEE 802.15.4 [1] [2] é um padrão para comunicações eletrônicas sem fios, criado pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), para proporcionar a interoperabilidade de dispositivos baseados em diferentes tecnologias.

A norma IEEE 802 tem como principal objetivo definir um protocolo de interconexão para dispositivos de dados usando baixa taxa de dados, baixa potência, baixa complexidade e transmissões de radiofrequência de pequeno alcance para redes sem fios. No IEEE 802.15.4 define-se a camada física (PHY) e a camada de acesso ao meio (MAC) para redes sem fios de pequeno alcance.

Esta norma é aplicada a vários tipos de redes, entre os quais podemos destacar:

- 802.3-Ethernet;
- 802.11-Redes locais sem fios (WLAN);
- 802.15-Redes de área pessoal sem fios (WPAN).

A norma IEEE 802.15.4 é, portanto, apropriada para dispositivos que, embora funcionem com débitos binários baixos, apresentam os atrativos de terem complexidade reduzida, devido ao consumo reduzido, e de permitirem que a sua bateria tenha uma grande durabilidade.

As redes que utilizam a norma 802.15.4 podem ser utilizadas em dispositivos ZigBee [3] com alcance máximo de 300 metros. A figura 1 ilustra a arquitetura em camadas de IEEE 802.15.4.

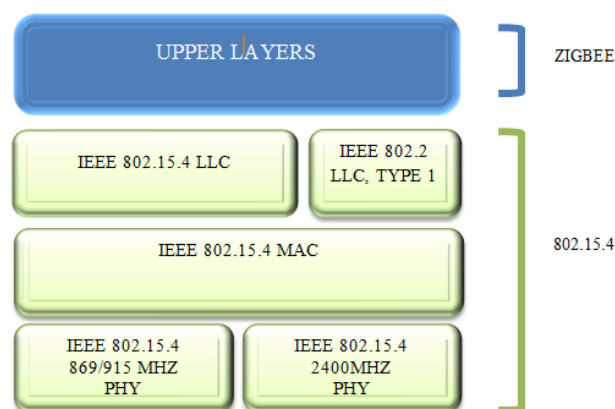


Figura 1- Arquitetura 802.15.4

2.1. Arquitetura de rede

A arquitetura do IEEE 802.15.4 é baseada no modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) [4] em que cada camada é responsável por parte das funcionalidades da norma, disponibilizando serviços para a camada superior. Assim, o protocolo torna-se mais simples na sua implementação, reduzindo a complexidade em pequenas frações.

A ligação que se estabelece entre cada camada e o acesso aos seus serviços, é constituída a partir de interfaces, como representado na figura seguinte.

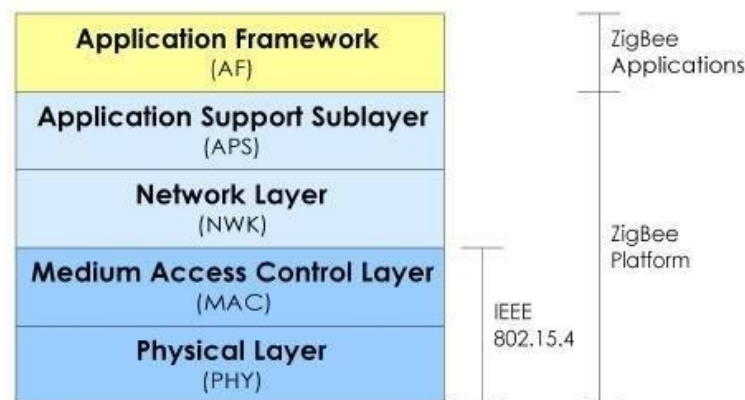


Figura 2- Subcamada norma IEEE 802.15.4, Fonte: <https://sites.google.com/site/teamofincredibles/zigbee>

Qualquer dispositivo, segundo este protocolo, é composto por duas camadas inferiores: a camada MAC e a camada PHY. A MAC desempenha a função de controlar o acesso ao canal de comunicação. Por sua vez, a camada PHY é responsável por transmitir e receber dados do meio externo e adequá-los para enviar para a camada MAC. Nas camadas superiores temos a camada de rede e a camada de aplicação, que não estão definidas nesta norma.

2.1.1. A camada física

A camada física [5] segue o protocolo 802.15.4, sendo a responsável por permitir a transmissão de unidades de dados de protocolo, PDU (*Protocol Data Unit*). Foi concebida para ser muito resistente às interferências, e tem como principal tarefa, transmitir e receber

dados do meio externo e adequá-los para enviar à camada de controlo de acesso ao meio. Esta transmissão é efetuada com base em ondas de rádio.

O padrão 802.15.4 especifica as seguintes características para a camada física:

- Existência de 3 bandas de frequência contidas em 27 canais;
- Receção e transmissão de dados digitais;
- Definição das modulações distribuídas nas 3 bandas de frequência;
- Possibilidade de configurar diversos níveis de segurança;
- Possibilidade de endereçamento automático dos dispositivos;
- Possibilidade de confirmação de mensagens por intermédio de uma *frame* do tipo *beacon*;
- Técnicas de múltiplo acesso ao canal.

A figura seguinte mostra a estrutura dos pacotes de dados da camada PHY.

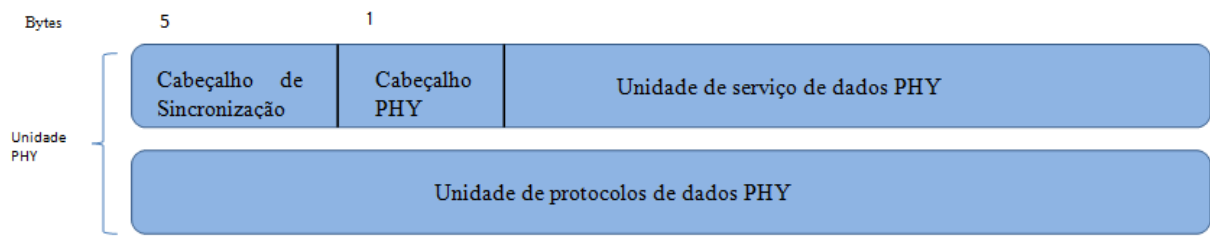


Figura 3- Característica PHY

2.1.2. A camada de controlo e acesso ao meio

Esta camada é responsável por toda a operação que envolve o canal físico de comunicação, ou seja, é responsável pela transmissão e receção de dados. Controla o acesso ao canal, *beacons*, o GTS (*Guaranteed Time Slot*), assim como a validação das *frames*, *acknowledgments*, e proporciona a associação e saída da rede, fornecendo também mecanismos de segurança para as aplicações.

A camada MAC [6] dispõe de dois tipos de serviços: de informação e de gestão. O serviço de informação permite a transmissão e recepção de pacotes de nível MAC através do serviço de dados da camada PHY. O serviço de gestão, no caso de este dispositivo ser o coordenador da rede PAN (*Personal Area Network*), coordena os *beacons* da rede.

Assim, a camada MAC é responsável pelas seguintes funções:

- Gestão de *Beacons*;
- Acesso aos canais;
- Gestão de GTS (*Guaranteed time slots*);
- Validação de *frame*;
- Relatório de recepção das *frames* enviadas (ACK).

Os *beacons* são pacotes de controlo que delimitam os quadros utilizados pelo coordenador para sincronizar com os demais dispositivos da rede. A figura 4 ilustra os quatro tipos de quadros básicos definidos em 802.15.4: dados, o ACK, o comando MAC e *beacon*.

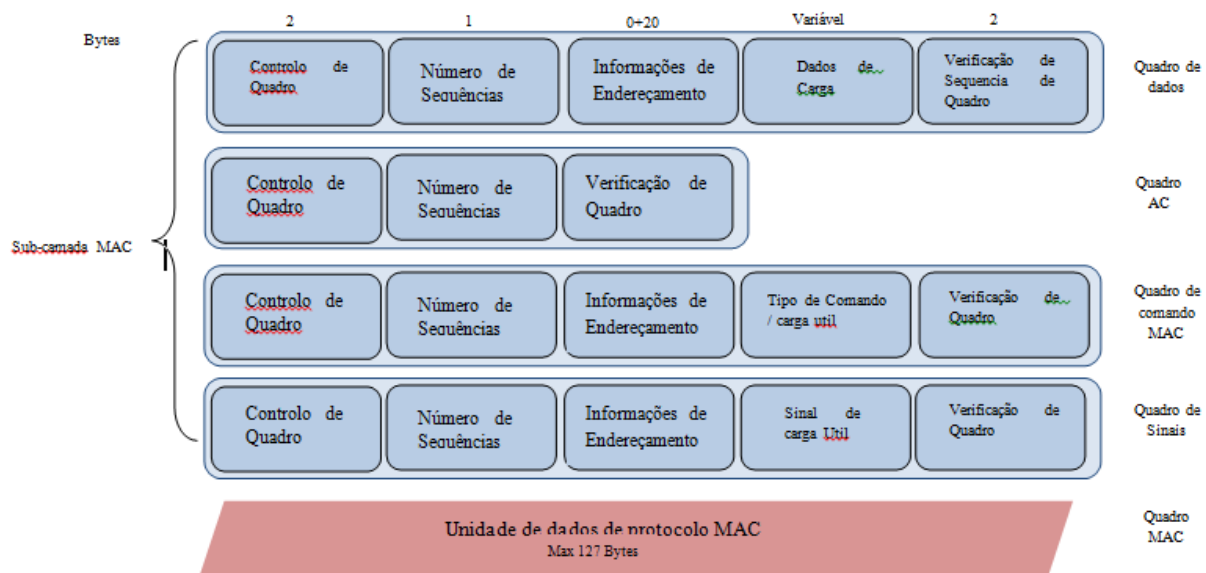


Figura 4- Características MAC

2.2. Parâmetros do IEEE 802.15.4

O padrão IEEE 802.15.4 é adotado em sistemas que operam na banda de frequência ISM (*Industrial Scientific Medical*), podendo trabalhar nas frequências de 868MHz, 915 MHz e 2.4GHz. A tabela 1 mostra as principais características do padrão IEEE 802.15.4.

OPTIONS FOR FREQUENCY ASSIGNMENTS			
Geographical regions	Europe	Americas	Worldwide
Frequency assignment	868 to 868.6 MHz	902 to 928 MHz	2.4 to 2.4835 GHz
Number of channels	1	10	16
Channel bandwidth	600 kHz	2 MHz	5 MHz
Symbol rate	20 ksymbols/s	40 ksymbols/s	62.5 ksymbols/s
Data rate	20 kbits/s	40 kbits/s	250 kbits/s
Modulation	BPSK	BPSK	Q-QPSK

Tabela 1- Parâmetros da norma IEEE 802.15.4, Fonte: <http://electronicdesign.com/what-s-difference-between/what-s-difference-between-ieee-802154-and-zigbee-wireless>

Na banda de 868MHz existe só um canal, e este, embora permita apenas débitos binários até aos 20 Kbps, é o que sofre menos perdas de atenuação, permitindo oferecer uma maior área de cobertura.

Por sua vez, nas bandas dos 915MHz e 2.4GHz, estão disponíveis 10 e 16 canais respetivamente. Na banda dos 2.4GHz, que é a mais utilizada, a largura de banda de cada canal é de 2.5MHz, o espaçamento entre canais é de 5MHz e o débito binário pode atingir os 250kbps.

2.3. Modulação

No padrão IEEE 802.15.4 são adotadas as modulações BPSK [7] (*Binary Phase Shift Keying*) e OQPSK [8] (*Orthogonal-Quadrature Phase Shift Keying*). Ambas oferecem uma taxa de erro BER (*bit error rate*) muito baixa, para um baixo nível de relação sinal ruído, SNR (*Signal-to-noise ratio*). Nas bandas de 902/868 MHz, a modulação é BPSK e um símbolo corresponde a um 1 bit, enquanto na banda de 2.4 GHz com modulação O-QPSK um símbolo corresponde a 2 bits.

A modulação BPSK é o processo na qual a fase angular da portadora é alterada em 180° (ex.: 0° e 180°) quando há uma troca de bits do sinal que se pretende modular. Cada uma das fases representará um valor de um bit: 0 ou 1, assim, quando o sinal for demodulado no recetor, a fase 0° será traduzida como um bit 0, e a fase de 180° será traduzida como um bit 1. A modulação BPSK tem como vantagens a sua fácil implementação, robustez, o bom desempenho do ponto de vista da eficiência de potência e menos sensível a ruídos.

Na figura 5 ilustra-se a modulação BPSK; apresenta-se uma sequência de bits e a correspondente portadora modulada, usando desvios de fase de 0° e 180° .

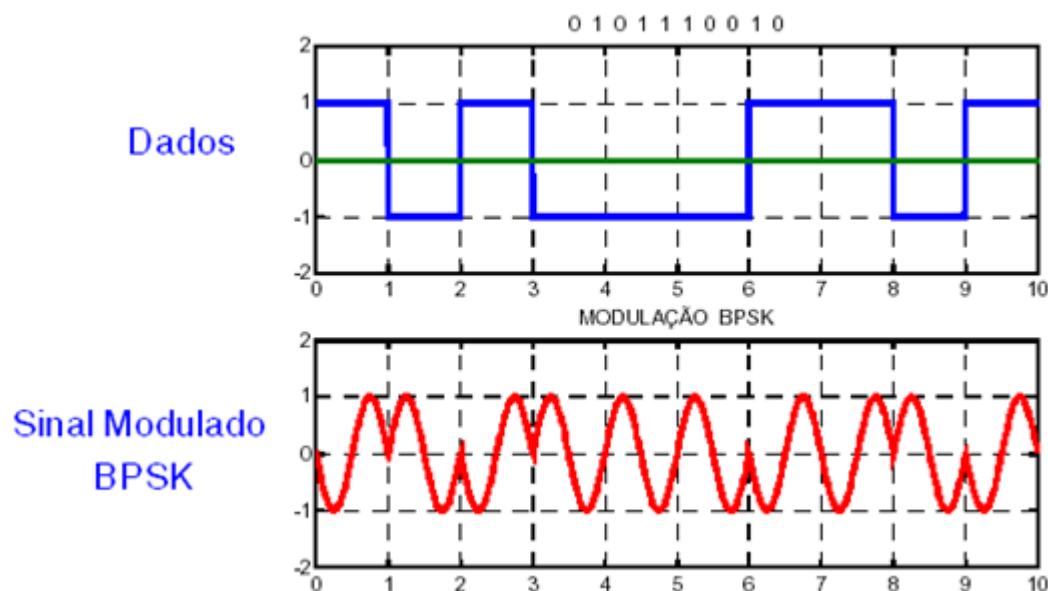


Figura 5- Portadora modulada BPSK, Fonte: http://www.analuisamartins.com/sites/default/files/academic/isec_2003_gsm.pdf

Na modulação OQPSK os componentes em fase e em quadratura de sinal trazem um deslocamento relativo (*off-set*) igual à metade do tempo de símbolo, onde cada um fornece 2

bits. Este deslocamento faz com que os saltos instantâneos de fase não ultrapassem os $\pi/2$ radianos. Como é codificada com 4 bits permite que o débito seja quatro vezes superior por cada amostra, mas em contra partida, a margem de erro para a recuperação do sinal seja quatro vezes menor. Este tipo de modulação é indicado para aplicações em meios nos quais a eficiência de largura de banda, a baixa potência, ou seja, baixo consumo de energia são prioritários. Esta modulação também é mais eficiente em relação à taxa de erro de bits.

A figura 7 apresenta o sinal modulado em OQPSK, para o sinal de dados da figura 6. Conforme se observa, as transições em 180° foram eliminadas, pois não há possibilidade de ocorrerem. Devido ao *off-set* dos canais I e Q, uma variação de fase de 180° do OQPSK foi transformada em duas etapas de 90° .

