



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Faculdade de Engenharia

Monitorização e Controlo Inteligente de Consumos Energéticos em Habitações

Tiago Daniel Penedo Mendes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletromecânica
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor João Paulo da Silva Catalão

Covilhã, Outubro de 2013

Agradecimentos

Finalizado este trabalho gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que de algum modo contribuíram para a sua concretização, em particular:

- Ao meu orientador, Prof. Doutor João Paulo da Silva Catalão, pelo apoio, entusiasmo, pelas suas ideias e pela orientação prestada ao longo do trabalho.
- A todo o pessoal do Laboratório de Sistemas Sustentáveis de Energia, nomeadamente ao Engenheiro Gerardo Osório e ao Engenheiro Eduardo Rodrigues, cujos ensinamentos, apoio e orientação foram fundamentais para esta dissertação, assim como para toda a minha formação.
- Aos meus pais, pelo apoio e incentivo.
- Aos meus amigos mais próximos, que contribuíram para a elaboração desta dissertação desejo ainda expressar o meu agradecimento.
- Também quero demonstrar o meu agradecimento a Universidade da Beira Interior, pelo acolhimento, disponibilização dos meios necessários para a minha formação, bem como a atmosfera calorosa criada pelas todas as pessoas que nela se inserem.

Resumo

No decorrer dos últimos anos, tem-se verificado um aumento significativo de dispositivos e de novas propostas para a implementação de edifícios inteligentes. O contributo deste trabalho é o desenvolvimento (computacional através de ferramentas de programação, e experimental com a implementação de um protótipo) de uma metodologia de monitorização e controlo inteligente com o objetivo de acionar um circuito de iluminação utilizando tecnologia sem fios *ZigBee*, visando a gestão de recursos energéticos no âmbito das redes elétricas inteligentes.

O conceito de rede elétrica inteligente incorpora os benefícios de comunicações avançadas e tecnologias de informação para criar "inteligência" na rede e fornecer informação dos consumos em tempo real.

Nesta dissertação é implementada uma rede de sensores e atuadores capaz de desempenhar funções de monitorização, recorrendo a componentes de baixo custo e tendo a sua aplicação principal em sistemas de iluminação.

Este trabalho é desenvolvido de forma a demonstrar o uso desta tecnologia, implementando um protótipo capaz de acionar um circuito de atuação e controlo, ligando ou desligando qualquer dispositivo acoplado.

Ainda, é realizada a análise do consumo energético em tempo real de uma habitação durante os três primeiros meses do ano, utilizando um monitor de energia inteligente.

É expectável que esta dissertação possa também contribuir para a gestão da procura de energia, que irá ser um dos componentes chave das redes elétricas inteligentes.

Palavras-chave

Rede elétrica inteligente, Gestão remota dos consumos, Tecnologia ZigBee, Microcontrolador.

Abstract

Over the recent years, there has been a significant increase in devices and new proposals for the implementation of intelligent buildings. The contribution of this work is the development (computational through programming tools, and experimental with the implementation of a prototype) of a monitoring and intelligent control methodology in order to drive a lighting circuit using wireless ZigBee technology, aiming for energy resources management in the context of smart grids.

The smart grid concept incorporates the benefits of advanced communications and information technologies to create "intelligence" in the network and provide consumption information in real time.

In this dissertation, a network of sensors and actuators is implemented, being able to perform monitoring functions using low cost components and having its principal application in lighting systems.

This work is developed to demonstrate the use of this technology by implementing a prototype capable of driving a circuit of operation and control, turning on or off any attached devices.

Moreover, the analysis of energy consumption in real time is performed for a home during the first three months of the year, using a smart energy monitor.

It is expected that this work can also contribute to demand-side management, which will be a key component of smart grids.

Keywords

Smart grid, Remote consumption management, ZigBee technology, Microcontroller.

Índice

Capítulo 1	10
1. Introdução	10
1.1. O problema em estudo e a sua relevância	11
1.2. Objetivos e Contribuição da Dissertação	11
1.3. Visão geral e organização da dissertação.....	12
Capítulo 2	13
2. Redes Elétricas Inteligentes e Casas Residenciais Inteligentes	13
2.1. Medição do consumo energético.....	16
2.2. Smart Grid em Portugal	18
2.3. Casa Residencial	19
2.4. Objetivos das casas residenciais Inteligentes	21
2.5. Vantagens das casas residenciais Inteligentes.....	22
2.6. Serviço para casas residenciais Inteligentes.....	22
Capítulo 3	26
3. A Tecnologia ZigBee.....	26
3.1. Módulos ZigBee.....	27
3.2. Características do tipo de dispositivo físico associado	28
3.3. Topologia da Rede	29
3.4. Modos de Operação da Rede ZigBee.....	31
3.5. Comunicação com os Módulos ZigBee	32
Capítulo 4	33
4. Descrição do Caso de Estudo.....	33
4.1. Controlo do sistema de iluminação	33
4.2. Instalação do monitor de energia	47
4.3. Monitorização do Consumo energético	50
4.4. Resultados da Demanda	52
Capítulo 5	55
5. Plataforma de desenvolvimento.....	55
5.1. Descrição da plataforma laboratorial	57
Capítulo 6	62
6. Considerações Finais	62
6.1. Sugestões de Trabalhos Futuros.....	62
Referências Bibliográficas	63
Anexos	67

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Exemplo Smart Grid	13
Figura 2.2 - Smart Meter do projeto InovGrid (EDP)	18
Figura 2.3 - Esquema de uma Casa Residencial Inteligente	23
Figura 3.1– Aplicações em diversos sectores	26
Figura 3.2 – Topologia de Rede: Estrela	30
Figura 3.3 – Topologia de Rede: Malha	30
Figura 3.4 – Topologia de Rede: Árvore	31
Figura 4.1 – Esquema interno de funcionamento do microcontrolador MSP430G2553.	35
Figura 4.2 – Microcontrolador MSP430G2553 Launchpad – Texas Instruments.....	35
Figura 4.3 – Configuração do Software Hyperterminal.	37
Figura 4.4 – XBee Xplorer USB.....	37
Figura 4.5 – Programa X-CTU.	38
Figura 4.6 – Endereços dos Módulos.....	39
Figura 4.7 – Configuração dos módulos.....	40
Figura 4.8 – XBee Explorer USB.	40
Figura 4.9 – Montagem do XBee na Placa Shield Internet Arduíno.	41
Figura 4.10 – Numeração dos Pinos no Xbee Série 2	41
Figura 4.11 – Placa com 8 Relés (ON/OFF).....	42
Figura 4.12 – Demonstração da localização do interruptor e o respetivo led.....	43
Figura 4.13 – Visualização no Programa Hyperterminal “ LED ON” e “LED OFF” ...	44
Figura 4.14 – Envio da letra “L” a partir do Programa Hyperterminal para o MSP430.	44
Figura 4.15 – Receção da letra “L” no Programa IAR.	45
Figura 4.16 – Receção da letra “D” no Programa IAR.....	45
Figura 4.17 – Envio da letra, por exemplo “T”, a partir do Hyperterminal.....	46
Figura 4.18 – Receção da letra, por exemplo “T” no IAR.....	46
Figura 4.19 – Receção “ERROR” no Hyperterminal ao seleccionar a letra “T”.	46
Figura 4.20 – Montagem final da parte de controlo.	47
Figura 4.21 – <i>Kit</i> completo de leitura e monitorização de energia.	48
Figura 4.22 – Montagem do sensor em torno do cabo sob tensão.....	49
Figura 4.23 – Conexão do sensor ao emissor.	49
Figura 4.24 – Perspetiva geral do quadro eléctrico.	50

Figura 4.25 – Monitor de Energia.....	50
Figura 4.26 – Consumo de energia referente ao mês de Janeiro 2013.	51
Figura 4.27 – Consumo de energia referente ao mês de Fevereiro 2013.....	51
Figura 4.28 – Consumo de energia referente ao mês de Março 2013.	52
Figura 4.29 – Demanda referente ao mês de Janeiro 2013.....	52
Figura 4.30 – Demanda referente ao mês de Fevereiro 2013.	53
Figura 4.31 – Demanda referente ao mês de Março 2013.....	53
Figura 4.32 – Esquema do caso em estudo.....	54
Figura 5.1 – Módulos CC2530EM.	55
Figura 5.2 – Módulos Diagrama de Bloco CC2530 ..	56
Figura 5.3 – Plataformas de desenvolvimento.....	57
Figura 5.4 – Configuração da placa para o modo de transmissão.	59
Figura 5.5 – Configuração da placa para o modo de recepção.	59
Figura 5.6 – Intensidade do sinal.....	60

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Comparação entre as tecnologias de comunicação Wireless	27
Tabela 3.2 – Redes ZigBee: dispositivos e suas funções	29
Tabela 4.1 – Especificações dos módulos	42
Tabela 5.1 – Parâmetro de configuração para o CC2530EM.	58

Lista de Acrónimos

V2G	<i>Vehicle to Grid</i>
PLC	<i>Power Line Communication</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
HAN	<i>Home Area Network</i>
EDP	Energias de Portugal
IBI	<i>Intelligent Buildings Institute</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
PHY	<i>Physical Layer</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
FFD	<i>Full Function Device</i>
RFD	<i>Reduced Function Device</i>
TI	<i>Texas Instruments</i>
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
RF	Rádio Frequência
SoC	<i>System on Chip</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>

Capítulo 1

1. Introdução

No mundo em que vivemos, o ser humano é dependente das variadíssimas formas de energia. A energia elétrica é aquela que, num âmbito generalizado, suscita maior relevo para a sociedade atual. Para isso é preciso encontrar novos meios e métodos inovadores para que o fornecimento de energia seja o mais sustentável possível.