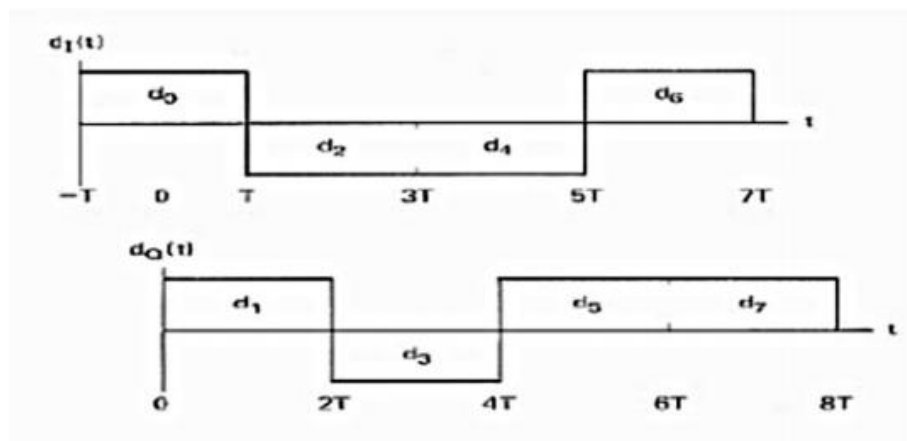


Figura 6- Canais I e Q, Fonte: http://www.analuisamartins.com/sites/default/files/academic/isec_2003_gsm.pdf

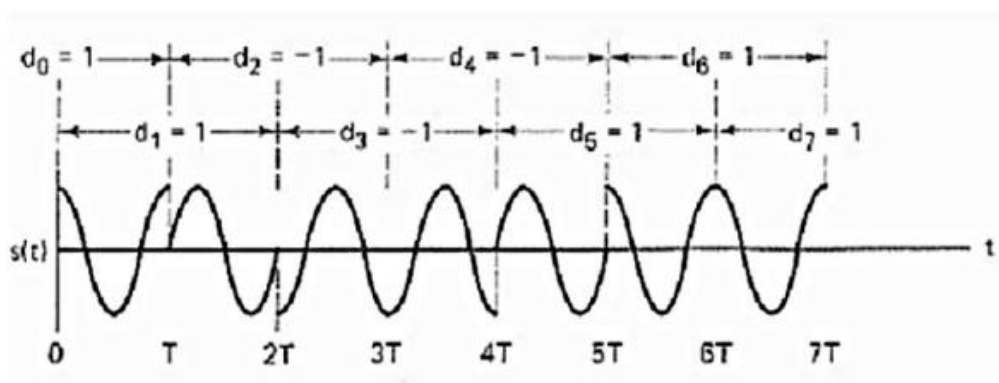


Figura 7- Sinal modulado OQPSK, Fonte: http://www.analuisamartins.com/sites/default/files/academic/isec_2003_gsm.pdf

2.4. Topologias de rede

O padrão IEEE 802.15.4 opera em duas topologias de rede [9]: a topologia em estrela e a topologia ponto-a-ponto. Na figura 3, apresentam-se diagramas com as ligações para essas topologias.

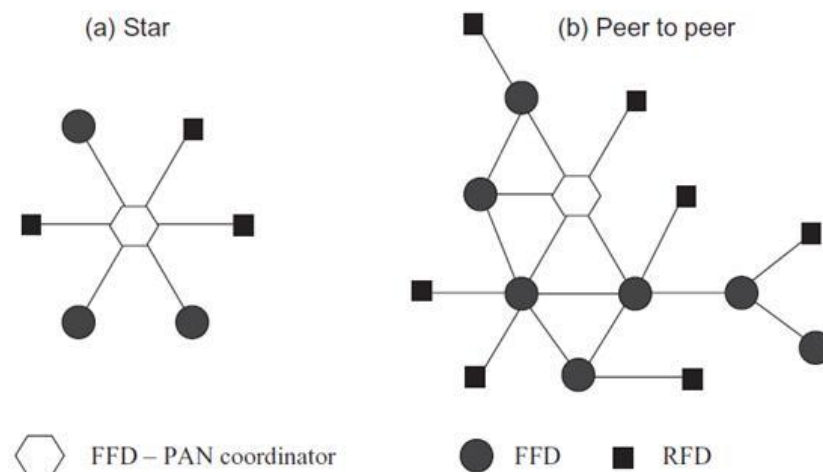


Figura 8- Tipos de Topologia, fonte: <http://zeitgeistlab.ca/doc/personal-area-networks.html>

Na topologia em estrela (*star*), a comunicação é realizada entre um sistema de controlo central, denominado coordenador da PAN, e os dispositivos. Isto é, nesta topologia, existe um nó central que comunica com todos os outros nós da rede, mas estes não comunicam diretamente entre si.

Geralmente, o nó PAN tem maior capacidade de processamento que os outros nós, devido ao facto dos atuais *transceivers* de radiofrequência (RF) poderem facilmente alcançar distâncias da ordem dos 200m. Este tipo de topologia é a mais utilizada, principalmente para a monitorização industrial.

Já na topologia de rede ponto a ponto (*peer-to-peer*), onde também há um coordenador da PAN, todos os dispositivos podem comunicar entre si. Esta topologia é muito utilizada atualmente para criar redes de larga escala, formadas por centenas a milhares de nós. Esta topologia tem como vantagem a possibilidade de implementar rotas alternativas, o que a torna mais vantajosa em relação à topologia estrela. Um exemplo desta topologia é a chamada rede

mesh, onde há a presença do *coordinator*, *router* e *endpoint*. Este tipo de topologia será abordado em 3.3.

O PAN Coordenador FFD [10] (*Full Function Device*) é o único coordenador responsável pela rede. O PAN coordenador tem a capacidade de criar uma rede de raiz, bem como comutar os dados entre as redes. É o responsável pela criação e manutenção da rede, armazenando informação de gestão interna relevante para o seu funcionamento, podendo também funcionar como meio de ligação entre nós. Neste padrão existem outros dois tipos de dispositivos, que são o dispositivo de função completa FFD (*Full Function Devices*) ou *router* e o dispositivo de função reduzida RFD (*Reduced Function Devices*) ou *endpoint*.

O dispositivo FFD funciona em qualquer topologia de rede, tendo a capacidade de coordenar uma rede e consequentemente ter acesso a todos os outros dispositivos.

Os dispositivos RFD estão limitados a uma configuração com a topologia em estrela. Nunca poderão ser coordenadores de rede, podendo apenas comunicar com um coordenador da rede. Estes dispositivos são sempre terminais e são dotados de menor capacidade de memória e potência, tornando-se mais simples e de menor custo. Garantem um baixo consumo de energia e são dispositivos de construção simples e fácil implementação. Na tabela 2 referem-se algumas funções que podem ser associadas a cada um dos tipos de dispositivos.

Dispositivo	Coordinator	Router	Endpoint
Tipo de dispositivo físico associado (IEEE 802.15.4)	FFD	FFD	RFD ou FFD
Função	Forma a rede, atribui endereços, suporta binding table. Existe apenas um por rede.	Permite que mais nós se juntem à rede, ao aumentar o seu alcance físico. Pode também efetuar funções de controlo ou monitorização. A sua existência é opcional.	Efetua ação de controlo ou monitorização através de dispositivo que lhe esteja associado (sensor, controlador, atuador...).

Tabela 2- Classes e tipos de dispositivos lógicos

3. ZIGBEE

O padrão ZigBee [11] foi desenvolvido pela *Zigbee Alliance* [23] em conjunto com o IEEE, tendo em vista a criação de um tipo alternativo de comunicação em redes que não requerem mecanismos de controlo complexos. Destina-se, portanto, a ser utilizado em sistemas com custos de aquisição, instalação e manutenção reduzidos. De facto, trata-se de uma tecnologia pouco complexa que oferece flexibilidade quanto aos tipos de dispositivos que consegue controlar.

A nomenclatura ZigBee (Zig = trajectória e e Bee= abelha) foi criada a partir da analogia entre o funcionamento de uma rede Mesh e os modos de trabalho e locomoção das abelhas. As abelhas que vivem numa colmeia e voam em zigzague à procura do nectar, ao passarem umas pelas outras, trocam informações, sobre a distância, a direcção e a localização do alimento. E, partindo desta ideia, desenvolveu-se um protocolo onde simples nós que se encontram em comunicação permanente formam uma rede mais complexa.

3.1. Protocolo Zigbee

O protocolo ZigBee [11] [12] está construído e alicerçado na especificação IEEE 802.15.4, que define a MAC e a PHY para esta tipificação de redes. Permite comunicações robustas e opera na frequência ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), não requerendo, por isso, qualquer tipo de licenciamento. Abrange a faixa de 2,4 GHz em todo o mundo, 915Mhz na América e 868Mhz na Europa.

Como ilustra a tabela 3, as taxas de transferência de dados são de 250kbps, 40kbps e 20kbps para 2,4GHz, 915Mhz e 868Mhz, respetivamente.

As redes baseadas no protocolo ZigBee oferecem uma excelente imunidade a interferências e dispõem de uma grande capacidade de hospedar milhares de dispositivos ligados na mesma rede (65.000 dispositivos por canal).

	Zigbee IEEE 802.15.4
Aplicação	Controlo e Monitorização
Banda de Frequência	2,4GHz 868MHz 915 MHz
Baterias (vida útil)	até 7000 dias
Nós por rede	65000
Largura de Banda	20-250 Kps
Alcance (metros)	até 75
Topologia	Árvore, Estrela e Mesh

Tabela 3- Características protocolo Zigbee

O protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4) [13] foi planeado e desenvolvido, visando obedecer às seguintes características:

- Baixo consumo energético e implementação simples, com interfaces de baixo custo;
- Dois estados de funcionamento: "*active*" para transmissão e receção e "*sleep*", quando está inativo;
- Simplicidade de configuração e redundância de dispositivos;
- As camadas PHY e MAC permitem que as redes funcionem com grande número de dispositivos ativos;
- Transferência fiável de dados com níveis apropriados de segurança.

3.2. Dispositivos Zigbee

Classificam-se dois tipos de dispositivos Zigbee, de acordo com a capacidade de processamento: FFD e RFD (ver 2.4).

Quanto à função que desempenham dentro da rede, os dispositivos Zigbee podem ser classificados de três modos: coordenador, router e *end-device* [14].

- **Coordenador ZigBee:** É um FFD, ou seja, é um dispositivo capaz de rotear pacotes ZigBee, sendo o responsável pela gestão de toda a rede. Em cada rede existe apenas um coordenador que é responsável pela seleção do canal em uso na rede, atribui os endereços aos elementos constituintes da rede, controla os equipamentos que podem ser adicionados e retirados da rede, armazena informação sobre as redes vizinhas e a quem compete a transferência de pacotes de aplicação. Existe um coordenador em cada rede, em que este é o nó inicial;
- **Router ZigBee:** É um FFD que tem a finalidade de, numa rede em árvore ou em malha, expandir a cobertura da rede e encaminhar a mensagem a transmitir pelo melhor caminho até ao seu destino. De facto, tem o mesmo papel que um coordenador mas não pode influir sobre as definições que estabelece a rede. Para além de oferecer um nível de aplicação para a execução do código do utilizador, pode atuar como router interligando dispositivos separados na topologia da rede;
- **End-Device:** Este dispositivo é normalmente de um RFD. Apenas transmite ou recebe mensagens e não as encaminha para outros dispositivos. Também não conecta novos dispositivos à rede. Geralmente, é alimentado por bateria e costuma entrar em modo de suspensão para conservar o máximo de energia. Isto é, trata-se de um dispositivo com capacidade de processamento limitada, que se junta a uma rede já existente, possuindo as funcionalidades necessárias para comunicar com o coordenador ou com um router, mas não podendo transmitir informação destinada a outros dispositivos.

Na tabela 4 resumem-se as funções que cada um dos dispositivos está habilitado a realizar:

Função	Coordenador	Router	End-Device
Inicializar e formar uma rede Zigbee	X		
Permitir associação de outros dispositivos à rede	X	X	
Atribuir endereço de rede de 16 bits a dispositivos associados	X	X	
Descobrir e gravar caminhos na rede para roteamento eficiente de mensagens	X	X	
Descobrir e gravar lista de dispositivos vizinhos	X	X	
Executar o roteamento de mensagens	X	X	
Enviar e receber pacotes de dados	X	X	X
Solicitar associação ou dissociação da rede	X	X	X
Entrar no estado "domínio" para economizar energia			X

Tabela 4- Funções do Coordenador, Router e End-Device

3.3. Topologia de rede Zigbee

Uma rede ZigBee pode ser organizada em três tipos de topologias [15]: em estrela (*star*), árvore (*tree*) e malha (*mesh*). Cada uma delas, apresenta as seguintes características:

- **Topologia em Estrela (*star*)** - Esta topologia é adequada para ambientes com poucos obstáculos à transmissão do sinal. É composta por um dispositivo coordenador no centro da rede e vários dispositivos ligados a este. Neste caso, todas as mensagens passam pelo ponto central da rede, e os dispositivos finais não podem comunicar diretamente entre si. Esta topologia apresenta o atrativo da simplicidade de implementação; contudo, a dependência de um coordenador único é um aspeto negativo que torna o alcance da rede menor;
- **Topologia em Árvore (*tree*)** - Nesta topologia, a rede é formada por sub-redes que comunicam através de routers. O coordenador é o responsável pela rede, podendo dizer-se que assume o papel de “nó nuclear”, enquanto o router tem associados a si os *End-Devices*. A maior vantagem desta topologia é a capacidade de cobertura que a

rede pode alcançar. A maior limitação prende-se com o facto de os *End-Devices* ficarem incomunicáveis, caso o router fique indisponível;

- **Topologia em Malha (*mesh*)** – Esta topologia caracteriza-se por incluir um coordenador da rede, que assume o papel de organizador da rede, mas não centraliza toda a comunicação, pois cada dispositivo pode comunicar diretamente com outros que estejam ao seu alcance e pode usá-los para atingir outros, que estejam fora do seu alcance direto. As mensagens percorrem caminhos diferentes de acordo com a necessidade, ficando o encaminhamento a cargo dos coordenadores e dos routers. Este tipo de topologia permite que a rede se ajuste automaticamente com a entrada ou saída de dispositivos. Nesta situação, existem múltiplos caminhos entre os diferentes nós e a rede é auto-suficiente para otimizar o tráfego de dados. Usando esta topologia podemos ter redes muito extensas, cobrindo largas áreas.

As topologias acima descritas, podem-se representar como mostra a figura 9:

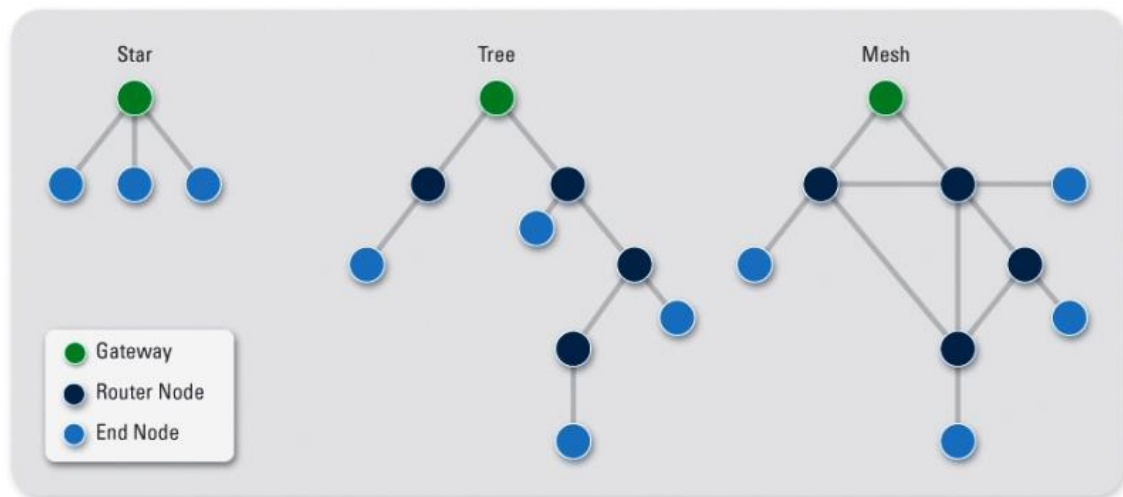


Figura 9- Topologia Topologia em estrela, árvore e malha, Fonte: <http://www.ni.com/white-paper/9852/en/>

3.4 Arquitetura

A tecnologia ZigBee é implementada sobre padrão IEEE 802.15.4, que define a camada Física (PHY) e de Acesso ao Meio (MAC) em *Personal Area Networks*, para baixos custos e

baixas taxas de transmissão. Fica a cargo da especificação ZigBee, definir as Camadas de Rede (NWK) e de Aplicação (APL) que deem suporte para a finalidade da aplicação e para as combinações de topologias possíveis entre os dispositivos na rede. A figura 10 mostra a arquitetura [14] do protocolo ZigBee.