Na questão do consumo energético, os edifícios habitacionais são responsáveis por pelo menos 40% da energia utilizada na maioria dos países [1]. Esta área de investigação está a crescer rapidamente, como é o exemplo de países tais como a China ou a Índia, onde se verifica um rápido crescimento nas construções no ramo habitacional. Os edifícios habitacionais ao adquirir um carácter inteligente podem dar um grande contributo para a regressão das alterações climáticas e eficiência energética.

O avanço deste tema poderá começar no futuro próximo, pois existe atualmente o conhecimento e a tecnologia para reduzir a utilização de energia nas casas residenciais, enquanto ao mesmo tempo se melhoram os níveis de conforto. As barreiras de comportamento organizacionais, financeiros e sociais colocam-se no caminho da ação imediata e três abordagens que podem ajudar a ultrapassá-las: apoio à interdependência, valorização da energia e a transformação de comportamentos.

Por outro lado, intensificam-se também as preocupações ambientais, principalmente focadas nos gases de efeito estufa, como é o caso do CO₂, pelo que a sugestão apontada vai sempre na direção das fontes de energia renováveis, vertida, por exemplo, no plano da EU “20-20-20”, que estipula, entre outras mudanças, que as emissões de gases de efeito de estufa deverão ser reduzidas em 20% (em relação às verificadas em 1990) e as energias renováveis deverão apresentar 20% do consumo energético da União Europeia (EU) até 2020 [1].

No obstante, a eficiência em edifícios é provavelmente capaz de proporcionar grandes reduções no consumo de energia e na maioria dos casos é a opção mais económica. Segundo o estudo da McKinsey, estimou-se que as medidas de redução da procura sem custos na rede podem quase reduzir para metade do crescimento esperado na procura de eletricidade a nível mundial.

No entanto, a resposta não deve ser apenas do lado da produção, importa que se introduzam novos hábitos de consumo, principalmente no sentido de atenuar situações de pico, enquanto majorantes no dimensionamento da capacidade instalada. Para isso, o consumidor tem que ser informado e/ou persuadido a contribuir para esse efeito, nomeadamente com a deslocação de consumos para períodos de menor procura. Existe uma consciência global destes factos, no entanto, só são esperadas reações dos clientes com ganhos tangíveis em termos de poupança na fatura, mensagem que tem que ser veiculada com sucesso pelo distribuidor.

Em todos estes níveis, o processo de decisão está inteiramente dependente da quantidade, qualidade e atualidade da informação disponível, pelo que o pensamento global vai no sentido de tornar as redes mais inteligentes, donde surge o conceito das *Smart Grids* [2].

1.1. O problema em estudo e a sua relevância

A Eficiência Energética nos Edifícios está relacionada diretamente com a Utilização Racional da Energia (URE), no entanto, devido a sua especificidade e abrangência, a redução dos custos associados nos consumos de energia é um objetivo de toda a sociedade, resultando numa utilização mais racional e inteligente dos equipamentos por parte de todos.

Visto que a eficiência energética é um fator cada vez mais importante, procura-se neste trabalho ir ao encontro de uma solução de controlo computacional e gestão de consumos energéticos por via *Wireless*, mais eficiente e com viabilidade económica.

Das várias instâncias que se podem considerar na rede elétrica, toma-se como por exemplo para este trabalho o ambiente doméstico, pelo que o controlo e o medidor inteligente de energia deverá oferecer uma camada de interface com o utilizador.

Com este equipamento, o utilizador fica habilitado em realizar poupanças, pelo que estará disposto a dedicar alguma atenção à informação obtida. Pode esperar-se também, da crescente tendência que se verifica atualmente no gosto pela acessibilidade e portabilidade das tecnologias da informação e comunicação (TIC), as quais visam ao utilizador tomar o máximo partido nas diferentes plataformas de utilização (computador, *tablet*, *Smartphone*). Porém há que partir do princípio que o utilizador não terá conhecimento na matéria de grandezas elétricas, pelo que a análise dos resultados deve resultar na geração de conclusões claras e objetivas que permite alcançar as poupanças desejadas com medidas simples e diretas.

1.2. Objetivos e Contribuição da Dissertação

O objetivo da presente dissertação baseia-se na compreensão da evolução das redes de energia, mais propriamente no que toca à introdução de inteligência com vista à criação das chamadas redes elétricas inteligentes.

Quanto à componente de desenvolvimento propriamente dita, visa a estruturação e desenvolvimento de um sistema inteligente que permite fazer um controlo por via *Wireless* utilizando uma tecnologia relativamente recente, *ZigBee*, e de uma aplicação informática de interface com o mesmo.

Esta dissertação também visa chegar a uma solução economicamente viável a qual possa ser utilizada no ambiente doméstico, ou seja, introduzindo por exemplo um medidor inteligente do consumo energético. O medidor permite efetuar desde a medição até à sugestão de armazenamento e a comunicação dos dados obtidos.

Este estudo permite alargar os conhecimentos que irão no futuro contribuir para uma sistematização do conhecimento mais abrangente, incluindo a parte de controlo, simulação computacional e gestão de consumos energéticos.

1.3. Visão geral e organização da dissertação

A primeira fase desta dissertação consiste num estudo generalizado sobre as redes elétricas inteligentes, passando seguidamente para uma revisão sobre o conceito de edifícios inteligentes que estão enquadrados por sua vez no conceito de redes elétricas inteligentes.

O capítulo três consiste em fazer uma breve revisão sobre a tecnologia *ZigBee*, mostrando as características dos diferentes tipos de dispositivos lógicos existentes, as topologias da rede, o modo de operação da rede *ZigBee* e a comunicação com os módulos *Zigbee*.

No capítulo quatro faz-se uma descrição do caso de estudo, explicando em pormenor o bloco de controlo e simulação, enquadrando-se ainda a gestão dos consumos energéticos.

No capítulo cinco é abordada a intensidade do sinal (transmissão e receção), quando enfrenta diversos obstáculos, utilizando uma plataforma de desenvolvimento para futuramente tornar o sistema inteligente, fiável e robusto.

No sexto capítulo são apresentadas as considerações finais sobre os resultados obtidos, tendo presentes os objetivos definidos, e sobre a pertinência das funcionalidades conseguidas, face ao enquadramento estabelecido. Por fim, deixa-se um apontamento sobre trabalhos futuros que possam potencializar o trabalho aqui desenvolvido.

Capítulo 2

2. Redes Eléctricas Inteligentes e Casas Residenciais Inteligentes

Uma rede eléctrica moderna e inteligente permite monitorar e atuar sobre a geração, distribuição e utilização da energia provida pela mesma, designando-se também pela nomenclatura anglo-saxónica de *Smart Grid*. A implementação das *Smart Grids* possibilita a troca de informação essencial para que a gestão da rede eléctrica seja cada vez mais eficiente e centralizada. Apesar de se tratar de uma temática recente, esta tem vindo a ser desenvolvida há mais de uma década, tendo sido inicialmente idealizada com o objetivo da telecontagem [2], designando-se também pela nomenclatura anglo-saxónica de *Smart Meter*. Uma *Smart Grid* é caracterizada por um fluxo bidirecional de eletricidade e de informação, a fim de criar uma rede automatizada e distribuída de energia.

Uma *Smart Grid* abrange todos os aspetos relacionados com a energia. Esta rede moderna é capaz de monitorar, proteger e otimizar de maneira automática a operação dos elementos interligados à rede, constituída por centrais distribuídas de geração, pela rede de transmissão e distribuição em alta, média e baixa tensão, sistemas industriais e de automação residencial, ou mesmo os consumidores finais e os seus equipamentos de uso doméstico e ainda com o advento dos veículos eléctricos [2].



Figura 2.1 – Exemplo Smart Grid [3].

A problemática da introdução em grande escala de formas de produção de eletricidade com base em energias renováveis relaciona-se diretamente com o aumento da intermitência de produção de eletricidade, ou seja, uma total ou elevada dependência de energias renováveis é atualmente

impossível, pois uma quebra na produção de eletricidade iria gerar um colapso da rede, com a procura energética a superar a oferta. As redes elétricas inteligentes vêm resolver esse problema, pois adotando com relativa facilidade políticas de *Demand Side Management*, seria possível desligar temporariamente da rede cargas que compensariam essa quebra de produção de energia. Essas cargas poderiam ser, por exemplo, os termoacumuladores para aquecimento de águas sanitárias.