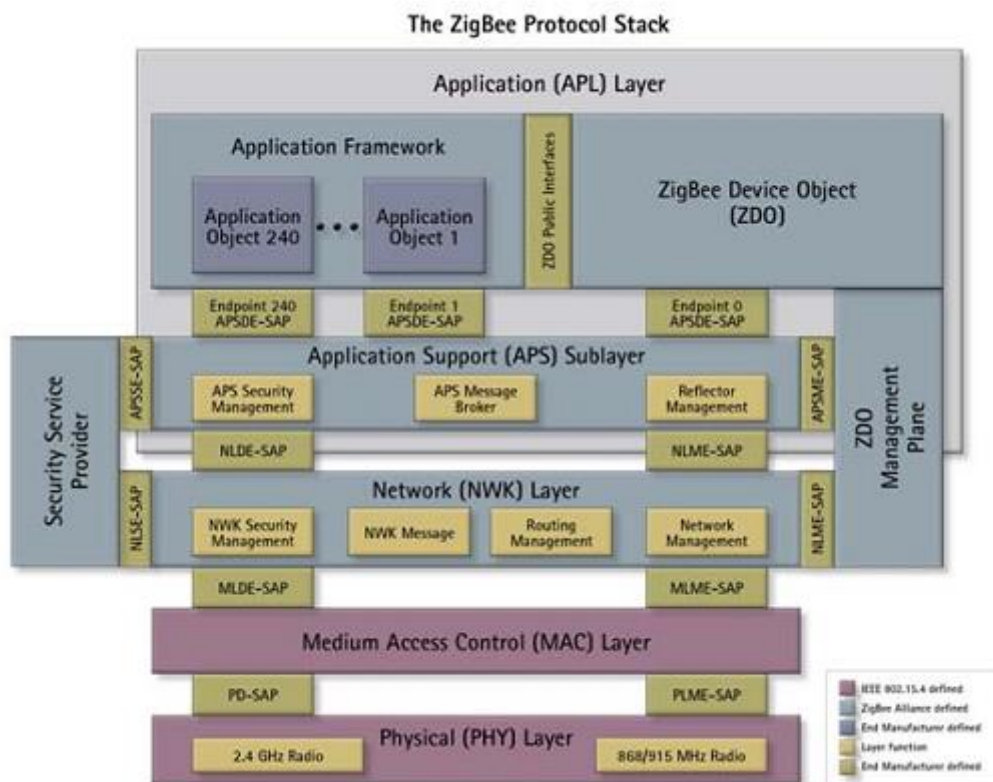


Figura 10- Arquitetura do protocolo Zigbee, Fonte: <http://embedded-design-vic.blogspot.pt/2011/11/zigbee.html>

3.4.1. Camada de rede

A camada de rede [16] serve de interface entre as camadas de aplicação e a MAC, controlando o fluxo de dados que circula na rede e a distância que a *frame* pode percorrer nesta. Possibilita o crescimento da rede sem a necessidade de equipamentos de transmissão de maior potência e a sua função principal consiste em garantir a segurança de dados, a sincronização da rede e atribuir um endereço de 16 bits para cada dispositivo da rede.

3.4.2. Camada de aplicação

A camada de aplicação [16] contém os objetos de aplicação, que são subdivididos em três subcamadas: APS (*Application Support Sub Layer*), ZDO (*ZigBee Device Object*) e AF (*Application Framework*), que é definida pelo fabricante como APO (*Application Objects*). As mesmas caracterizam-se da seguinte forma:

- *Application Support Sub Layer*: fornece uma interface entre a camada de rede com o ZDO e os objetos das aplicações produzidos. Disponibiliza os serviços para que haja interação entre a camada de rede e os nós com o ZDO. Os serviços fornecidos no suporte à aplicação são o *discovery* e o *blinding*. O primeiro identifica outros pontos ativos na região de alcance daquele dispositivo e o segundo une dois ou mais dispositivos considerando as suas necessidades e serviços;
- *ZigBee Device Object*: possui três serviços importantes: descoberta, segurança e vinculação. O serviço de descoberta tem o papel de encontrar nós, requerendo o endereço MAC do coordenador ou do router através de mensagens. O serviço de segurança faz a autenticação, recebendo as chaves de criptografia dos dados. A vinculação é feita pelo coordenador, que controla a rede, interligando a um PAN existente ou criando novos PAN;
- *Application Framework*: é o ambiente onde os aplicativos dos usuários interagem com o protocolo ZigBee, possibilitando configurar os dispositivos da aplicação. O AF fornece funções em que permite configurar os *endpoints*, receber e enviar dados.

3.5. Montagem de uma rede no padrão ZigBee

A formação de uma nova rede ZigBee é iniciada quando é enviada, pela camada de rede, uma mensagem ou primitiva para o coordenador, garantindo que o mesmo não pertence a nenhuma rede. Para inicializar uma rede o coordenador procura um conjunto de canais, os quais, posteriormente, são organizados consoante os seus níveis de energia. O coordenador procura então, em cada canal, os dispositivos ou redes ZigBee. Com base neste processo de procura, o

coordenador escolhe o melhor canal para criar uma nova rede, privilegiando canais que estejam disponíveis.

3.5.1. Modos de operação em rede

O protocolo ZigBee permite a implementação de várias topologias de rede, que podem operar em dois modos – *Non-Beaconing* e *Beaconing* [11] – dotando os dispositivos ZigBee de uma grande versatilidade.

No modo *Non-Beaconing*, a quase totalidade dos nós da rede está com os seus recetores permanentemente ativos, tendo um consumo energético mais elevado. Perante esta situação, os dispositivos devem ser alimentados com baterias mais potentes ou fontes de alimentação mais robustas. Este modo permite respostas mais rápidas.

No modo *Beaconing*, os dispositivos com funções de router, transmitem periodicamente sinalização (*beaconing*) para confirmar a sua presença aos outros routers da mesma rede, enquanto os outros nós da rede só precisam de estar ativos no momento da sinalização. Estes dispositivos devem ser configurados para estarem em modo *sleep*, entre as sinalizações, o que irá garantir um consumo energético bastante baixo. A Figura 11 demonstra a estrutura de um *frame API*.

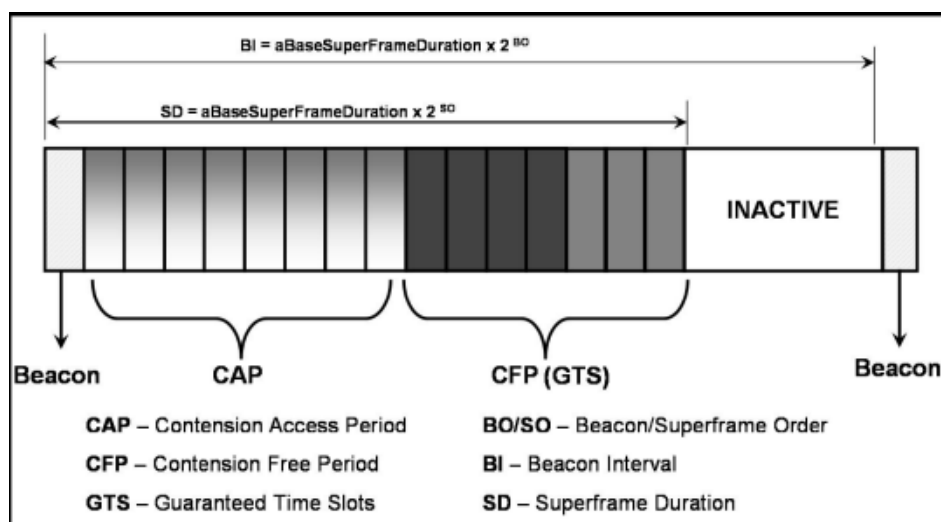


Figura 11-Estrutura da frame, Fonte: <http://www.ifn.et.tu-dresden.de/~marandin/ZigBee/ZigBeeTutorial.html>

3.5.2. Tipos de mensagens nas redes ZigBee

No protocolo ZigBee, podemos classificar a transmissão de dados em três tipos: *broadcast*, *multicast* e *unicast* [11].

A mensagem *broadcast* é destinada a todos os dispositivos que estão ligados ao mesmo canal de frequência, independentemente do seu endereço ou indentificador na rede. O coordenador, quando recebe o comando de *broadcast*, utiliza o router mais próximo para que a informação chegue ao dispositivo final.

No método *multicast*, a informação é enviada para um determinado grupo na mesma rede, em vez de ir para toda a rede. Cada grupo de dispositivos é identificado por um ID de grupo, de 16 bits. Os dispositivos pertencentes ao mesmo grupo são designados de *group members*. Um dispositivo não é exclusivo de um grupo, pode pertencer a vários grupos, e a lista dos grupos *multicast* aos quais pertence é registado na chamada tabela *multicast*. Um dispositivo não necessita de ser membro de um grupo *multicast* para ser capaz de usar *multicasting* para aceder a um membro.

As mensagens *unicast* são enviadas diretamente para um só dispositivo na rede, dado que a mensagem contém o endereço específico do dispositivo. Na figura 12 encontram-se ilustrados os três métodos de comunicação mencionados anteriormente.

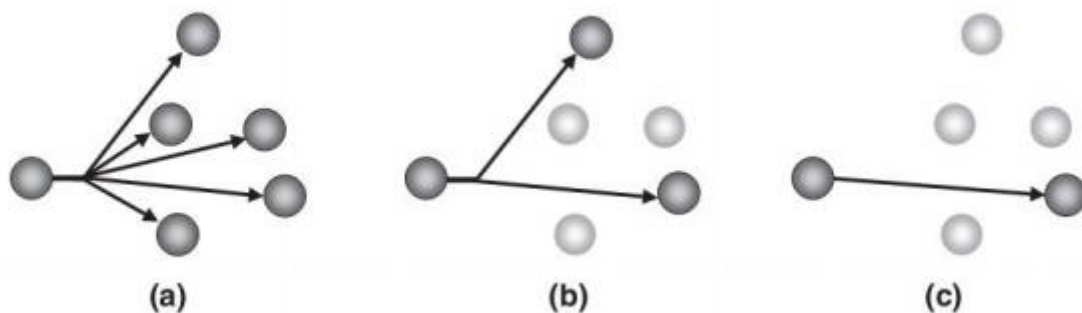


Figura 12- a) Broadcast, (b) Multicast, (c) Unicast, Fonte: FARAHANI, Shahin Zigbee Wireless Networks and transceivers. Newnes, 2008

4. Sistemas de domótica

A domótica [18] foi criada para melhorar a qualidade de vida, o bem-estar e segurança das pessoas. O termo surge da junção da palavra “Domus”, que significa residência, com a palavra “Telemática”, que significa eletrônica e informática. Também conhecida como ciência moderna de engenharia das instalações em edifícios, pretende aplicar novas tecnologias, tornando os edifícios inteligentes, proporcionando maior conforto, e mesmo, a redução no gasto de energia elétrica como se pode ver na figura 13. A domótica é uma tecnologia que engloba quatro vetores fundamentais:

- Energia: regulação de temperatura, gestão dos consumos de cada eletrodoméstico e da potência contratada;
- Segurança: deteção de intrusão, incêndio, inundação, fuga de gás;
- Comunicação: controlo remoto, telemetria, correio eletrónico, Internet;
- Conforto: programações horárias, cenários luminosos, rega automática.



Figura 13- Domótica, Fonte: <http://insbar.es/domotica/>

De facto, uma residência inteligente contém um sistema para gerir todo o tráfego de informação, bem como um sistema de controlo dos equipamentos, permitindo um maior conforto com um menor gasto de energia.

Para tal, é necessário um conjunto de dispositivos, que são distribuídos numa casa/edifício, em função das necessidades. Estes dispositivos devem estar ligados entre si e podem ser sensores, atuadores, controladores ou interfaces. A isto, se pode chamar de rede de domótica, como mostra a figura 14.

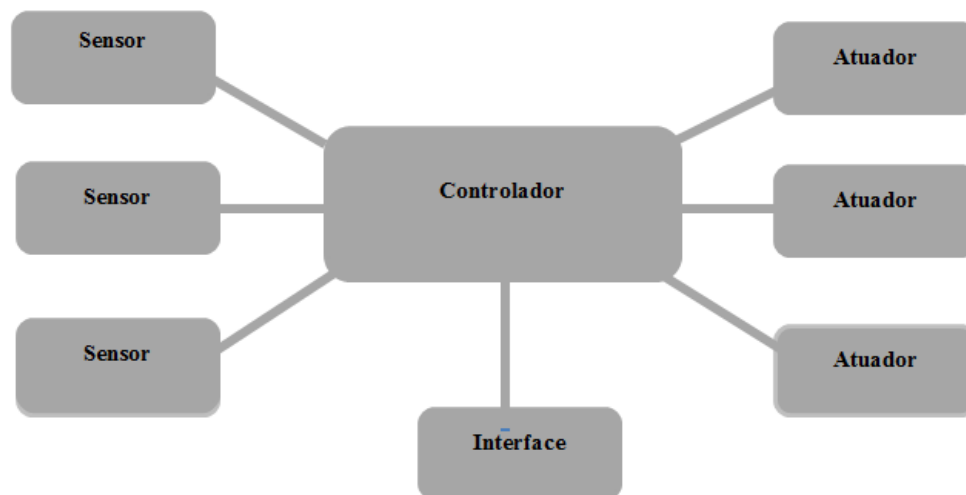


Figura 14- Exemplo de uma arquitetura centralizada

Com a constante evolução da eletrónica, no campo dos sensores [19], atuadores, e das redes de comunicação de dados, é-nos possível, agora, dispor de uma grande variedade de equipamentos com preços mais acessíveis e com a capacidade de se integrarem numa rede de comunicação.

Os Atuadores e sensores são importantes dispositivos de um sistema domótico, eles podem ser interligados diretamente ao controlador ou serem conectados por meio de algum interface a uma rede de dados para que possam ser utilizados pelo sistema domótico. Existe uma grande variedade de atuadores e sensores que possibilitam a execução de ações e de monitorização de equipamentos.

Os sensores são os responsáveis pela captação de valores e informações do local, como, por exemplo, presença de pessoas, temperatura, falta de energia, fugas de água ou gás, incêndio, luminosidade, tempo, vento, humidade, etc.. Com estas informações recolhidas, realiza-se o controlo de atuadores, são o caso de estores, portas, rega, funções ligar e desligar, variar a iluminação ou o aquecimento, ventilação, sirenes de alarme, etc..

O controlador é o elemento central que administra todo o sistema domótico. Nele reside toda a inteligência do sistema. Normalmente, todos os outros elementos do sistema são conectados ao controlador, enviando e recebendo informações. No controlador chegam as informações dos sensores, as quais são processadas para gerar alguma ação nos atuadores, ou ainda para apresentar alguma informação ao usuário.

Para que a informação seja transmitida, são utilizadas interfaces como *displays*, *pc's*, *pda's*, *webpads*, consolas, telefone, telemóvel, internet. Existem ainda, outros elementos necessários ao funcionamento do sistema, tais como, *modems*, *routers* ou *gateways*, os quais permitem o envio de informação entre os diversos meios de transmissão onde circula a mensagem. A figura 15 mostra um exemplo de comunicação dos vários elementos.

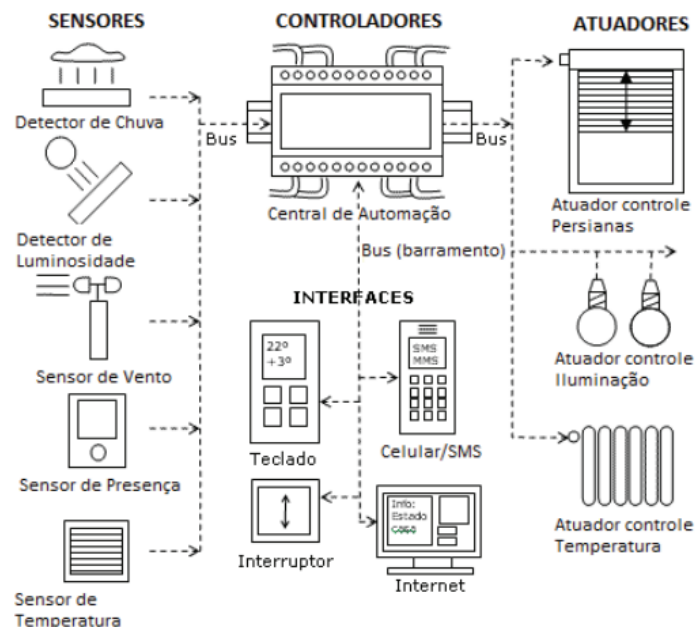


Figura 15- Exemplo da comunicação dos elementos básicos, Fonte: <http://revistatis.dc.ufscar.br/index.php/revista/article/view/27/30>

É durante a construção da casa/edifício que se torna mais fácil equipar a mesma devido à acessibilidade das paredes e à capacidade de fazer qualquer alteração, para instalar certas tecnologias. Em casas já construídas a solução mais utilizada é a de sistemas sem fios, pois evita as mudanças relativamente à estrutura. Estes sistemas utilizam a comunicação via rádio ou por sinais de infravermelhos com um controlador central.

Dentro das principais tecnologias domóticas existentes no mercado podemos referir o CEBus (*Consumer Electronics Bus*), o LonWorks (*Local Operating Network*), o X10 e o KNX (Konnex). Este último surgiu como um dos anteriormente referidos movimentos de uniformização, denominado inicialmente por EIB (*European Instalation Bus*). Mais recentemente, outras empresas optaram por se unir ao EIB, tendo então mudado o seu nome para KNX, no entanto este sistema ainda é vulgarmente conhecido pelo seu anterior nome.

4.1. Protocolo KNX

O protocolo KNX [20] nasceu do desenvolvimento e da vontade de tornar *standard* as especificações de comunicação do antigo protocolo EIB (*European Instalation Bus*). Este protocolo resultou da fusão das associações EIBA – BCI (Batibus Club International) e EHSA (*European Home Systems Association*) juntamente com empresas ligadas ao fabrico de materiais eléctricos, eletrónicos e eletrodomésticos.

Este protocolo pode ser utilizado em vários ambientes, desde a pequena habitação a grandes condomínios, com a finalidade de monitorizar e controlar sistemas de iluminação, aquecimento, ventilação, ar condicionado e vigilância, como se pode ver na figura 16.

O KNX é concebido de modo a que os dispositivos retirem a energia necessária para o seu funcionamento, diretamente das redes de comunicação. Outros dispositivos podem, adicionalmente, necessitar de fornecimento de energia por outros meios, como os dispositivos que comunicam com o sistema por radiofrequência ou infravermelhos.

Todas estas funções podem ser controladas, vigiadas e sinalizadas através de um sistema único, sem necessidade de centrais de controlo extra. Todos os componentes do sistema são ligados à rede KNX e as ligações podem ser feitas por par entrançado, infravermelhos, radiofrequência, rede eléctrica ou IP/Ethernet.

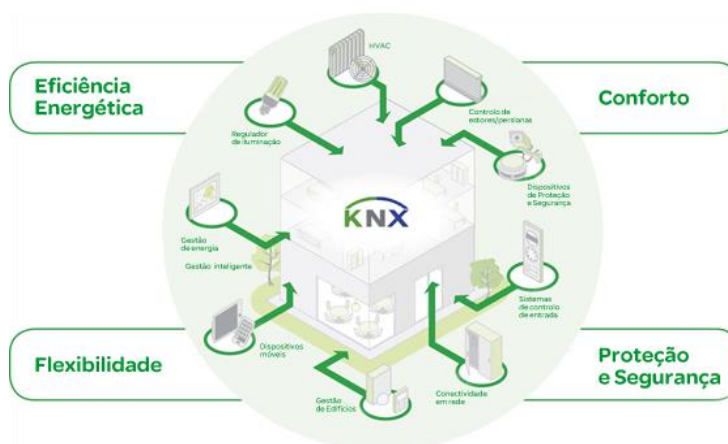


Figura 16- Funcionalidades KNX, Fonte: <http://www.schneiderelectric.pt/sites/portugal/pt/produtos-servicos/product-launch/knx/knx.page>

No âmbito de uma instalação elétrica convencional, é necessário especificar como e onde os sistemas de uso doméstico serão controlados antes de realizar as obras de construção. Em contrapartida, uma instalação KNX destaca-se pela sua flexibilidade, pois é possível alterar e expandir todas as funções a qualquer momento.

As figuras 17 e 18 mostram uma solução convencional, e uma solução KNX. Na primeira, a instalação requer linhas de potência para a sua alimentação, e para todas as funções de comutação tais como, interruptores, controlo, regulação, visualização e de medida. Para transformar uma instalação convencional numa instalação KNX é necessário que todas as linhas de potência sejam substituídas por uma linha de *bus*. Na figura 18 o *bus* é ligado a uma fonte de alimentação e a todos os sensores, atuadores, e dispositivos do sistema. A linha de potência só será necessária para alimentar os pontos de consumo. O sistema KNX é composto por dois sistemas de transmissão: o de potência e o de sinal.

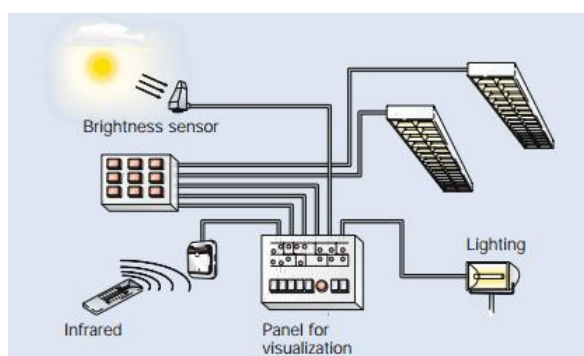


Figura 17- Solução Convencional, Fonte: https://library.e.abb.com/public/e784bbf356160fcec125777e002aa94a/0156_Systembe_GB_06_09.pdf

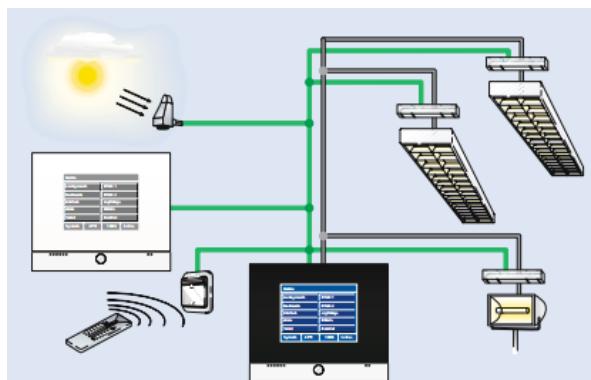


Figura 18- Solução inteligente, Fonte:

https://library.e.abb.com/public/e784bbf356160fcec125777e002aa94a/0156_Systembe_GB_06_09.pdf

4.2. Topologia da rede KNX

O sistema KNX suporta diferentes meios físicos de comunicação [26], como o “*Twisted Pair*” (par trançado), que é o tipo de rede mais comum, mas também rede elétrica, radiofrequência e infravermelhos. É ainda possível instalar *gateways* para outras redes como WLAN ou Ethernet.

Todas estas formas de comunicar permitem ao sistema a facilidade de efetuar mudanças, atualizações e expansões, sem que se tenha a necessidade de desenhar novamente o sistema, reconstruir a instalação ou efetuar mudanças mais profundas que não as pretendidas.

A topologia da rede pode ser compreendida como a descrição dos percursos através dos quais os sinais de comunicação são transportados. Em alguns casos, a comunicação não é efetuada com base em sinais elétricos, como é o caso das redes de radiofrequência e infravermelhos, contrariamente às habituais redes de par trançado, rede elétrica ou fibra ótica.

A tecnologia KNX pode alojar um máximo teórico de 65.536 dispositivos, correspondendo a um espaço de endereçamento de 16 bit. A topologia de uma rede permite interligar 256 dispositivos num segmento, podendo ligar até 15 segmentos a uma linha principal formando uma área ou zona. Uma linha de *backbone* pode ser usada para interligar até 15 áreas.

4.3. Modos de configuração

No KNX existem dois tipos de configuração [20]: o *S-Mode*, e o *E-Mode*.

Na instalação **Modo S**, o planeamento da instalação e configuração são feitos através de um PC com o *software* ETS instalado, onde os dados do produto do fabricante estão contidos na base de dados ETS. O modo S destina-se a planeadores e instaladores com certificação KNX e a instalações de grandes dimensões.

Na Instalação **Modo E**, a configuração é feita sem a ajuda de um PC, e os produtos compatíveis com este modo oferecem funções limitadas. Para este modo, os componentes encontram-se já pré-programados e carregados com um conjunto de parâmetros predefinidos. Além disso, no modo E cada componente pode ser parcialmente reconfigurado.

.

A figura 19 mostra um gráfico com os modos de configuração KNX.

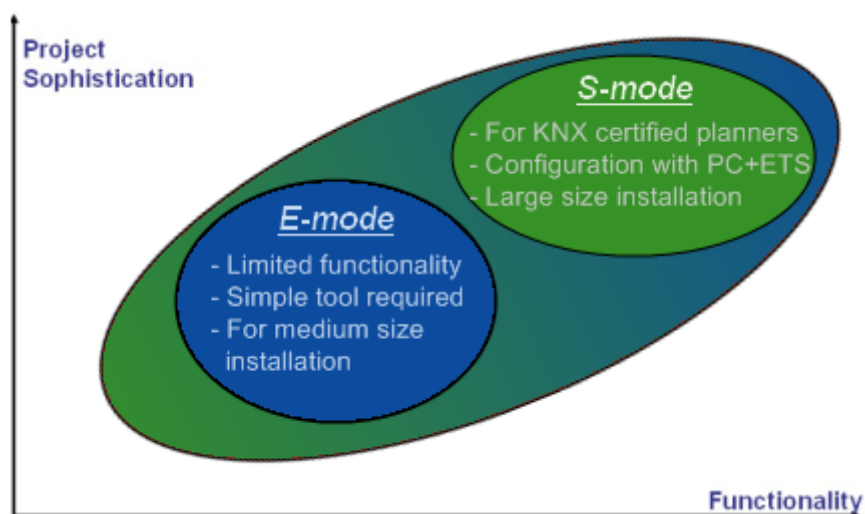


Figura 19- Modos de configuração KNX, Fonte: <http://www.knx.org/pt/standard-knx/modos-de-configuracao/>

4.3.1. Tipos de implementação

Os sistemas de domótica têm dois tipos de implementação fundamentais: o PLC (*Power Line Carrier*) e o Barramento/cablagem dedicada. A implementação PLC é a solução de mais baixo custo, pois utiliza a rede elétrica do edifício para a transmissão de dados entre os dispositivos que compõem o sistema. A implementação barramento/cablagem dedicada, ao contrário do PLC, é uma solução mais dispendiosa, pois tem a requer uma instalação de cablagem extra durante a construção. Atualmente, devido à regulação do sector das telecomunicações, a ANACOM define a ITED (Infraestruturas de Telecomunicações em Edifícios), incluindo a respetiva ligação às redes como obrigatória. Assim sendo, e como essa cablagem inclui cabos para o uso de sistemas de domótica, este tipo de implementação fica um pouco mais acessível.

Além da comunicação por cabo, a comunicação entre dispositivos do sistema, pode ainda ser feita por radiofrequências, infravermelhos, *bluetooth*, *zigbee* e fibra ótica.

4.3.2. Componentes KNX

Os componentes KNX estão divididos em três tipos, de acordo com as suas funcionalidades:

- Componentes básicos, como fontes de alimentação, filtros de sinal;
- Componentes de sistema, que suportam as operações básicas do sistema como os BCU's (*Bus Coupling Units*), LC (*Line Couplers*), *area couplers*, *repeaters*;
- Dispositivos KNX que são dedicados a aplicações como sensores, atuadores, decodificadores de sinal, painéis indicativos, etc. Este dispositivos são conectados à rede KNX através de BCU's ou interfaces semelhantes.

4.4. Vantagens e limitações do protocolo

Uma das grandes vantagens do KNX é possibilitar a construção de sistemas modulares, em qualquer altura do desenvolvimento de um projeto ou até depois da sua implementação, permitindo acrescentar novos dispositivos e funções ao sistema e reconfigurá-lo.

Esta vantagem advém de se tratar de um sistema descentralizado, em que os dispositivos comunicam entre si, uma vez que podem ser recetores e emissores sem necessidade de hierarquia e/ou supervisão da rede.

Os pontos menos favoráveis desta tecnologia face a outras, são o preço, a complexidade inerente à sua instalação e configuração, e ainda o preço do *software*.

5. Placa de ensaio

Neste capítulo, descreve-se a estrutura de *hardware* que foi desenvolvida para suportar a componente de trabalho laboratorial. Apresentam-se os esquemáticos e o *layout* do circuito impresso da placa de ensaio – que suporta uma gama variada de microcontroladores – e do módulo de periféricos. Esta estrutura foi desenhada para suportar uma metodologia de ensino baseada no estudo de pequenos módulos dedicados para funções específicas e no teste de periféricos isolados, conduzindo o aluno no sentido de, progressivamente, ganhar autonomia para testar e projetar estruturas mais complexas, partindo do particular para o geral, e adotando uma filosofia como a que é seguida em [21] e [22]. Segue-se a apresentação resumida da placa e do módulo.

5.1. Placa central

A placa central foi desenvolvida de forma a ter a capacidade para programar microcontroladores. A mesma possui uma entrada USB, um Jack stereo 3.5mm, um ZIF *socket* de 40 pinos, bem como um *socket* para um IC de 18 pinos. Comporta 4 interruptores de impulso, 1 interruptor de alavanca e um interruptor DIL de 4 vias. Tem capacidade de ligação para diversos sensores, dispõe de 6 leds e de 2 *displays* de 7 segmentos.

A Placa central tem viabilidade para suportar uma placa Picaxe AXE210, ou uma *breadboard* que possibilita a realização de testes. No que respeita à fonte de alimentação, foram criados pontos com tensões de 9V, 5V, 3,3V e GND.

Nas figuras 20, 21, 22 e 23 apresentam-se, respetivamente, o esquemático, o *layout*, a conceção da placa central e a placa central com *breadboard* ou módulo XBee.