Ainda neste ponto, com a mais recente introdução da produção descentralizada, a microprodução veio levantar outra problemática: os fluxos bidirecionais de energia. Colocou-se então a questão de como é que um microprodutor poderá injetar eletricidade na rede sem a destabilizar, ao mesmo tempo que a consome, sendo ainda recompensado pela eletricidade que produz [2]. A *Smart Grid* permite a introdução de novos microprodutores no mercado energético, pois graças à instalação de *Smart Meters* é possível ter informação em tempo real de quanto é que está a ser produzido por esse cliente e por outro lado quanto é que ele está a consumir.

Uma das temáticas que se distinguem na atualidade refere-se à incorporação do carro elétrico. O maior problema referente a este sector, está relacionado com o aumento elevado da procura de energia elétrica que lhe está associado. Contudo, e no mesmo atualmente está a ser estudada uma forma de os carros elétricos comunicarem automaticamente com as redes inteligentes, troca extrair por fornecer energia nas horas em que a procura é menor e energia nas horas em que a procura é maior, nunca comprometendo obviamente o seu funcionamento e autonomia normal. A este conceito deu-se o nome de V2G - *Vehicle to Grid* [2]. Desta forma, também o carro elétrico poderá contribuir para uma uniformização da procura de eletricidade, podendo até ser englobado em políticas de *Demand Side Management*. Idealmente, no futuro os clientes terão um carro elétrico inteligente na sua garagem, que compra eletricidade nas horas de menor procura - mais barata - e vende nas horas de maior procura - mais cara - ajudando a pagar-se a si próprio.

As redes inteligentes podem dar um contributo importante para a nova estratégia sendo útil para um crescimento inteligente, sustentável, inclusive para a realização dos objetivos propostos a título da iniciativa emblemática «Uma Europa eficiente na utilização dos recursos» e dos objetivos da Europa em matéria de energia e de clima, que são essenciais para o mercado interno da energia [4]. As redes inteligentes são igualmente mencionadas como meio, para os Estados-Membros, é imperativo que as redes inteligentes de energia cumpram as suas obrigações em matéria de promoção da eficiência energética. O Conselho Europeu de Fevereiro de 2011 reconheceu o papel importante das redes inteligentes e convidou os Estados-Membros, em articulação com as organizações europeias de normalização e a indústria, a «acelerarem os trabalhos com vista à adoção de normas técnicas para os sistemas de carregamento de veículos elétricos até meados de 2011 e para as redes e contadores inteligentes até ao final de 2012» [4].

Relativamente a esta temática e a longo prazo, a Comunicação da Comissão intitulada «Roteiro de transição para uma economia hipocarbónica competitiva em 2050» classifica as redes inteligentes como fundamentais para uma futura rede elétrica hipocarbónica, por facilitarem a racionalização

da procura, aumentarem a parte das energias renováveis e da produção distribuída e permitirem a eletrificação dos transportes [4].

Estes desafios visam procurar uma resposta no mais breve tempo possível, para acelerar a implantação redes inteligentes. Algumas diretrizes apontadas pela Comissão são [4]:

- Elaboração de normas técnicas;
- Garantia de proteção dos dados dos consumidores;
- Estabelecimento de um quadro regulamentar que forneça incentivos à implantação das redes inteligentes;
- Garantia de um mercado retalhista aberto e concorrencial no interesse dos consumidores;
- Fornecimento de um apoio constante à inovação em matéria de tecnologias e de sistemas.

Para que haja um acordo das redes inteligentes por parte dos consumidores, é fundamental criar regimes jurídicos e regulamentares que respeitem a vida privada dos consumidores, em cooperação com as autoridades responsáveis pela proteção dos dados, nomeadamente a Autoridade Europeia para a Proteção de Dados, e facilitar o acesso e o controlo, pelos consumidores, dos seus dados respeitantes à energia tratados por terceiros [4]. A comunicação destes dados, deve-se proteger os dados comerciais sensíveis dos operadores das redes e de outros intervenientes e permitir que as empresas partilhem os dados de forma segura, respeitantes às redes inteligentes.

A definição de dados pessoais é conhecido pela distinção entre dados pessoais e dados não pessoais é de alta importância para a implantação de redes inteligentes. Caso os dados tratados sejam técnicos e não se relacionem com uma pessoa singular identificada ou identificável, os operadores de redes de distribuição, de contadores inteligentes e as empresas de serviços energéticos poderão processar esses dados sem necessidade de consentimento prévio dos utentes da rede [4]. Poderão ser necessárias algumas adaptações nos quadros jurídicos nacionais específicos, para que sejam tomadas em conta algumas das características funcionais previstas para as redes inteligentes.

Com a implantação das redes inteligentes, no futuro próximo haja um aumento de tratamento de dados pessoais às autoridades nacionais responsáveis pela proteção de dados. Para a criação destas redes, os Estados-Membros, terão de garantir o acesso aos dados, a plena conformidade com o direito da EU e o direito nacional em matéria de proteção de dados [4].

O desenvolvimento e a manutenção de uma rede segura são essencialmente para garantir a continuidade dos recursos e a segurança dos consumidores. Os operadores de rede são os principais beneficiários dessa implantação, o que serão os principais investidores em redes inteligentes.

Este investimento possibilita para uma melhorar eficiência da rede e o funcionamento geral do sistema, através de melhores mecanismos de resposta à procura e de poupança nos custos [4] (controlo remoto dos contadores, menores custos de leitura, menor necessidade de investimento na produção para os períodos de pico, etc.).

As empresas e também os agregados familiares devem ter um acesso simples às informações de consumo, para poderem visualizar e o que origina ter um percepção geral da energia que está a ser

consumida nesse momento, caso esteja a consumir energia desnecessária o consumidor irá desligar o/s equipamento/s para baixar o consumo energético.

Para além disso, os fornecedores de energia, as empresas de serviços e os fornecedores de sistemas TIC, a utilização de soluções TIC associadas às redes inteligentes permite a integração em grande escala, a produção variável das fontes de energia renováveis, mantendo ao mesmo tempo a fiabilidade global do sistema.

Contudo, as redes inteligentes são um fator necessário para a oferta de serviços de valor acrescentado aos clientes.

2.1. Medição do consumo energético

É possível fazer as medições com uma determinada periodicidade (de segundos a horas) definida pelo distribuidor de eletricidade, enviando os dados para os fornecedores do serviço em causa, designada também com a nomenclatura anglo-saxónica de *smart meter*. Esses dados irão no futuro ser processados para diversos efeitos, tais como: de faturação, de caracterização da procura elétrica na rede, ou até mesmo de deteção de avarias. Estes aparelhos podem estar associados a um display, que permite a visualização em tempo real dos consumos e qual a tarifa a que os mesmos estão a ser taxados, outra possibilidade é estarem disponíveis num portal *web* [5].

O *smart meter* é um contador que envia e recebe informação em tempo real, é necessário que o meio de transmissão de dados apresente duas vias. Para tal, existem atualmente, segundo a referência [5], duas tecnologias dominantes que operam em conjunto, para a transmissão de dados: *Power Line Communications* (PLC) e *General Packet Radio Service* (GPRS). A primeira tecnologia, PLC, assegura a transmissão dos dados entre o *smart meter* e o concentrador de dados (geralmente colocado nos postos de transformação na rua até uma distância de poucos quilómetros). Esta transmissão efetua-se através das mesmas cablagens que transportam a eletricidade. Contudo, para que os dois sinais não tenham interferência, o sinal PLC é emitido a uma frequência na gama musical, bastante mais elevada que os 50Hz da rede elétrica. O sinal emitido é depois captado e decodificado no concentrador de dados, de forma a iniciar-se a segunda fase de transmissão dos dados. A segunda tecnologia, GPRS, é responsável pela transmissão dos dados desde o concentrador de dados até às distribuidoras, onde os dados são armazenados e tratados. Esta forma de comunicação permite transmissão de dados a muito elevadas distâncias, ao contrário de PLC que apenas é viável a curtas distâncias, apresentando ao mesmo tempo um excelente nível de fiabilidade.

A instalação de Smart Meters trás vantagens para o utilizador como por exemplo [5]:

- **Qualidade do serviço:** Ao informar em tempo real os fornecedores das condições em que se encontra a rede, evitando que haja quebras na qualidade do sinal, através de mecanismos de regulação de tensão, aumentando assim a satisfação dos clientes do serviço prestado bem como a robustez do sistema elétrico.

- **Intercomunicação com aparelhos domésticos:** Os *smart meters* terão a capacidade de comunicarem com determinados eletrodomésticos. Na teoria, será possível que o utilizador possa definir quais os períodos de tempo em que a energia é mais dispendiosa, gerindo remotamente ou no local a utilização de eletrodoméstico, reduzindo assim significativamente a fatura do consumo elétrico.