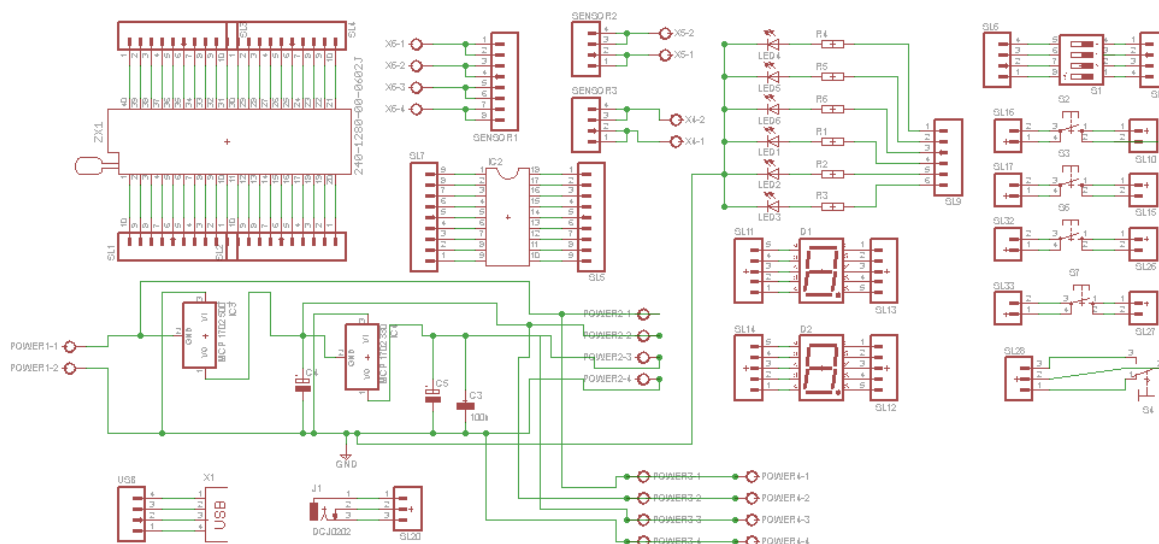


Figura 20- Esquemático da Placa Central

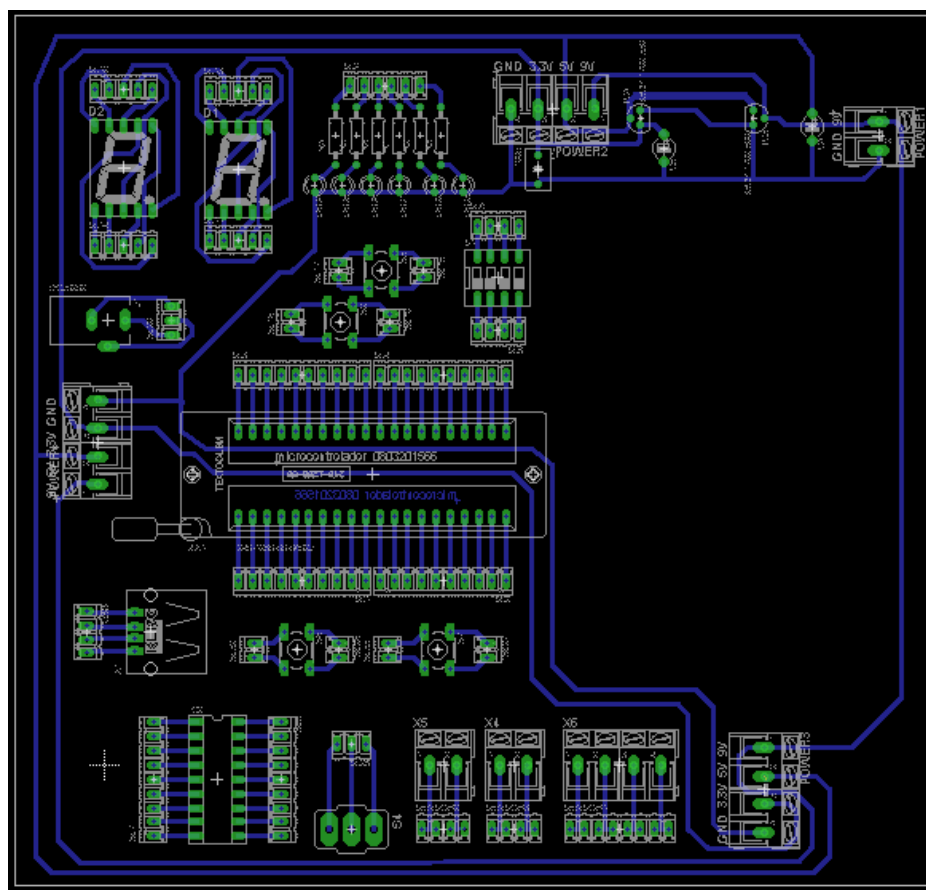


Figura 21- Layout da Placa Central

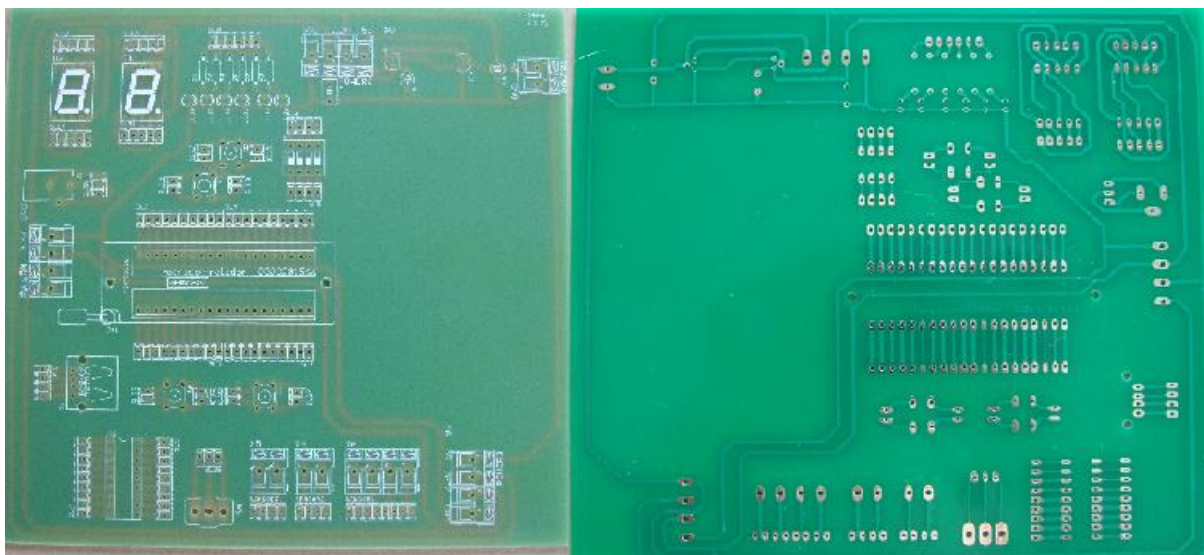


Figura 22- Conceção da placa central

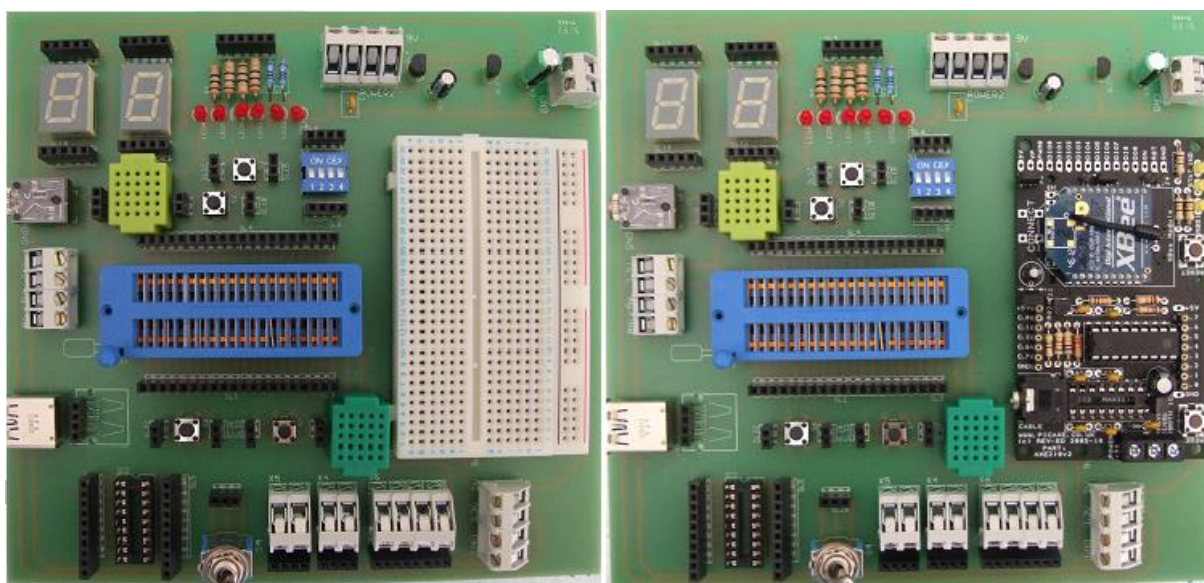


Figura 23- Placa central com breadboard ou módulo XBee

5.2. Módulo periférico

O módulo periférico tem a finalidade de dar apoio à placa central. O mesmo foi desenvolvido com a capacidade de interface de ligação a um LCD e a um Teclado. É composto por 2 relés de 5V/220V, uma ponte H para controlo de motor DC, 5 interruptores de impulso, 1

interruptor de alavanca e um interruptor DIL de 4 vias., Tal como a placa central, tem a capacidade de ligação para diversos sensores e dispõe de 6 leds.

Este módulo tem a mesma capacidade que a placa de central quer em termos de alimentação quer em área para colocação de uma placa Picaxe AXE210 ou uma *breadboard* de apoio. Nas figuras 24, 25, 26 e 27 apresentam-se, respetivamente, o esquemático, o *layout*, a conceção do módulo de periféricos e o módulo de periféricos com *breadboard* ou módulo XBee.

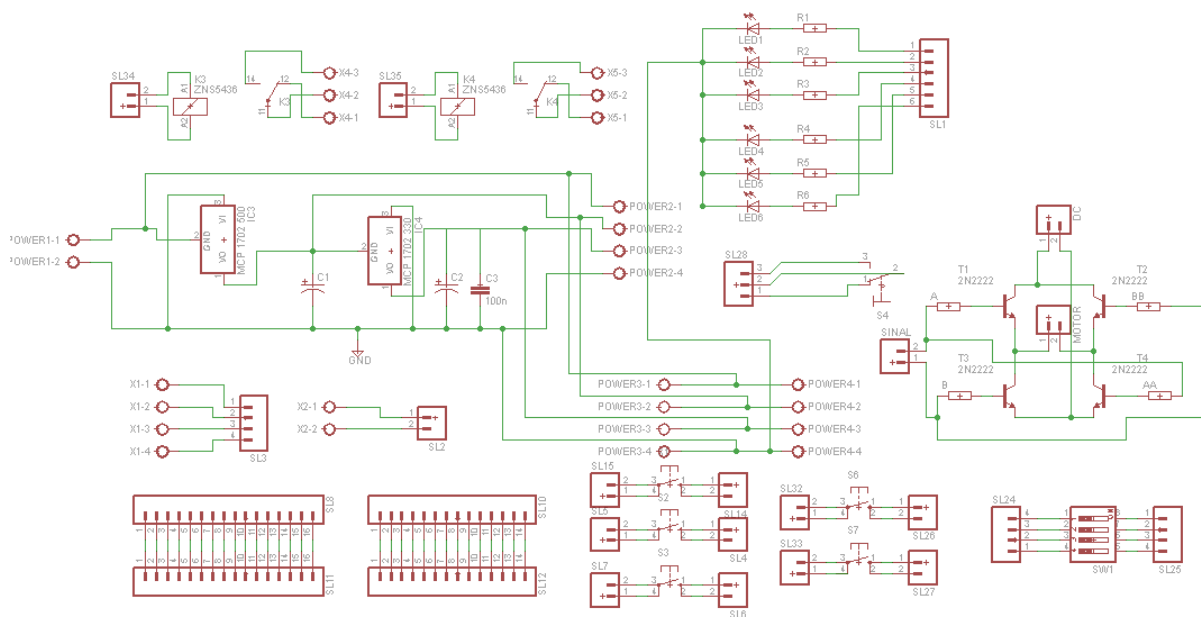


Figura 24- Esquemático do Módulo de Periféricos

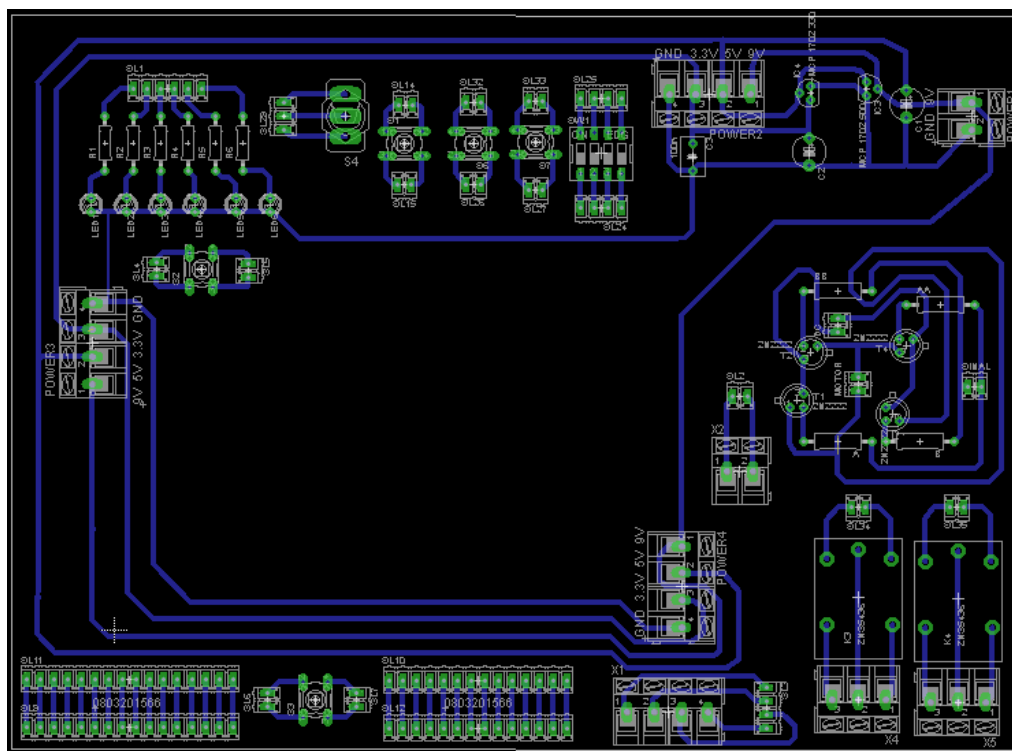


Figura 25- Layout Módulo de Periféricos

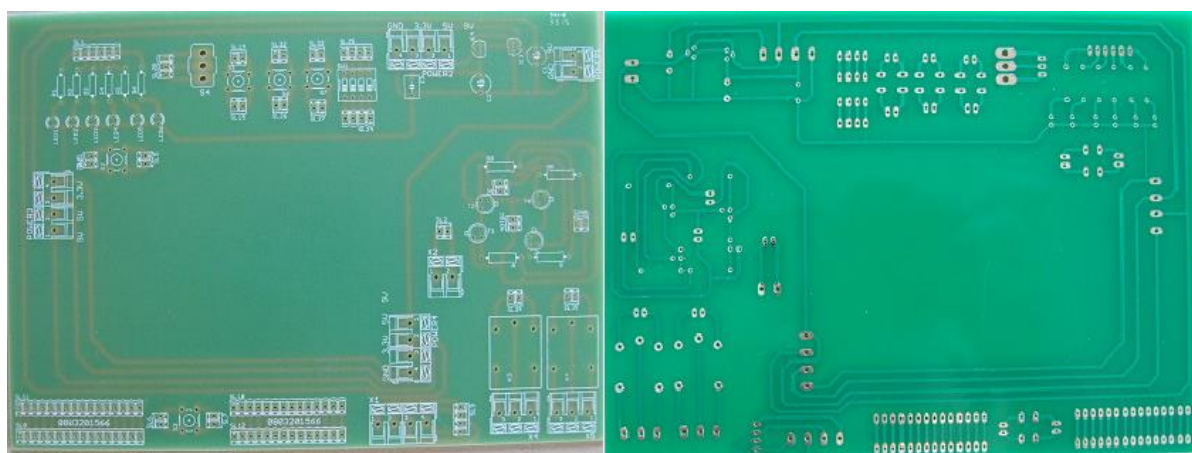


Figura 26- Conceção do Módulo de Periféricos

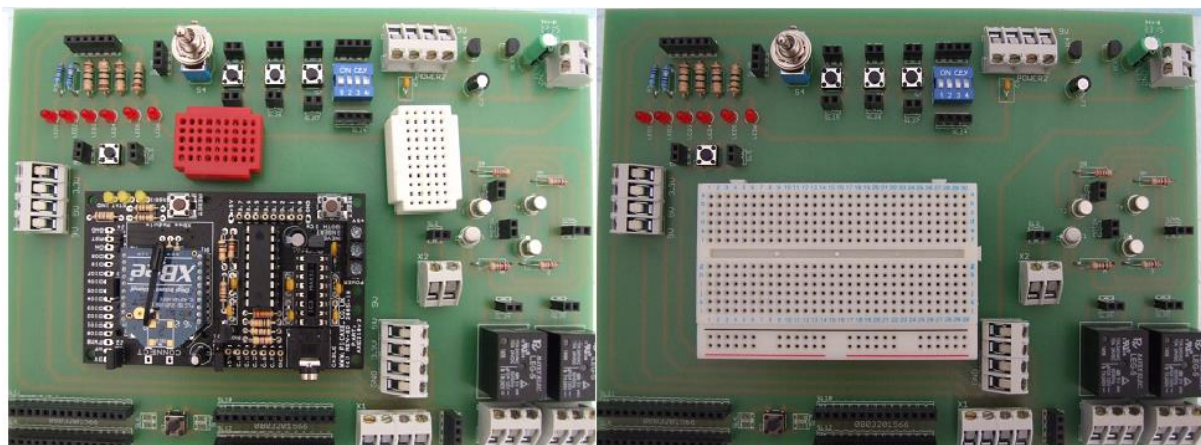


Figura 27- Módulo de Periféricos com breadboard ou módulo XBee

6. Estruturas testadas

Neste capítulo, descrevem-se as estruturas que foram testadas, usando sensores e atuadores ligados a uma rede Zigbee e a um sistema controlado com protocolo KNX, usando a placa apresentada no capítulo 5, para monitorizar sensores e controlar atuadores. Após uma apresentação da estrutura, em termos de blocos, focam-se alguns módulos que foram utilizados, como os módulos Xbee – que, pela sua natureza, merecem uma descrição com algum detalhe –, e uma placa Picaxe AXE210.

6.1 Diagrama de blocos do sistema

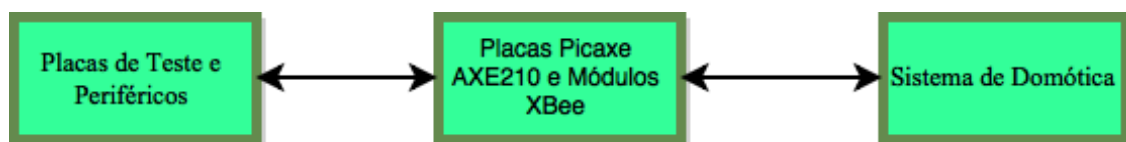


Figura 28- Diagrama de Blocos

No diagrama da figura 28 estão representados os três blocos principais do projeto. O primeiro bloco corresponde à placa de ensaio e módulo de periféricos que possibilitam a interligação com as placas Picaxe AXE210 e respetivos módulos de XBee. Por sua vez, este bloco pode associar-se a um sistema de domótica permitindo atuar sobre sensores, iluminação ou outro qualquer dispositivo inserido numa instalação de domótica. Esses atuadores seriam controlados a partir da placa central ou módulo de periféricos.

6.2 Módulo XBEE

Na implementação do projeto, utilizaram-se os módulos de radiofrequência XBee que, a seguir, se apresentam sucintamente.

Inicialmente os modos XBee denominados série 1, apenas executam o padrão definido pela norma IEEE 802.15.4. Este padrão especifica as camadas MAC e PHY para as duas topologias de rede: ponto-a-ponto e estrela. Os módulos XBee série 2, que é utilizado neste projeto que, para além da norma IEEE 802.15.4, contemplam o protocolo Zigbee, e assim

podem ser projetados para utilização em topologia *mesh*. Ambos operam na frequência de 2,4GHz ISM, em que a faixa de frequência é exclusiva para aplicações RF.

Algumas particularidades do módulo XBee [17] série 2 são: o facto de permitir a existência de repetidores na rede e a possibilidade de configuração dos dispositivos estado *sleep*.

O único ponto a ter em atenção será que o protocolo destinado a uma série não funcionará na outra. Por outro lado, devido à irrelevância da distância entre o coordenador e o sensor, os módulos de XBee não possuem controlo de potência. A potência utilizada para a transmissão dos dados é sempre a mesma.

Os módulos podem ser fornecidos com as implementações de antena de fio, conector para antena externa padrão e antena de *chip*, utilizados de acordo com a necessidade da aplicação, como está representado na figura 29.

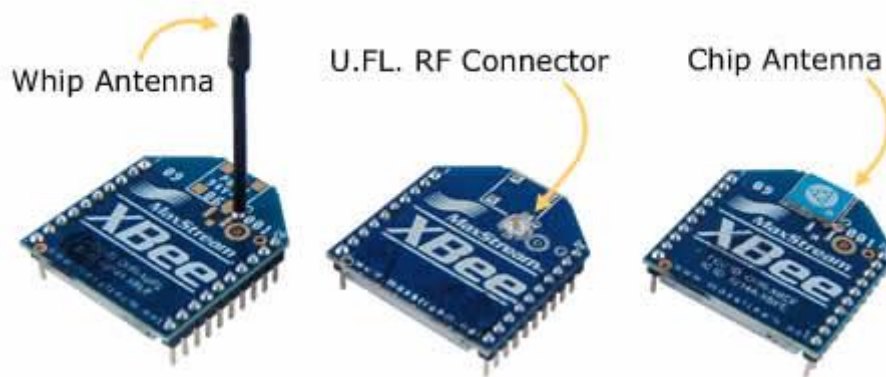


Figura 29- Módulos XBee, Fonte: <http://xbee.cl/que-es-xbee/>

O módulo série 2 é disponibilizado em dois modelos: os módulos XBee e os módulos XBee-PRO. Estes últimos, possuem maior potência de transmissão, tanto em ambiente externo (sem barreiras) como em ambiente interno (com barreiras) e, por esse motivo, são usados quando se pretende aumentar o raio de alcance na comunicação entre os módulos.

Na tabela 5, podemos ver a comparação entre os módulos Xbee e XBee-PRO.

	Zigbee (S2)	
	Xbee	Xbee-pro
Distâncias internas	40m	90m
Distâncias externas	120m	3200m
Potência de transmissão	2mW (3 dbm)	50mW (17 dBm)
Sensibilidade de recepção	96dBm	102dBm
Corrente de pico na transmissão	40 mA	295 mA
Corrente na recepção	40 mA	45 mA
Taxa de transmissão	250 kps	250 kps

Tabela 5- Comparação dos módulos XBee e XBee-PRO

Os módulos XBee incorporam 20 pinos, que suportam a transmissão de diversos tipos de sinais, incluindo dados e controle, como se descreve na tabela 6.

1	VCC	-	Alimentação 3,3v	11	DIO4	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 4 ou Entrada/Saída Digital 4
2	DOUT	Saída	Saída de dados da UART	12	$\overline{\text{CTS}}$ / DIO7	Entrada/Saída	Controle de Fluxo CTS ou Entrada/Saída Digital 7
3	DIN / $\overline{\text{CONFIG}}$	Entrada	Entrada de dados da UART	13	ON / $\overline{\text{SLEEP}}$	Saída	Indicador de Estado do Módulo
4	DO12	Saída	Saída digital 8	14	VREF	Entrada	Voltagem de Referência para as Entradas A/D
5	$\overline{\text{RESET}}$	Entrada	Reset ao módulo (um pulso nível 0 de pelo menos 200ns)	15	Associação / DIO5	Entrada/Saída	Indicador de Associação, só Entrada Analógica 5 ou Entrada/Saída Digital 5
6	RSSI PWM / DIO10	Saída	Saída do PWM 0 / Indicador de Potência do sinal de RX	16	$\overline{\text{RTS}}$ / DIO6	Entrada/Saída	Controle de Fluxo RTS, só Entrada Analógica 6 ou
7	DIO11	Saída	Saída do PWM 1	17	AD3 / DIO3	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 3 ou Entrada/Saída Digital 3
8	(Reservado)	-	Ainda não tem uma função definida (futura implementação)	18	AD2 / DIO2	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 2 ou Entrada/Saída Digital 2
9	$\overline{\text{DTR}}$ / SLEEP_IRQ / DI8	Entrada	Linha de Controle da Função Sleep ou Entrada digital 8	19	AD1 / DIO1	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 1 ou Entrada/Saída Digital 1
10	GND	-	Ligação ao Terra	20	AD0 / DIO0	Entrada/Saída	Só Entrada Analógica 0 ou Entrada/Saída Digital 0

Tabela 6- Descrição das funções dos pinos do módulo XBee

A comunicação dos módulos de XBee com os dispositivos processa-se usualmente em modo série, transmissão assíncrona, usando os circuitos definidos pela norma RS-232 e configurando previamente o modo de operação dos dispositivos, por forma a obter formatos e ritmos de transmissão compatíveis entre eles.

Como se pode ver na figura 30, esta representa a comunicação série feita entre o microcontrolador e o módulo XBee onde os pinos de TX e RX do microcontrolador devem estar ligados aos pinos DIN e DOUT do módulo XBee.

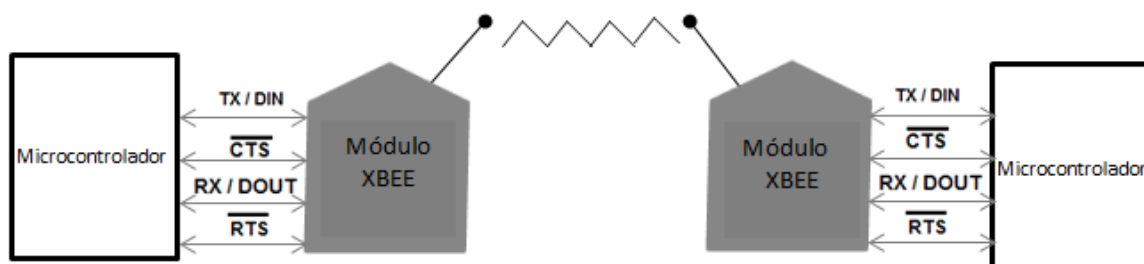


Figura 30- Comunicação série com o microcontrolador

Existem dois modos de operação para envio e receção de dados. São eles o modo AT (*Transparent Mode*) e o modo API (*Application Programming Interface*).

No modo AT, o módulo é transparente, isto é, proporciona a transmissão direta e bidirecional, bit a bit, entre a antena e a porta série, que opera em modo assíncrono – UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitte*). Na figura 31, elucida-se o processo de transmissão de um byte. Este modo é o mais simples para se trabalhar, pois envolve menos dados de endereçamento e pouca preocupação com a interpretação de pacotes. Uma desvantagem deste tipo de comunicação é o facto de só haver troca de dados entre dois módulos XBee, não havendo a utilização de recursos de comunicação como numa rede Zigbee.

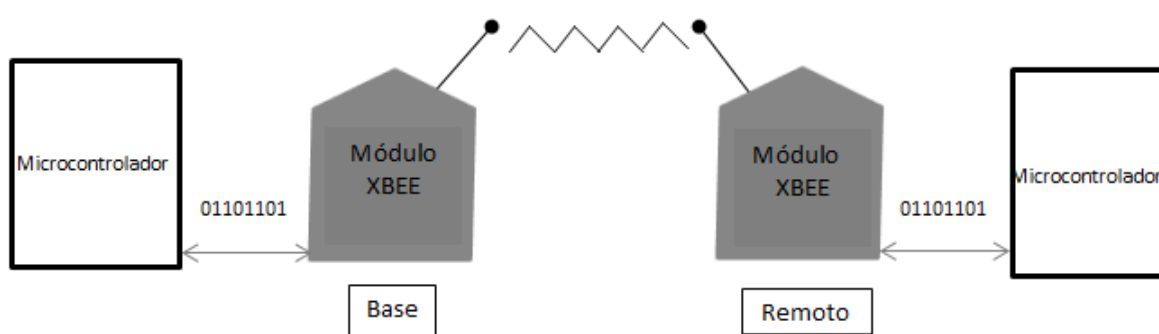


Figura 31-Modo de comunicação transparente

No modo API a transmissão é feita também a partir de *frames* específicas e organizadas. As mensagens são enviadas e recebidas usando também a comunicação UART. A figura 32 mostra a transmissão da *frame*.

O modo API pode facilitar muitas operações, tais como: informações que podem ser enviadas para múltiplos destinos sem a necessidade de alterar parâmetros; recepção de informação de cada pacote recebido e identificação do endereço de origem de cada pacote.

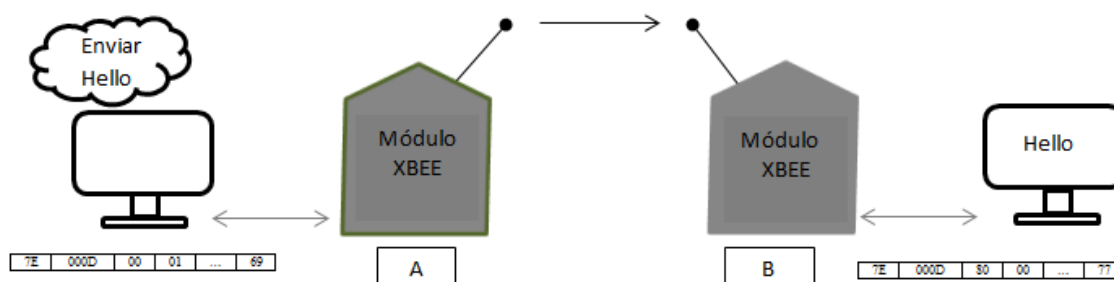


Figura 32- modo de comunicação API

Na figura 33 podemos observar a estrutura de uma *frame* API e a sua constituição está descrita na tabela 7.

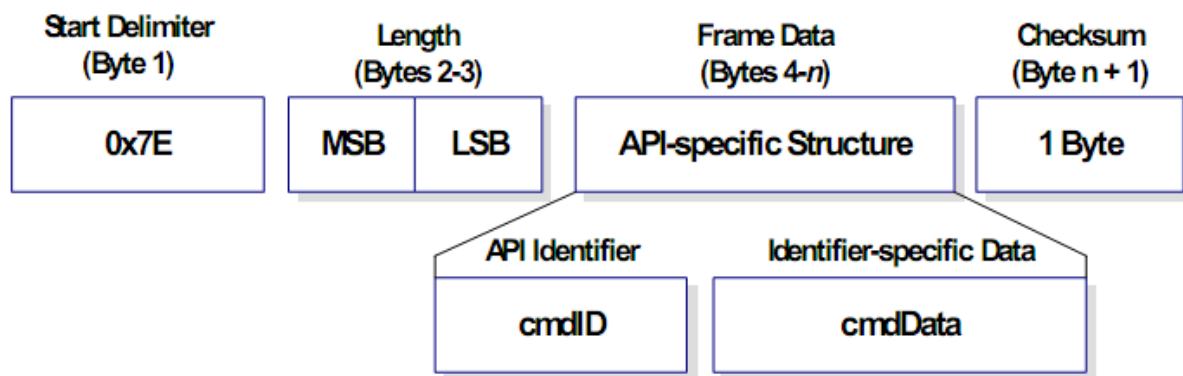


Figura 33- Estrutura da frame API, Fonte http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_W.pdf 1

Start Delimiter	Quando os módulos receberem o byte 0x7E significa que a comunicação se iniciou e passam a decifrar os bytes seguintes como um pacote de dados.
Length	É o comprimento obtido pela soma do número de bytes referentes ao campo Frame Data
Frame Data	É composto por dois campos: API Identifier e Identifier-specific Data. O campo API Identifier indica que tipo de dados API estarão contidas no Identifier-specific Data. O campo Identifier-specific Data pode ser especificado dependendo do tipo de comando atribuído em API Identifier.
Checksum	Serve para certificar se o pacote recebido pelo módulo chegou com integridade. O seu cálculo consiste na soma dos valores dos bytes existentes no campo Frame Data. Ao seu resultado é subtraído 0xFF, para obtenção do valor do checksum.

Tabela 7- Constituição da Frame

6.3. Módulo Picaxe AXE210

Para o desenvolvimento prático deste projeto, utilizou-se a placa PICAXE AXE210 [24], composta por uma MAX232, um microcontrolador PICAXE e por um módulo XBee série 2.

Esta placa foi concebida para suportar dois modos de operação:

- O computador ligado com a interface do módulo XBee, utilizando a MAX3232;
- O PICAXE ligado com a interface do módulo XBee com a PICAXE conectada.

A placa AXE210 possui três *leds* que têm como função transmitir a informação de algumas características do módulo de XBee. Para além destes três *leds* indicadores, a placa também possui um botão de *reset* ao módulo.

Na tabela 8 está indicada a ligação e a função de cada *led*.

	Ligação	Função
RSSI	Conecta ao XBee RSSI (pino 6)	Indica a intensidade do sinal recebido XBee
STATUS	Conecta ao pino XBee ON / Sleep (pino 13)	Indica se o módulo XBee está ativo / sleep
IND	Conecta via Jumper 3 a qualquer Xbee Associado (pino 15) ou de transmissão (pino 11)	Indica se o módulo XBee tem associado com outra módulo (Associados) ou está transmitindo dados (transmissão)

Tabela 8- Função dos leds

A placa AXE210 possui 4 *jumper's* numerados de J1 a J4. A posição e a função que representam estão indicadas nas tabelas 9 e 10.