- **Mercado de fornecedores de energia:** Ao estar mais consciencializado dos consumos que efetua, o utilizador poderá de uma forma mais simples ter acesso a outras opções de fornecimento de energia, podendo assim optar por fornecedores mais baratos, se considerar que o diferencial de custo o justifica. Isto poderá no futuro levar a que, por haver mais consumidores a mudar de fornecedor, se verifique uma maior competitividade entre fornecedores, levando a uma diminuição dos custos da energia.

- **Flexibilidade de tarifários:** Os *smart meters* irão possibilitar que a alteração de tarifários seja feita de forma quase instantânea, facilitando a decisão do consumidor de deslocar cargas para períodos horários de menores custos de aquisição de energia. Será também possível a adesão a modalidades de tarifários pré-pagos, em que o utilizador compra um pacote de energia e depois consulta no visor do *smart meter* qual o saldo que ainda dispõe.

- **Microprodução:** Os *smart meters* possibilitam uma maior gestão da microprodução sem necessidade de recorrer a mais do que um contador de eletricidade, pois o mesmo contador contabiliza a eletricidade que está a ser consumida e ao mesmo tempo produzida pelo cliente. Por outro lado, os *smart meters*, tal como já foi referido atrás, permitem que o fornecedor de eletricidade tenha a informação em tempo real de quanta energia está a ser injetada na rede pelos microprodutores, regulando assim a produção de eletricidade de outras fontes, consoante a sua necessidade.

- **Medição do consumo real e faturação:** Os *smart meters* irão permitir que os valores que são cobrados na fatura elétrica sejam efetivamente os valores consumidos, ao invés de se basearem em valores estimados. Desta forma, espera-se que o consumidor tenha menos motivos de queixa ao fornecedor de eletricidade, derivado de cobrança excessiva de energia elétrica. A faturação passará a ser mais flexível, permitindo desta forma que a cobrança seja feita mensalmente, trimestralmente ou anualmente.

- **Informar ao consumidor:** A disponibilização dos dados de consumo ao utilizador poderá ajudar a que o mesmo tome uma maior consciência relativamente ao seu consumo. Poderá compreender quais são os consumos que um eletrodoméstico gera e qual o custo de operação do mesmo em certos horários, em função da tarifa. Se preferir, poderá ter uma opção de programar avisos, por E-mail ou SMS, à medida que determinados patamares de consumos vão sendo atingidos, com o objetivo de evitar descontrolos. A possibilidade dos dados recolhidos poderem ser exportados para um serviço disponível na internet, ou até mesmo diretamente para um computador pessoal através de uma rede HAN (Home Area Network), poderá levar a que os consumidores tenham uma interação

com os seus dados de consumo. Desta forma, o consumidor poderá também verificar na hora o resultado das medidas de eficiência que se dispôs a adotar.

Ainda relativamente à consciencialização, os *smart meters* vêm possibilitar algo que consideramos ser extremamente importante: a desagregação de consumos consoante os aparelhos. Ao desagregar os consumos de eletricidade, água e gás, os fornecedores poderão optar por se coordenarem com o propósito de, com o maior detalhe possível, determinar quais os aparelhos residenciais que efetuaram certos consumos.

A instalação de *smart meters* tem sido bem investigada, pelas vantagens óbvias ao nível da eficiência energética. Contudo, existem alguns pontos fracos para os consumidores, de entre os quais interessa o mais destacado que é a privacidade e segurança dos dados.

2.2. Smart Grid em Portugal

As *smart grids* em Portugal tiveram o seu lançamento em 2009, quando a EDP (Energias de Portugal) em consórcio com um grupo de empresas (Janz, Efacec, Lógica, INESC Porto, EDP Inovação), lançou o projeto *InovGrid*, figura 2.2. Este projeto-piloto, que consistiu na instalação de cinquenta mil contadores inteligentes residenciais, tem como base operacional a cidade de Évora, que segundo a EDP, será uma das primeiras *smart cities* da Europa [6].

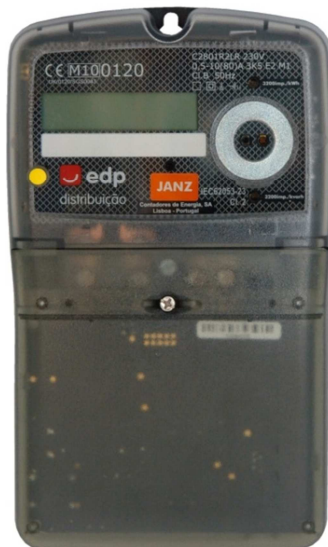


Figura 2.2 - Smart Meter do projeto InovGrid (EDP) [6].

Este trabalho tem como principais objetivos tais como um sistema inteligente de gestão e controlo da qualidade dos serviços de distribuição, diminuição de custos de operação, segurança no abastecimento e flexibilidade na incorporação da microprodução, entre outros [6]. Todos os objetivos dimensionados anteriormente, visam melhorar a eficiência energética de Portugal, permitindo uma maior sustentabilidade ambiental que permita atingir as metas desejadas.

A Janz, foi uma das empresas que teve um importante papel no desenvolvimento de um novo contador inteligente capaz de responder às mudanças que estão a ser desencadeadas no sector

elétrico a nível mundial. Dotado de avançadas capacidades de comunicação, potência a telegestão por parte da EDP Distribuição, bem como a participação mais ativa do consumidor com acesso à informação em tempo real dos seus consumos e à tomada de decisão sobre a gestão energética. Com este programa é possível obedecer aos objetivos do plano europeu que respeita a progressiva descarbonização designado por plano 20-20-20 (20% de aumento de eficiência energética, 20% na redução de CO₂ e 20% no consumo de eletricidade proveniente de fontes renováveis de energias até ao ano de 2020) [7].

O projeto é considerado atualmente como o único caso de estudo da Europa que permitirá fazer uma avaliação do custo oferecidas pela *Smart Grid*. Em geral, os outros pilotos na Europa bem como as implementações completas nos países como a Itália, Suécia e Malta são em geral projetos de apenas telecontagem [7].

O projeto InovGrid representa algumas vantagens, tais como:

- Abordagem centrada no produtor/consumidor;
- Ambiente sustentável;
- Monitorização de redes inteligentes;
- Qualidade de serviços;
- Benefícios para todos os intervenientes.

2.3. Casa Residencial

Nas sociedades modernas, os custos da construção e da manutenção das casas urbanas são em geral muito elevados, constituindo gastos significativos para as empresas que os possuem e/ou utilizam. A tentativa de redução desses gastos tenha por vertente principal a racionalização do projeto e da exploração dos edifícios.

Foi no início dos anos 60 que surgiram os primeiros sistemas de controlo centralizado nos edifícios, com especial incidência sobre os equipamentos de climatização. No princípio da década de 70, a divulgação dos microprocessadores alargou o domínio de aplicação dos sistemas de controlo, os quais passaram a permitir a automação e a supervisão de equipamentos mais sofisticados e em maior número [8]. A crise petrolífera contribuiu decisivamente para a implantação destes sistemas, colocando em primeiro plano todos os aspetos relacionados com uma gestão energética mais racional.

A partir da década de 80 surge o conceito de casa residencial, essencialmente como resposta à necessidade na redução de custos de construção e de exploração. Então, aparecem os chamados Sistemas de Gestão Técnica que bissectam nas habitações em componentes essencialmente estanques de controlo de funções de equipamentos muito diversificados, pertencentes a fabricantes também muito diferentes [8]. Com os Sistemas de Gestão Técnica das habitações na década de 80 aparecem essencialmente dois fenómenos novos. Por outro lado, surge o conceito de serviço ligado à função ou funções desempenhadas pelos diversos equipamentos de gestão técnica: o serviço de

iluminação, o serviço de controlo de acessos ou o serviço de deteção de incêndios. Contudo, aparece a necessidade de integração dos serviços, com o objetivo de extrair novas potencialidades resultantes das suas interações.

Nos anos 80 surgem também novos requisitos de conforto, de segurança, de flexibilidade dos locais de trabalho, e novas necessidades de serviços de telecomunicações e de processamento de informação. Isso deu origem ao aparecimento de três sistemas fundamentais nas habitações [8]:

- O sistema de automação e gestão de edifícios, responsável pelo controlo das instalações técnicas, pela deteção de incêndios, pela gestão energética, pelo controlo da iluminação, pela climatização, etc.;
- O sistema de telecomunicações, envolvendo comunicações de voz e de dados, a comunicação com o exterior dos edifícios, etc.;
- O sistema computacional, que inclui sistemas de informação, escritório eletrónico, sistemas de apoio à decisão, automação de procedimentos administrativos, etc.

No início da década de 90 surge um conceito mais alargado de Casa Residencial, onde a integração de serviços começa a desempenhar um papel muito importante. O serviço de controlo de acessos dialoga com o serviço de apoio à portaria, ou seja, recebe a informação e transfere a informação para o serviço de vigilância, e assim sucessivamente.

Em 1986 foi criada nos *EUA* a organização *Intelligent Buildings Institute*, designando a nomenclatura anglo-saxónica de *IBI*, com o objetivo de promover e apoiar todos os aspetos relacionados com as casas residenciais inteligentes. Uma das suas primeiras missões foi tentar estabelecer uma definição para o conceito:

"Uma Casa Residencial inteligente é aquela que oferece um ambiente produtivo e que é economicamente racional, através da otimização dos seus quatro elementos básicos - estrutura, sistemas, serviços e gestão - e das inter-relações entre eles. As casas residenciais inteligentes ajudam os seus proprietários, gestores e ocupantes a atingir os seus objetivos sob as perspetivas do custo, conforto, adequação, segurança, flexibilidade no longo prazo e valor comercial" [8][9].

Com esta definição apresentada anteriormente, podemos descrever os diversos aspetos mais importantes a ter em conta [8]:

- A noção de "inteligência" deve estar presente durante todo o ciclo de vida da habitação, sendo particularmente importantes as fases de projeto e de conceção.
- Os aspetos estruturais e organizacionais do edifício têm um grande relevo, devendo prever-se formas simples e fáceis de reorganização do espaço.
- Uma Casa Residencial é um edifício à prova de futuro, no sentido de que deverá poder adaptar-se a novos padrões de utilização e a novas necessidades.
- O conceito de Casa Residencial inteligente não se restringe a escritórios, podendo ser aplicado a outros edifícios tais como: hospitais, edifícios educacionais, hotéis, espaços comerciais, entre outros.

- O grau de "inteligência" de uma habitação não deve ser encarado como algo absoluto. A "inteligência" de um edifício está intimamente associada à forma como são satisfeitas as necessidades e os requisitos das organizações nele instalado.
- Na casa residencial a ênfase não se deve centrar apenas nos aspetos do controlo, da automação e da supervisão. A era informática em que vivemos necessita que o edifício dê também um suporte adequado aos sistemas informáticos e às comunicações.
- Uma casa residencial deve oferecer locais de trabalho que motive as pessoas e que as apoie fortemente nas suas tarefas criativas ou administrativas.
- Uma casa residencial deve permitir que os trabalhadores intervenham sobre o seu ambiente de trabalho, adequando-o às suas necessidades e preferências.
- Os vários sistemas presentes numa casa residencial, associados nomeadamente à automação, às comunicações e ao processamento de informação, devem poder relacionar e cooperar entre si, possibilitando novos graus de gestão e supervisão, e um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis no edifício.

Ao longo desde tempo o ser humano tem vindo aplicar novas tecnologias à sua habitação, nomeadamente o aumento a nível de segurança, transformar a habitação mais confortável para o utilizador e a mais importante de todas a sua poupança de energética.

À medida que as habitações foram evoluindo ao longo do tempo, destacando principalmente as suas instalações técnicas, cuja complexidade tem vindo sempre a aumentar.

2.4. Objetivos das casas residenciais Inteligentes

Atendendo as necessidades recorrentes, esquematizou-se os objetivos das casas inteligentes segundo a arquitetura, tecnologia, questões ambientais e económicos dos quais se destacam:

- **Arquitetónicos:**
 - Satisfazer as necessidades presentes de todos os utilizadores das habitações;
 - A flexibilidade tanto nos sistemas, como em estruturas e os serviços;
 - Sistema arquitetónico adequado e correto;
 - Aumento de estimulação no trabalho.
 - A funcionalidade da habitação;
 - Maior conforto e segurança para o utilizador;
- **Tecnológicos**
 - Disponibilidade de meios técnicos avançados de telecomunicações;
 - A automatização das instalações;
 - A integração de serviços.
- **Ambientais**
 - A criação de um edifício sustentável;
 - A gestão energética;
 - Cuidado com o meio ambiente.
- **Económicos**

- A redução dos altos custos de operação e manutenção das casas residenciais;
- Benefícios económicos para a economia dos clientes;
- Aumento da vida útil das habitações;
- A possibilidade de cobrar preços mais altos pela renda ou venda de espaços;
- A relação custo/benefício.

2.5. Vantagens das casas residenciais Inteligentes

À medida que as casas residenciais se tornam mais caras e complexas, e à medida que aumenta o número e a sofisticação dos sistemas tecnológicos que neles se incorporam, torna-se cada vez mais crítico gerir de forma eficaz as habitações e a sua tecnologia. Esta integração está associada à capacidade de vários sistemas poderem comunicar entre si, trocarem informação e colaborarem para atingir objetivos comuns.

Considerando os principais domínios tecnológicos das casas residenciais, como a automação, computação e comunicações, tem uma noção de integração que necessita ser aplicada no interior de cada domínio e entre domínios distintos. Ou seja, a integração deve ser o mais superficial possível. A solução ideal corresponde a uma sobreposição total dos vários domínios, situação em que, do ponto de vista dos utilizadores, não seria possível distinguir sistemas específicos isolados, nem funções particulares, independentes [9].

A noção de integração assume uma importância vital no contexto das casas residenciais inteligentes. Isso deve-se ao importante conjunto de vantagens e potencialidades que permite oferecer, de que se destacam [9]:

- um melhor aproveitamento dos recursos existentes e uma maior eficácia na sua utilização;
- novas funções, como valor acrescentado da interação e cooperação entre sistemas/aplicações;
- reações mais coordenadas e rápidas;
- Soluções com uma melhor relação funcionalidade/custo.
- a capacidade de correlacionar informação, de a processar e de otimizar decisões;
- o acesso aos vários sistemas através de um mesmo ponto, o que se traduz numa utilização mais simplificada, flexível e eficaz;
- Aumentos de produtividade, facilitando a execução de tarefas complexas envolvendo diferentes sistemas;

2.6. Serviço para casas residenciais Inteligentes

As capacidades dos sistemas presentes numa habitação avaliam-se pelas funções que executam, tais como: podem ser bastante diversificadas, possuem no entanto características (tais como a sua natureza, o seu âmbito, ou os seus objetivos) que as permitem agrupar em conjunto. É nesta perspetiva que se introduz a noção de serviço, a qual corresponde a um conjunto de funções que, pela sua natureza, pela sua íntima inter-relação e/ou dependência, pela sua partilha ou intervenção

sobre informação comum, pela sua associação a um mesmo tipo de equipamento físico, justificam o seu agrupamento numa entidade individualizada.

Para salientar as funções desempenhadas por um serviço não necessitam de estar, forçosamente, associadas a dispositivos físicos (envolvendo interações com sensores e atuadores). Um serviço pode ser constituído apenas por funções de natureza *software*. Deste modo, uma base de dados ou um determinado programa específico podem também ser considerados serviços. Ou seja, a noção de serviço é bastante genérica, podendo ser aplicada aos mais diversos domínios e não se restringindo apenas à área da automação e gestão de casas residenciais [9].

É possível implementar sistemas e dispositivos que controlam os diversos equipamentos elétricos numa habitação, como por exemplo: controlo de um sistema de iluminação, controlo de um sistema de climatização, controlo de acessos, persianas automatizadas, rega de jardim automática, câmaras de vigilância, etc.

De seguida, é apresentado um esquema de uma casa residencial inteligente, com diversos controlos que podem ser automatizados.