Configuração da placa A MAX232 colocado		Configuração da placa B Picaxe colocado	
J1	Topo	J1	Fundo
J2	colocado	J2	colocado
J3	Fundo	J3	Fundo
J4	não colocado	J4	não colocado

Tabela 9- Posição dos Jumper's

	Não colocado	Colocado	Topo	Fundo
J1	Não utilizado		Uso normal	Teste de auto-retomo, XBee (DOUT conectado a DIN)
J2	Vref não conectado (XBee)	Vref ligado a 3.3V (XBee)		
J3	LED não conectado (IND)		LED ligado a transmissão XBee (DIO4)	LED ligado a Associado XBee (DIO5)
J4	PICAXE saída B.6 não conectado	PICAXE saída B.6 ligado ao pino SLEEP do Xbee (DI8)		

Tabela 10- Função dos jumper's

Para o procedimento de configuração inicial dos dois módulos AXE210 devemos designar a placa A como aquela que tem colocado o MAX232, enquanto a placa B deve conter a PICAXE 18M2. Devemos ter especial atenção em não colocar o MAX232 e a PICAXE na mesma placa.

6.4. Software X-CTU

Para a configuração dos módulos de XBee, utilizou-se o programa X-CTU [25], desenvolvido pela empresa DIGI, que é disponibilizado gratuitamente no seu site. Esse *software* permite facilitar a comunicação e o teste com os módulos de XBee, bem como a configuração dos seus parâmetros. A figura 34 mostra a página inicial do programa X-TCU.

Para descobrir e configurar o módulo é necessário selecionar a porta série, a taxa de transferência, o controle de fluxo e os bits de dados, paridade e bits de paragem.

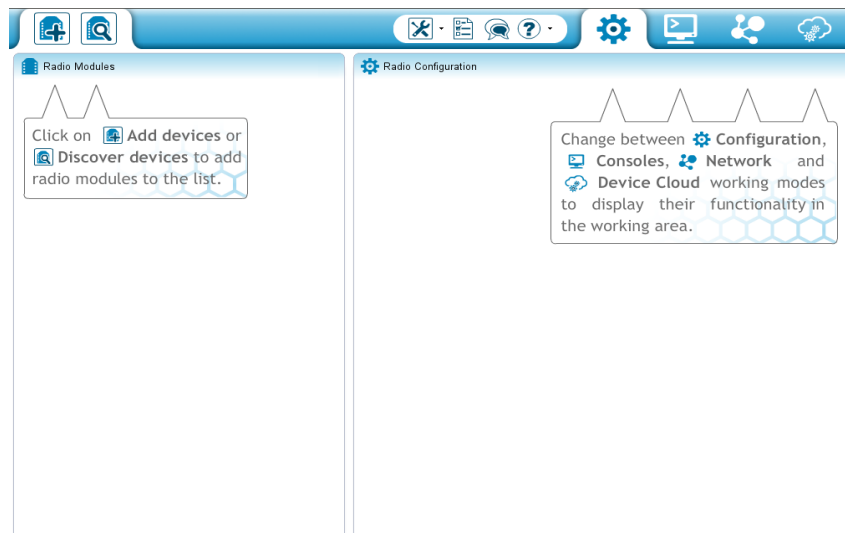


Figura 34- Programa X-CTU

Depois de configurar todos os parâmetros dos módulos de XBee, inicia-se a procura dos módulos. Se não for encontrado nenhum módulo irá aparecer uma janela com a informação que não foi encontrado nenhum dispositivo e será encaminhado para a página de resolução de problemas.

Se for encontrado o módulo, ou módulos, os mesmos irão aparecer no lado esquerdo com os seguintes dados: nome, função, porta e MAC. Também aparecerá uma lista de configurações que são disponibilizadas e podem ser alteradas. Para adicionar um outro módulo de XBee, selecionamos a opção “adicionar dispositivo”. O mesmo irá aparecer com nome, função, porta e MAC. Para saber qual o dispositivo pertencente a cada módulo, basta conferir o MAC do dispositivo. Para testar a comunicação entre os módulos de XBee, selecionamos o ícone “console” que nos irá permitir comunicar entre os módulos.

6.5. Sistema domótico Tébis

Para este projeto foi utilizado o sistema domótico Tebis da marca hager. Foi utilizado um módulo de fonte de alimentação TX111, um atuador binário TXA 206B, um módulo de duas entradas binárias TX 302, bornes de ligação KNX TG008 e cabo *bus* KNX. Foi também utilizado o configurador TX100 para configurar a módulo atuador.

A fonte de alimentação TX111, que se pode ver na figura 35, é a responsável por fornecer tensão para a alimentação do circuito KNX. O módulo recebe uma tensão de rede de 230V e aplica 30Vdc no *bus*.

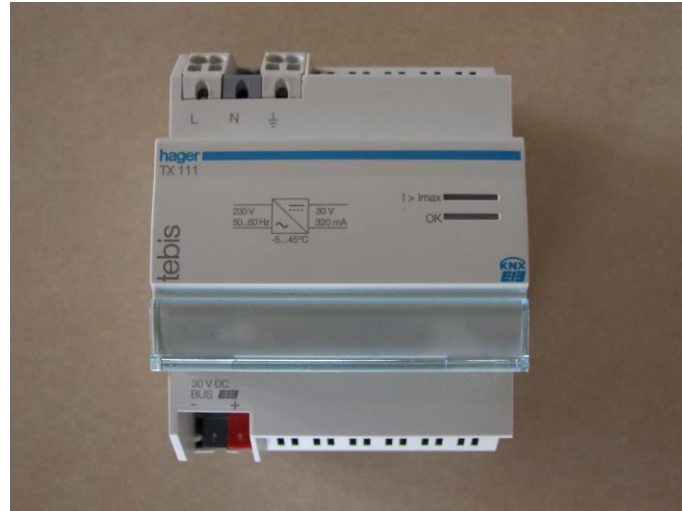


Figura 35- Fonte de Alimentação KNX Módulo TX 111

Os bornes de ligação TG008 permitem realizar derivações do *bus* e a ligação de produtos TX por encaixe, permitindo até 4 ligações. A figura 36 mostra o módulo TG008.

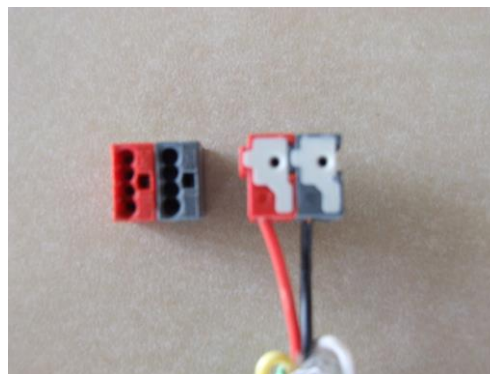


Figura 36- Bornes de ligação TG 008

O configurador TX100 permite configurar a instalação zona a zona. Cada zona é composta por uma linha principal e 15 linhas secundárias. Para configurar as zonas é necessária a utilização do *software* ETS (*Engineering Tool Software*) que permite fazer a planificação, a elaboração do projeto e a parametrização da instalação. A figura 37 ilustra este configurador.



Figura 37- Configurador TX100

O módulo TX 302 possibilita a ligação ao *bus* KNX, disponibilizando contactos secos de potencial, como por exemplo, botões de pressão, interruptores ou automatismos. A figura 38 mostra o módulo TX 302.



Figura 38- Módulo KNX de 2 entradas binárias TX 302

O atuador binário TXA 206B tem como função permitir seis contactos secos, e a sua alimentação é via *bus*. Este atuador permite controlar até seis circuitos de dez amperes.

Permite a interligação do *bus* KNX com cargas elétricas comandadas a partir de comandos ligar/desligar. A figura 39 apresenta o atuador binário TXA206B.



Figura 39- Atuador Binário de 6 canais Módulo TXA 206B

Para o meio de transmissão é utilizado o KNX TP modelo J-Y(St)Y 2x2x0,8” da marca hager, como mostra a figura 40.



Figura 40- Cabo Bus

7. Descrição de procedimentos e análise de resultados

Para testar o sistema, optou-se por usar a placa de ensaio ligada à picaxe AXE210 (módulo XBee1), e o módulo de periféricos interligado à outra picaxe AXE210 (módulo XBee2), permitindo assim fazer a comunicação entre os módulos de XBee.

Depois de colocar os módulos XBee emparelhados, fez-se a programação dos microcontroladores Picaxe M18 com o código do programa apresentado em anexo. O código do programa foi desenvolvido com a finalidade de testar a comunicação unidirecional e bidirecional dos módulos XBee.

Para a comunicação unidirecional optou-se por controlar um led, um motor nos dois sentidos, ou comandar uma lâmpada de 220V. Para testar a bidirecionalidade optou-se por colocar dois interruptores de impulso, que simulassem um fim de curso de um motor: um interruptor simula o fim de curso para o lado direito e o outro interruptor para o lado esquerdo. Ao acionar o botão para o motor rodar num dos sentidos, o mesmo irá parar assim que se acionar o interruptor fim de curso do lado respectivo, acendendo um led simbolizando que o motor parou.

Por outro lado, devido ao microcontrolador picaxe M18 só disponibilizar tensão e corrente de saída de 5V e 20mA, respetivamente, para controlar uma lâmpada de 220V, optou-se por utilizar um ULN2003 e um relé disponível no módulo de periféricos.

Para interligar a placa central e o módulo de periféricos com as placas AXE210 e respetivos XBee, com o sistema de domótica, desenvolveu-se o seguinte processo: um interruptor disponível na placa central irá comunicar com o microcontrolador da placa Picaxe AXE210, e este com o módulo XBee. Esse módulo XBee irá comunicar com o outro módulo XBee e este com o microcontrolador da outra placa Picaxe AXE210, colocada no módulo de periféricos. A saída do microcontrolador irá interligar-se a um ULN2003 e respetivo relé, que irá ligar ao módulo TX302 do sistema de domótica. Esse módulo será ligado a uma entrada do atuador TXA206, em que a saída C1 fará atuar uma lâmpada, ou qualquer outro dispositivo. Esta ligação entre o módulo TX302 e o atuador TXA206 é feita pelo protocolo KNX. Na figura 41, 42 e 43 temos os fluxogramas de funcionamento do projeto.