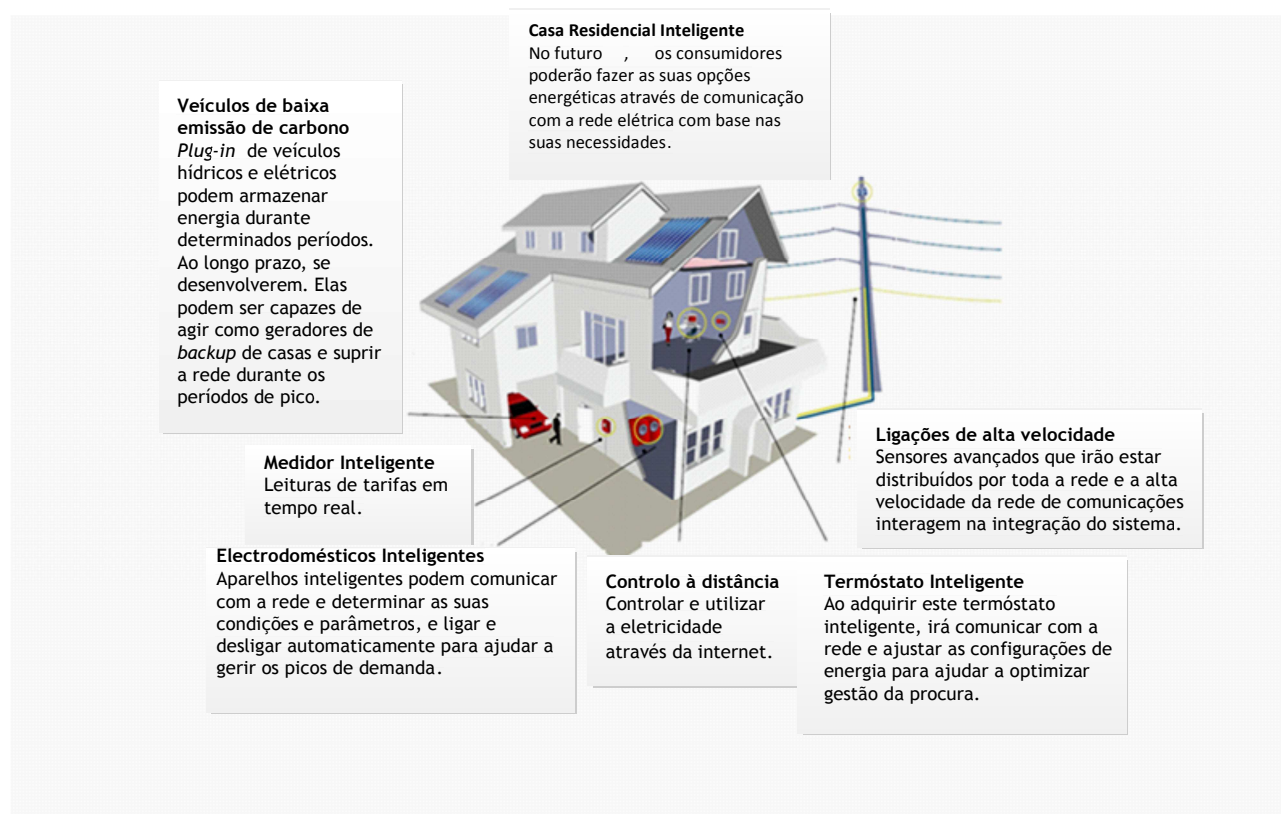


Figura 2.3 - Esquema de uma Casa Residencial Inteligente [9].

A implementação de uma Casa Residencial Inteligente pode ser constituída por diversos sensores que permite controlar um conjunto de serviços numa casa residencial. Segue-se o conjunto de serviços para as casas residenciais inteligentes, indicando-se entre parênteses uma designação abreviada de cada serviço [9]:

- Apoio à Portaria (Portaria);
- Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC);

- Comunicações e Distribuição de Áudio e Vídeo (Comunica, Audio-Video);
- Controlo de Acessos (Acessos);
- Controlo de Estacionamento de Veículos (Estacionamento);
- Controlo de Irrigação (Irrigação);
- Detecção de Situações de Emergência (Emergência);
- Diagnóstico de Falhas e Manutenção de Sistema (Diagnóstico e Manutenção);
- Elevadores (Elevadores);
- Gestão de Cablagem (Cablagem);
- Gestão de Presenças (Gestão de Presenças);
- Gestão e Administração de Sistema (Gestão e Administração);
- Gestão Energética (Gestão Energética);
- Iluminação (Iluminação);
- Informação (Informação);
- Inventariação e Gestão Patrimonial (Gestão Patrimonial);
- Localização de Pessoas e Equipamentos (Localização);
- Manutenção da Casa Residencial (Manutenção);
- Vigilância e Detecção de Intrusão (Vigilância);

Antes de iniciar a descrição de alguns serviços, convém salientar diversas capacidades que são comuns a todos eles [9] [10]:

- configuração e gestão do serviço, permitindo a sua adequação a cada caso de aplicação (deverá ser possível, por exemplo, definir que equipamentos estão associados ao serviço e qual o seu tipo, definir quais as suas identificações, locais da habitação em que estão instalados, etc);
- monitorização e teste do estado de funcionamento de dispositivos mecânicos e respetivos equipamentos de controlo, com vista a detetar a ocorrência de falhas e a registar tempos de funcionamento (esta informação será de grande utilidade para a realização de ações de manutenção);
- gestão e controlo dos privilégios dos vários tipos de utilizadores;
- interação com os utilizadores, possibilitando a realização de tarefas de configuração, parametrização e gestão do serviço, ou simples consulta de informação (de notar que determinadas tarefas estarão restringidas apenas aos utilizadores com os privilégios adequados);
- realização de registos de informação relevante e sua gestão (com vista a possibilitar, por exemplo, a sua análise estatística ou a sua transferência para outras aplicações).

Seguidamente, apresenta-se uma descrição muito sucinta das funcionalidades associadas a cinco dos serviços indicados. Relativamente aos restantes serviços, espera-se que a sua designação seja suficiente para dar uma indicação do correspondente âmbito de intervenção. Contudo é apresentada uma descrição mais pormenorizada de cada serviço, com a identificação das funções e

capacidades inovadoras que se destacam das funcionalidades habitualmente disponíveis nos sistemas de automação atuais [9].

- **Serviço de Apoio à Portaria**

Este serviço tem por objetivo tornar mais eficaz e facilitar as tarefas a cargo das pessoas responsáveis pela(s) portaria(s) de uma casa residencial.

De entre as suas funções destacam-se o controlo e registo de entradas e saídas na casa residencial por parte de pessoas e de equipamentos, o fornecimento de informação de encaminhamento de visitas, o registo de mensagens de visitas para visitados e vice-versa, etc.

- **Serviço de Manutenção de uma casa residencial inteligente**

Este serviço tem a seu cargo a supervisão de todas as tarefas relacionadas com ações de manutenção (preventiva ou corretiva) associadas a própria casa residencial e às suas instalações técnicas. De entre as suas funções destacam-se as associadas à supervisão de pedidos de reparação e indicações de falhas, ao processamento desses pedidos (agrupamento por especialidades, atribuição de prioridades, estimativa de tempos de execução), à coordenação e escalonamento de ações de manutenção (incluindo a atribuição de tarefas às pessoas adequadas, contabilização da duração das operações executadas, registo das ações realizadas, contabilização de custos), ao controlo e gestão de contratos de manutenção, etc.

- **Serviço de Detecção de Situações de Emergência e de Gestão de Presenças**

O serviço de deteção de situações de emergência tem a seu cargo tarefas de deteção e combate de situações de emergência tais como incêndio, fugas de gases tóxicos e inundações. De entre as suas funções salientam-se as associadas ao encaminhamento de pessoas e à previsão da evolução e propagação de sinistros.

Por outro lado, o serviço de gestão de presenças tem como objetivo principal registar os tempos de presença dos funcionários das várias organizações existentes numa casa residencial e fornecer informação pormenorizada que permita, por exemplo, efetuar o processamento de vencimentos. De entre as múltiplas funções que desempenha, destacam-se as relativas à aceitação de justificações de faltas ou ausências, à marcação de férias e ao processamento estatístico de informação e controlo de assiduidade.

- **Serviço de Informação**

Este serviço conglobera em si múltiplas funções, que se caracterizam, na sua generalidade, por permitir o acesso a informação útil sobre a casa residencial e sobre as organizações que o ocupam, e oferecer facilidades de gestão de determinados recursos associados a casa residencial.

De entre as funções que desempenha referem-se o registo de reclamações e de sugestões, a recolha de solicitações diversas (por exemplo, pedidos de reparações, de instalação de equipamentos, de resolução de problemas), o armazenamento e o acesso a documentação diversa (manuais de equipamentos, procedimentos vários, estatutos, legislação, contratos de manutenção, etc.), a gestão de recursos comuns de uma casa (tais como salas de reunião, auditórios e áreas de lazer), etc.

Capítulo 3

3. A Tecnologia ZigBee

A tecnologia *ZigBee* é um protocolo definido por uma aliança de empresas de diferentes segmentos do mercado, chamada "*ZigBee Alliance*". Este protocolo está projetado para permitir a comunicação com baixo consumo de energia e baixas taxas de transmissão para aplicações de monitorização e controlo. Para implementar as camadas MAC (*Medium Access Control*) e PHY (*Physical Layer*) o *ZigBee* utiliza a definição 802.15.4 do *IEEE* (Institute of Electrical and Electronics Engineers), que opera em bandas de frequência livres [11].

Esta tecnologia do *ZigBee* surgiu devido aos avanços tecnológicos que se verificam nas redes sem fios, as quais possibilitam o surgimento de várias alternativas e protocolos de comunicação, tendo como principal premissa a garantia da qualidade de transmissão de dados com altas taxas de frequência, mas pela sua vez, tornam os equipamentos que o constituem mais caros e pouco apelativos para aplicações de menor dimensão. Segundo a referência [11], a tecnologia nasceu em 2002 com o crescente número de soluções oferecidas no mercado das comunicações sem fios.

A *ZigBee Alliance*, em parceria com a *IEEE*, criaram um protocolo capaz de possibilitar um controlo seguro, de baixo custo e de baixa potência em redes sem fio para o controlo de diversos equipamentos, incluindo soluções para a automação residencial, aplicações em telemedicina e entretenimento (jogos) [12]. Na figura 3.1 demonstra-se os diferentes ramos no qual a tecnologia *ZigBee* pode ser implementada.