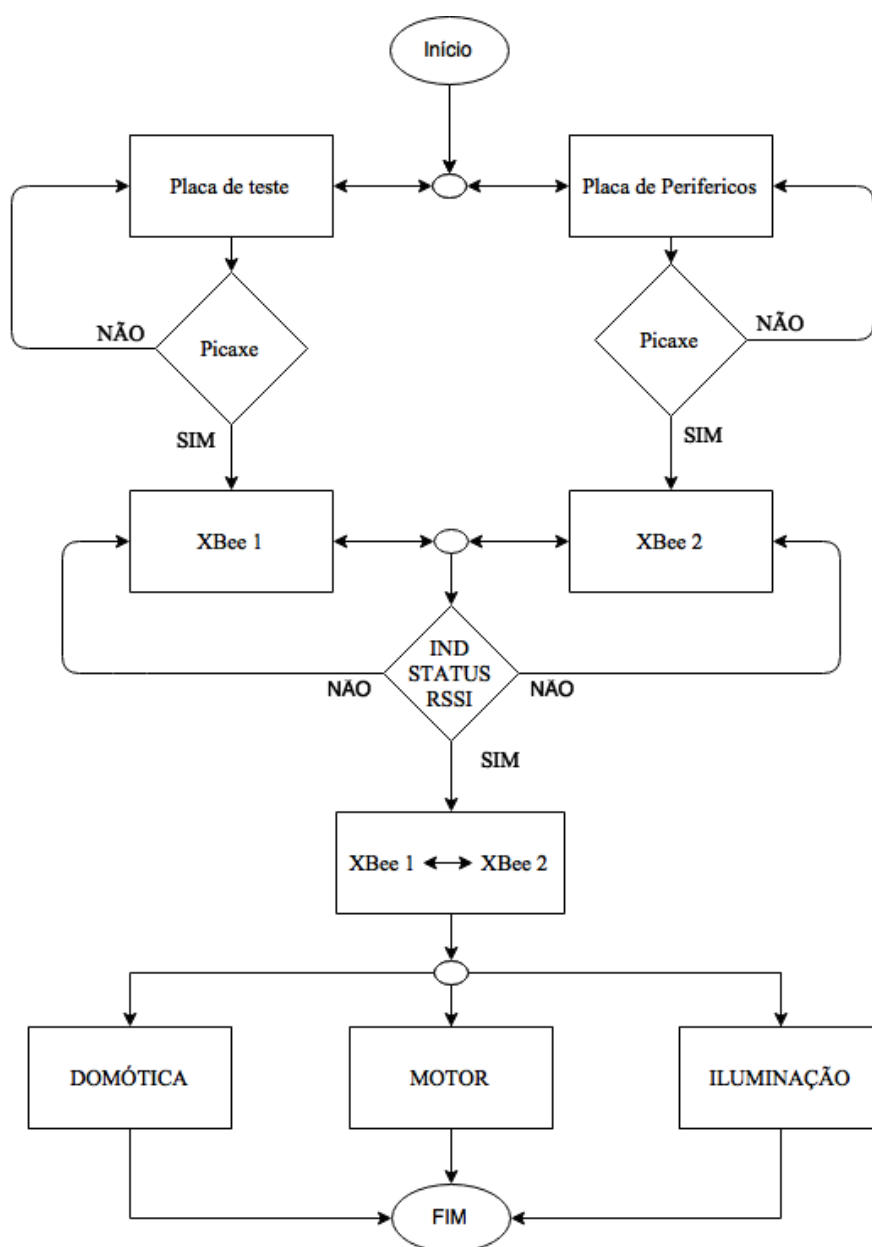


Figura 41- Fluxograma demonstrativo do princípio de funcionamento

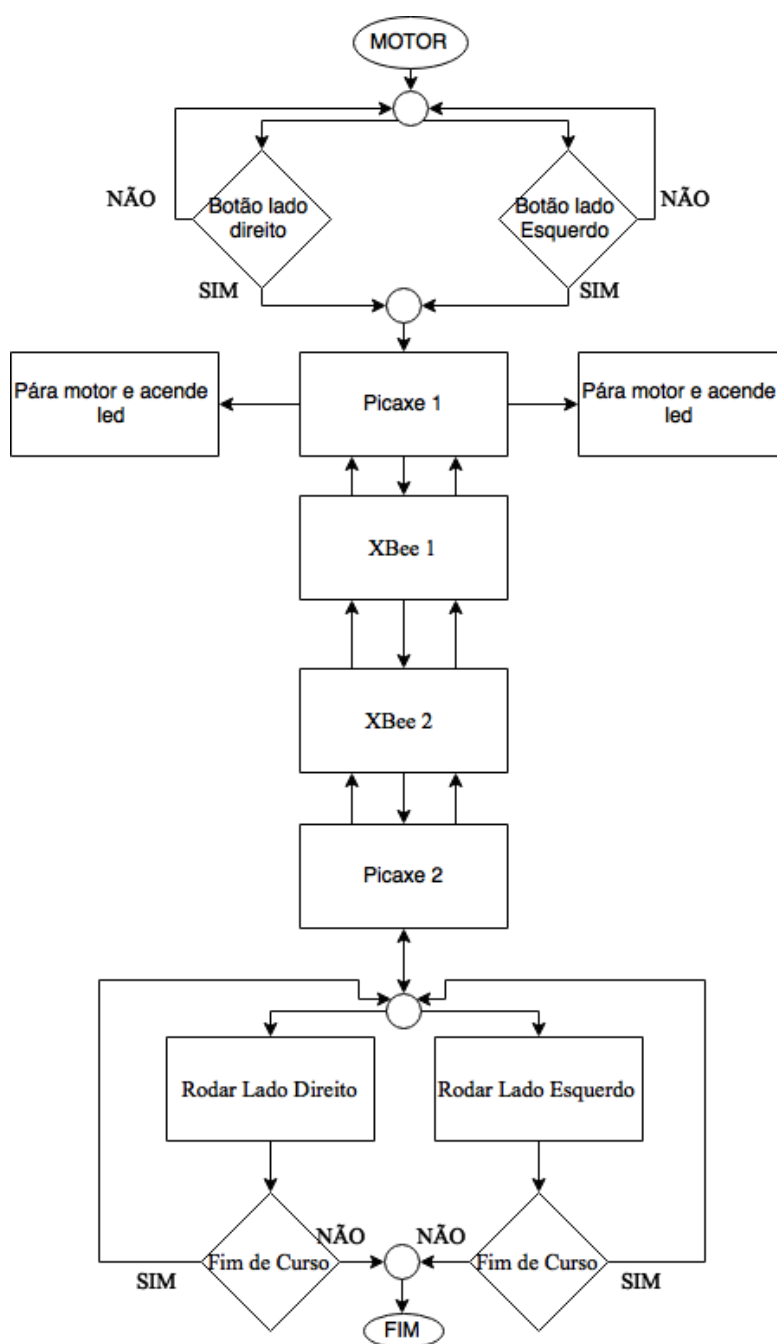


Figura 42- Fluxograma do funcionamento do motor

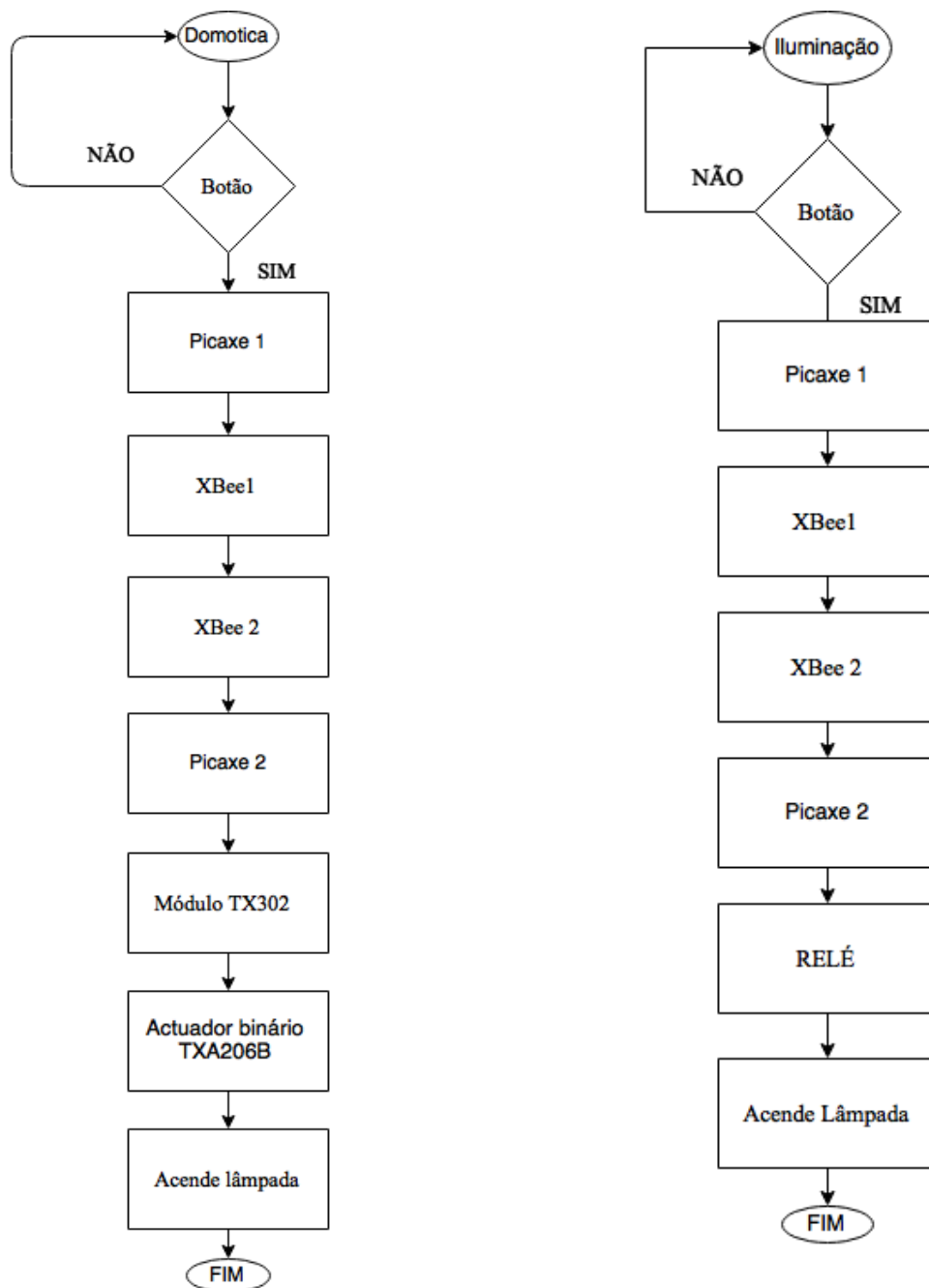


Figura 43- Fluxograma do funcionamento da domótica e lâmpada 220V

Em relação às limitações encontradas neste projeto, deve-se realçar o facto de estes módulos XBee poderem ser substituídos pelos módulos XBee-PRO que irá garantir mais potência de transmissão, quer em ambiente interno quer externo. As correntes de saída também têm valor muito baixo o que obriga a utilização de relés e o ULN2003.

Relativamente à utilização da domótica existe a limitação relacionada com o preço dos módulos que são bastante dispendiosos e obriga à utilização de *software* próprio para programação dos módulos atuadores.

8. Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Neste projeto, propôs-se uma plataforma que foi desenvolvida para constituir um meio de apoio ao ensino ministrado em cursos profissionais da área tecnológica, onde o autor exerce a sua atividade, focando a atenção na área da monitorização de sistemas em ambientes domésticos e Industriais.

Apresentou-se uma síntese dos fundamentos das redes sem fios baseadas na utilização do protocolo Zigbee e do protocolo KNX e desenvolveu-se uma estrutura de *hardware*, apropriada para gerir a comunicação nessas redes e para controlar periféricos de uso vulgar, incluindo, entre outros, teclados, botoneiras, sensores analógicos ou digitais e *displays*.

Para além da placa central, que suporta uma gama variada de microcontroladores, desenharam-se módulos que proporcionam a ligação dos periféricos àquela placa, conduzindo a estruturas muito versáteis.

Descreveram-se, de forma simples, sequências de passos para configurar módulos de *hardware* que estão disponíveis no mercado, a baixo custo, e que proporcionam a comunicação através daquelas redes. Particular atenção foi dispensada à gestão de comunicações em redes Zigbee, usando os módulos Xbee, e em sistemas particularmente vocacionados para aplicações de domótica, usando o KNX.

Descreveram-se ensaios que conduzem os alunos, no sentido de controlarem estruturas em que se monitorizam sensores e controlam atuadores em redes mistas, proporcionando-lhes uma visão abrangente sobre a implementação e manutenção de sistemas com interesse prático.

Relativamente aos ensaios do controlo de lâmpadas de 220V e de motor, utilizando uma comunicação Zigbee, e a interação entre os protocolos de KNX e Zigbee, os mesmos foram realizados, por um lado, para testar uma comunicação unidirecional e bidirecional entre os módulos de Xbee, e por outro lado, pretendeu-se fazer atuar um dispositivo numa instalação de domótica, a partir da interligação da comunicação dos módulos KNX com os módulos XBee.

Paralelamente, foram desenvolvidas duas placas de ensaio com relevância para utilização em atividades práticas dos alunos, em ambiente de sala de aula e laboratorial, para vários módulos lecionados. Devido à sua rápida e simples aplicabilidade, e ao facto de serem duas placas, permite que a sua utilização em grupos de trabalho, sempre de dois alunos, seja muito

mais produtiva e motivadora para os mesmos, uma vez que, ambos podem trabalhar em simultâneo numa placa. Para que estes trabalhos práticos funcionem de forma mais eficaz, estes ensaios devem ser desenvolvidos em momentos pedagógicos de três aulas, de forma a garantir que os alunos tenham tempo para a realização dos mesmos.

Alcançados os objetivos deste projeto, verifica-se que existem outras possibilidades para melhoramento das ferramentas desenvolvidas, como sejam, a implementação de uma maior variedade de sensores e atuadores, ou a criação e instalação de mais módulos com características mais específicas, que permitam executar um maior número de experiências e trabalhos práticos, na vertente pedagógica, em ambiente laboratorial.

.

Bibliografia

- [1] IEEE Std 802.15.4-2003: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY)Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003.
- [2] M. S. Hansen. Practical Evaluation of IEEE 802.15.4/ZigBee Medical Sensor Networks.Master's thesis, Norwegian University of Science and Technology, June 2006.
- [3] ZigBee Alliance. ZigBee Alliance: Wireless Control that Simply Works, 2011.
- [4] Brito, M.V.T e Silva, R.P.F. Implementação de BACnet Sobre Zigbee para Rede de Automação Predial Wireless. Trabalho de graduação, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2008.
- [5] Lamia Chaari, Lotfi Kamoun, "Performance Analysis Of IEEE 802.15.4/Zigbee Standard Under Real Time Constraints", International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), Vol.3, Sep 2011.
- [6] Priyanka, S., Kumar, M., Jaiswal, A. and Saxena, R. (2013) Analysis of ZigBee (IEEE 802.15.4 Standard) for Star Topology with AODV Protocol. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), 2003.
- [7] Tejbir Singh Hanzra, Gurpartap Singh“Performanceof Free Space Optics in BPSK and QPSK communicationsystems.” IOSR Journal of Electronics andCommunication Engineering, Vol. 1, Issue 3 (2012).
- [8] John Notor, Anthony Caviglia, Gary Levy “CMOS RFIC Architectures For IEEE 802.15.4 Networks” Cadence Design Systems, Inc. 6210 Old Dobbin Lane, Suite 100 Columbia, Maryland 21045, USA ©2003 IEEE.
- [9] Juan Lu, Adrien Van Den Bossche, Eric Campo. An IEEE 802.15.4 Based Adaptive Communication Protocol in Wireless Sensor Network: Application to Monitoring the Elderly at Home. Dans : Wireless Sensor Network (WSN), Scientific Research Publishing (SRP), 192-204. doi: 10.4236/wsn.2014.69019, 2014.

- [10] Pravin Wararkar, Nikita Chavan, “Wireless Integrated System using IEEE 802.15.4” International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 2, Issue 3, May 2012.
- [11] Farahani, S., ZigBee Wireless Networks and Transceivers: The Complete Guide for Rf/Wireless Engineers. 2008:
- [12] Eady, F., Hands-on ZigBee Implementing 802.15.4 with Microcontrollers, Elsevier Inc., Newnes, United Kingdom, 2007.
- [13] Baronti P, Pillai P, Chook V, Chessa S, Gotta A, Hu Y, Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. Communications 2007.
- [14] Nisha Ashok Somani and Yask Patel “Zigbee: A Low Power Wireless Technology for Industrial Application“, International Journal of Control Theory and Computer Modelling (IJCTCM), ol.2, No.3, May 2012.
- [15] Parneet Dhillon, Harsh Sadawarti, “Impact Analysis on the Performance of Zigbee Protocol Under Various Mobility Models”, International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume 9 Number 11 - Mar 2014.
- [16] Abhishek Kumar, Sandeep Gupta," International Journal of ENGINEERING Science & Research Technology," p2733-2738, October 2013.
- [17] “ZigBee RF Modules by Digi International,” in XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules, ed: Digi International Inc., 2012.
- [18] Alves, José Augusto; Mota, José. Casas Inteligentes. Lisboa: Centro Atlântico, 2003.
- [19] Accardi, Adonis; Dodonov, Eugeni. Automação residencial: elementos básicos, \arquiteturas, setores, aplicações e protocolos. São Carlos, 2012.
- [20] Y. Kyselytsya and Th. Weinzierl, “ Implementation of the KNX Standard” available at <http://www.weinzierl.de/>
- [21] V. Gonçalves, “Sistemas Electrónicos com Microcontroladores” – Segunda Edição Actualizada e Aumentada, ISBN 972-8480-12-1, Edições ETEP, Grupo LIDEL-FCA, Lisboa, Novembro de 2005.
- [22] V. Gonçalves, “Sistemas Baseados em Microcontroladores PIC®”, ISBN 978-972-8953-28-7, Edições Pubblindústria, Porto, Outubro de 2008.

[23] <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers>, acesso em Junho 2015.

[24] http://www.picaxe.com/docs/axe210_xbee.pdf, acesso em Maio 2015.

[25] <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>, acesso em Maio de 2015

[26] <http://www.knx.org/knx-en/knx/technology/communication-media/index.php>, acesso em Julho 2015.

Anexos

Neste anexo irá ser apresentado o código utilizando na programação da picaxe 1 e na picaxe 2 respectivamente.

;Codigo BASIC desenvolvido para: PICAXE 18M2

; Codigo PICAXE 1

; Saidas

symbol saida_0 = C.0 ; Iluminacao Fim de Curso

symbol saida_1 = C.1 ; Iluminacao Fim de Curso

symbol saida_2 = C.2 ; Iluminacao suplementar 1

symbol saida_3 = C.6 ; Iluminacao suplementar 2

; Entradas

symbol entrada_0 = pinB.0 ; Comando para mover o motor no sentido Direita

symbol entrada_1 = pinB.1 ; Comando para mover o motor no sentido Esquerda

symbol entrada_2 = pinB.2 ; Comando para acender/apagar iluminacao 1

symbol entrada_3 = pinB.3 ; Comando para acender/apagar iluminacao 2

; Configuracao inicial

init: high 7

 low saida_0

 pause 100

 goto main

; Codigo do programa

main:

 call codifica

 call envia_dados

 call receber_dados

 call descodifica

; pause 100

```
if w1 = 1024 then
    w1 = 0
    goto init
endif
w1 = w1 + 1
goto main
```

; Codificacao dos sinais de entrada para enviar pelo canal de comunicacao
codifica:

```
bit0 = entrada_0
bit1 = entrada_1
bit2 = entrada_2
bit3 = entrada_3
return
```

; Decodificacao dos sinais de entrada do componente de fonte e escrita nos portos de saida
correspondentes

descodifica:

```
if bit8 = 1 then
    high saida_0
else
    low saida_0
endif
if bit9 = 1 then
    high saida_1
else
    low saida_1
endif
if bit10 = 1 then
    high saida_2
else
    low saida_2
endif
if bit11 = 1 then
```

```
        high saida_3
    else
        low saida_3
    endif
    return
```

;Codigo BASIC desenvolvido para: PICAXE 18M2

; Codigo da PICAXE 2

; Saidas

symbol saida_0 = C.0 ; Controlo do motor

symbol saida_1 = C.1 ; Controlo do motor

symbol saida_2 = C.2 ; Iluminacao 1

symbol saida_3 = C.6 ; Iluminacao 2

; Entradas

symbol entrada_0 = pinB.0 ; Fim de curso do motor no sentido Direita

symbol entrada_1 = pinB.1 ; Fim de curso do motor no sentido Esquerda

symbol entrada_2 = pinB.2 ; Comando para acender/apagar iluminacao suplementar 1

symbol entrada_3 = pinB.3 ; Comando para acender/apagar iluminacao suplementar 2

; Configuracao inicial

init: high 7

low saida_0

pause 100

goto main

; Codigo do programa

main:

```
    call codifica
    call envia_dados
    call receber_dados
    call descodifica
;    pause 100
    if w1 = 1024 then
        w1 = 0
        goto init
    endif
    w1 = w1 + 1
    goto main
```

; Codificação dos sinais de entrada para enviar pelo canal de comunicação

codifica:

```
    bit0 = entrada_0
    bit1 = entrada_1
    bit2 = entrada_2
    bit3 = entrada_3
    return
```

; Descodificação dos sinais de entrada do componente de fonte e escrita nos portos de saída correspondentes

descodifica:

```
    if bit8 = 1 AND bit9 = 0 AND entrada_0 = 0 then
        high saida_0
    else
        low saida_0
    endif
    if bit8 = 0 AND bit9 = 1 AND entrada_1 = 0 then
        high saida_1
    else
        low saida_1
    endif
    if bit10 = 1 then
```

```
        high saida_2
    else
        low saida_2
    endif
    if bit11 = 1 then
        high saida_3
    else
        low saida_3
    endif
    return
```

; Função para receber os dados pela UART

receber_dados:

```
    serin 7, T2400, b1
    return
```

; Funcao para enviar os dados pela UART

envia_dados:

```
    serout 7, T2400, (b0)
    return
```