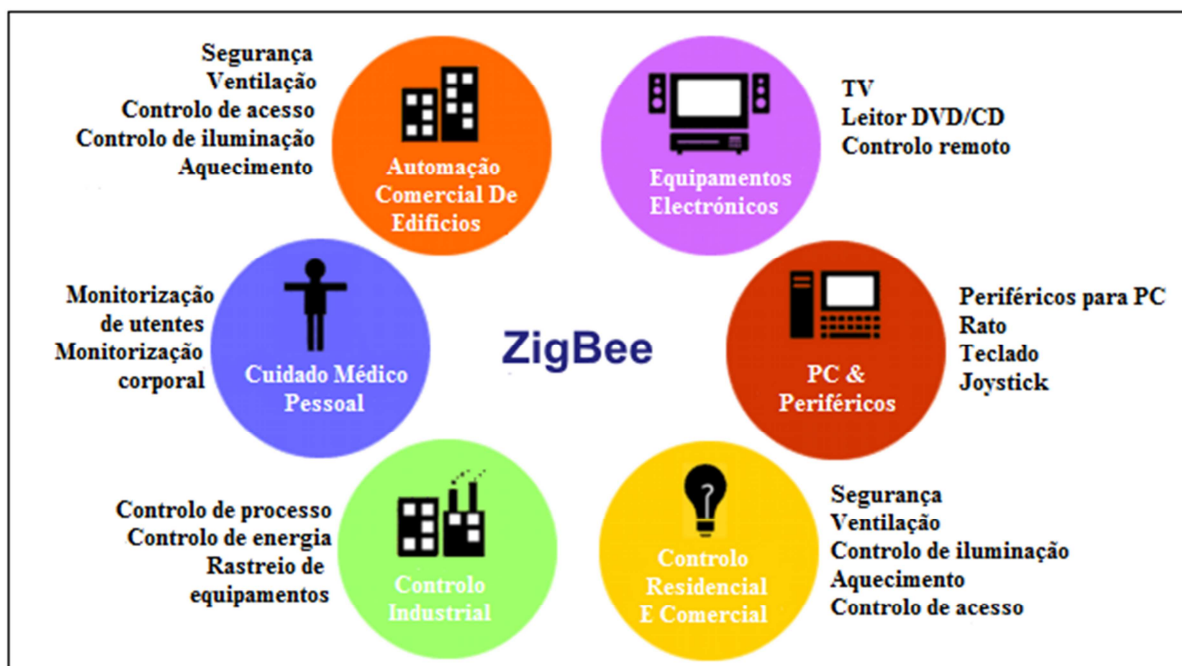


Figura 3.1– Aplicações em diversos sectores [12].

3.1. Módulos ZigBee

A tecnologia *ZigBee* está definido por um protocolo de comunicação de curto alcance e banda estreita, que pode operar nas frequências de 868 MHz (Europa), 915 MHz (América) e 2,4GHz (Global) com uma capacidade máxima de transmissão de 250Kbps [11]. Na generalidade das aplicações onde o *ZigBee* pode operar, o tempo de operação requerido é bastante baixo, pelo que passa a maior parte do tempo em modo “dormir”, o que permite o baixo consumo de energia, que por sua vez, também permite o aumento da vida útil da bateria.

Como o *ZigBee* foi desenhado para ter um baixo consumo de energia, encaixa perfeitamente em aplicações com sistemas embebidos e em todas as áreas em que as principais exigências sejam uma fácil implementação e uma grande versatilidade, em vez de uma grande largura de banda.

Para além dos módulos *ZigBee*, existe outros meios de comunicação como o *Bluetooth*, *GSM/GPRS* e o *Wi-Fi* representado na tabela 3.1.

Para o caso em estudo foi utilizado o *ZigBee*, irá ser demonstrada pormenorizadamente no capítulo 4, o *ZigBee* é aquele que mais se adequa para monitorização e controlo. Como se verifica na tabela seguinte, esta tecnologia também é aquela que foi desenhado para ter um baixo consumo de energia, logo a sua autonomia aumenta significativamente em comparação com as tecnologias atualmente no mercado.

Tabela 3.1 – Comparação entre as tecnologias de comunicação Wireless [13].

Tecnologias	ZigBee (802.15.4)	Bluetooth (802.15.1)	GSM/ GPRS	Wi-Fi (802.11)
Aplicação Principal	Monitorização e Controlo	Conectividade entre dispositivos	Transmissão de dados e voz em grandes áreas	Internet de alta velocidade
Vantagens	Custo reduzido e baixo consumo de energia	Versatilidade na ligação entre dispositivos	Infraestruturas já existentes	Altas Velocidades
Autonomia (Dias)	100 a 1000+	1 a 7	1 a 7	0,5 a 5
Largura de Banda	250Kbps	720Kbps	Até 128Kbps	11Mbps
Alcance Típico (metros)	até 100	10 a 100	até 1000	50 a 100

3.2. Características do tipo de dispositivo físico associado

Os dispositivos *ZigBee's* estão associados à norma *IEEE 802.15.4*, podem existir três classes de dispositivos lógicos que concretizam a rede de comunicação: coordenador, *router* e *endpoint*. O *endpoint* também pode ser designado por dispositivo final ou *end-device*.

É possível observar a constituição da rede ZigBee e como os dispositivos interagem entre si. Descreve-se de seguida cada um dos nós da rede [14]:

- **Coordenador:** é o primeiro dispositivo da rede e é ele que inicia a rede ZigBee. A sua primeira tarefa é testar os canais RF (canais de frequência) disponíveis na banda de frequências de 2.4 GHz, escolher um canal e um identificador de rede de 16bits, designado por PAN ID. O passo seguinte é informar todos os outros nós das características da rede criada.

O nó coordenador também pode ser utilizado para auxiliar na segurança dos dados a transmitir ao nível de camada de aplicação. O papel do nó coordenador está principalmente relacionado com a inicialização e configuração da rede. Após a rede estar configurada com todos os nós existentes, o nó coordenador comporta-se como um nó *router* ou até mesmo a sua presença pode não ser mais necessária, dependendo da natureza de distribuição da rede ZigBee.

A característica que difere de todos os restantes nós da rede é a necessidade de ter uma boa fonte de alimentação, visto que, devido à função extra de coordenação da rede, pode ser necessário que esteja constantemente ligado.

- **Router:** executa funções que permitem que os outros dispositivos, tipicamente *end-devices* e outros routers, se juntem à rede configurada pelo nó coordenador. Encaminha dados ou pedidos do nó coordenador para os *end-devices* ou vice-versa. Como executa funções de encaminhamento de dados ou pedidos, o seu estado normalmente está ativo, por isso também precisa de uma boa fonte de alimentação. Uma outra função do nó router é descobrir o melhor caminho para fazer chegar uma mensagem do nó coordenador a um *end-device* que não está na sua imediação na rede.
- **End-device:** é o nó da rede que fica na extremidade. Representa a maioria dos nós da rede. Não têm responsabilidade específica na manutenção da infraestrutura da rede, sendo que a arquitetura da rede *ZigBee* foi desenhada para executar poucas funções e que grande parte do tempo esteja em estado inatividade.

Esta característica garante que o dispositivo que executa funções de nó *end-device* seja de custo reduzido e alimentado por baterias.

Devido ainda ao tipo de funções de *end-device*, as baterias podem ser apenas substituídas passados anos de funcionamento. O nó *end-device* sai do modo repouso se a sua aplicação assim o prever ou quando é feito um pedido por parte do nó *router*.

A cada nó *end-device* podem ser adicionados até 240 dispositivos que executam aplicações

distintas mas que podem partilhar o mesmo *transceiver* e a camada da rede da pilha ZigBee, do mesmo dispositivo.

Os nós da rede são formados por dois tipos de dispositivos. Assim sendo, existem os dispositivos *Full Function Devices* (FFD) e os *Reduced Function Devices* (RFD). Os FFD estão preparados para executar todo o tipo de funções na rede, ou seja, podem exercer a função de todos os nós da rede. Para tal, estes dispositivos contêm uma memória e capacidade de processamento extra, utilizando todas as funcionalidades do protocolo IEEE 802.15.4 a nível de PHY e MAC. Os RFD são dispositivos que apenas podem executar as tarefas de nó *end-device*. Têm funções limitadas ao nível da rede, permitindo assim poupar bateria.

Na tabela 3.2, permite sintetizar e generalizar os diferentes dispositivos lógicos, assim como os tipos de dispositivos associados as respetivas funções de cada dispositivo inerente.

Tabela 3.2 – Redes ZigBee: dispositivos e suas funções [14].

Dispositivo	Tipo de dispositivo físico associado (ZigBee-IEEE802.15.4)	Função
Coordenador	FFD	Forma a rede, distribuição dos endereços. Existe apenas um por rede.
Router	FFD	Permite que mais nós se juntem à rede, aumentar o seu alcance físico. Pode também efetuar funções de controlo ou monitorização. A sua existência é opcional.
Endpoint	RFD ou FFD	Permite a ação de controlo ou monitorização através de dispositivos que lhe seja associado (sensor, controlador, atuador, etc.).

3.3. Topologia da Rede

A topologia Básica é a Estrela, cujo *End-device* e Router comunica-se diretamente com o coordenador apenas. O nó coordenador é conferido o controlo da rede, o qual assume ainda um papel central na comunicação direta com todos os dispositivos *Endpoint* - é portanto o nó

coordenador que inicia e mantém os dispositivos na rede. Toda a informação em circulação na rede passa pelo nó Coordenador como podemos ver na figura 3.2.

A topologia descrita na figura 3.2, existe apenas um único coordenador central, tem como vantagem a simplicidade e aumentar a vida útil da bateria em tempos de operação, como desvantagem tem o menor alcance e a dependência da rede sobre um único coordenador.

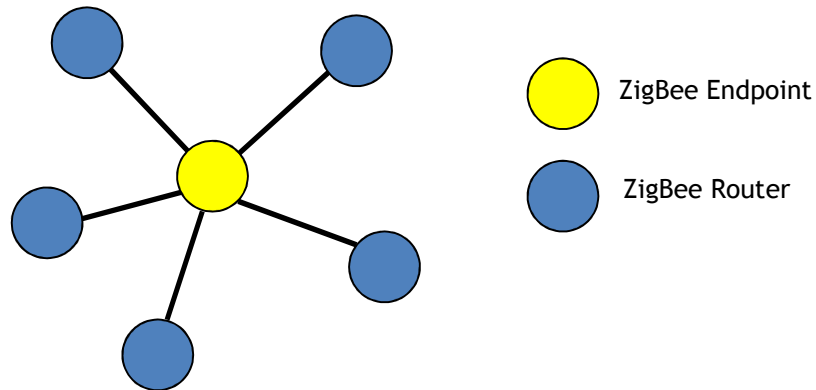


Figura 3.2 – Topologia de Rede: Estrela [12].

A topologia descrita na figura 3.3, existe uma maior flexibilidade, segurança e desempenho, pois tem como vantagem a possibilidade de comunicar os nós por diversos caminhos, mas continua a existir apenas um coordenador.

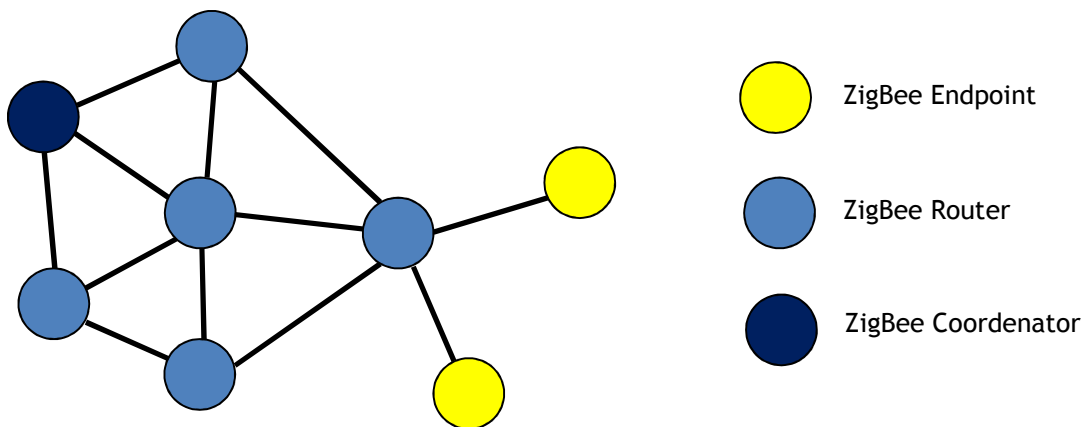


Figura 3.3 – Topologia de Rede: Malha [12].

A topologia descrita na figura 3.4, a topologia de rede árvore é aquela que representa como melhor opção em relação as topologias de rede malha e estrela, esta topologia representada na figura 3.4 tem uma vantagem de ter mais que um coordenador.

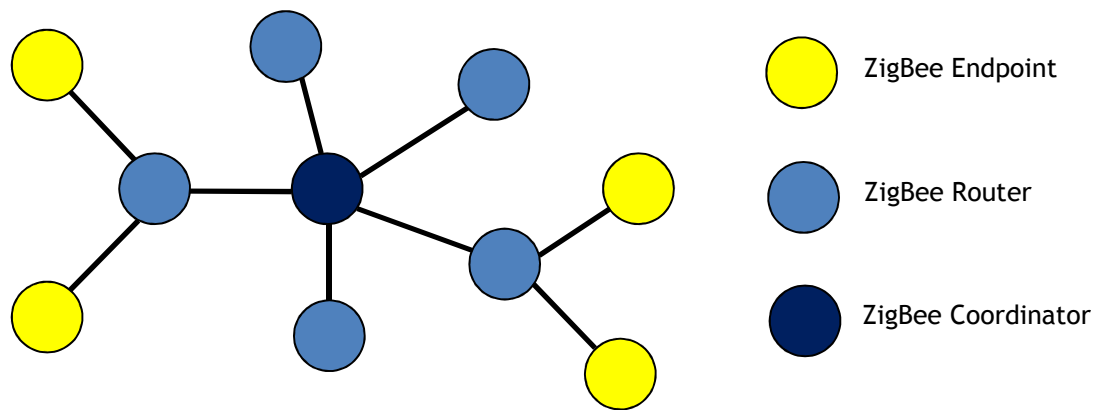


Figura 3.4 – Topologia de Rede: Árvore [12].

Com a presença de mais de um coordenador e vários routers há um aumento da segurança do alcance da rede. Este também permite mantê-los no estado inatividade com evidente vantagem em termos de consumos energéticos.

3.4. Modos de Operação da Rede ZigBee

Existem dois modos de Operação da Rede ZigBee, para que um dispositivo possa transferir informações os quais a seguir se descrevem [14]:

- **Beaconing** - Neste modo de operação, todos os dispositivos com funções de router, transmitem durante algum tempo um sinal (*beaconing*), para confirmar a sua presença perante os outros routers da mesma rede. Os restantes nós da rede só precisam estar ativos ao fim de receberem um sinal, no entanto esses dispositivos devem ser configurados para perceber o período em que se ocorrerá o sinal, pois o modo *beaconing* na maioria dos dispositivos permanece no estado de inatividade, pelo que o consumo é mínimo. Um nó configurado para dormir e despertar somente quando necessário pode aumentar o tempo de vida útil de uma bateria até 5 anos. Desta forma, os sensores poderão representar os seus valores durante algum tempo e estarem distantes de qualquer rede elétrica.
- **Non-Beaconing** - Nesse modo a maioria dos nós da rede permanecem com seus recetores ativos, consequentemente consumido mais energia. É importante salientar, que nesse modo os dispositivos devem ser alimentados com fontes de energia mais potentes e duradouras que as pilhas ou baterias comuns.

3.5. Comunicação com os Módulos ZigBee

Os módulos podem ser acoplados numa placa designada por “*Shields*”, existem diversas no mercado mas neste caso em estudo foi utilizado duas diferentes, uma para poder fazer as ligações com o microcontrolador e uma outra para fazer a ligação com o computador pela porta *USB*. No capítulo 4, irá ser demonstrada as tais placas e a sua função.

Os módulos ZigBee, conhecidos como XBee/XBee-Pro, são configurados através de comandos AT (“AT command mode”). Desta família, o mais comercializado hoje em dia é o Xbee-Pro Série 2, no qual é possível enviar comandos de configuração de um módulo a outro, e desta forma, não é necessário que o módulo esteja fisicamente ligado a porta USB para que a sua configuração seja feita, ou seja, é possível reconfigurar todos os módulos de uma rede a partir de qualquer um deles.

Para que os módulos sejam configurados, como a atualização de *firmwares* e outras funções, a empresa Digi, desenvolveu um *software X-CTU*, que permite fazer a configuração de cada um dos módulos de maneira simples e compreensível.

Capítulo 4

4. Descrição do Caso de Estudo

Neste trabalho tem-se como objetivo controlar um sistema de iluminação de uma habitação utilizando o microcontrolador MSP430, fazendo a comunicação sem fios com o computador. Ao fazer esta comunicação utiliza-se o *software* IAR *Embedded Workbench* para visualizar em que estado se encontra o led do microcontrolador. Para além disso, o trabalho também inclui um medidor de energia inteligente para efetuar leituras de tarifas em tempo real, permitindo a troca de informação essencial para que a gestão da rede elétrica seja cada vez mais eficiente e centralizada, que será descrito ao pormenor mais adiante.

4.1. Controlo do sistema de iluminação

O material necessário para a realização desta secção é:

- 1 Microcontrolador MSP430G2553 launchpad;
- 2 ZigBee Pro serie 2;
- 1 Xbee Xplorer USB;
- 3 Softwares:
 - IAR Embedded Workbench IDE Versão 5.51.4;
 - Digi-MaxStream X-CTU;
 - Hyperterminal Versão 6.1;
- Diversos Condutores para fazer as ligações do ZigBee, microcontrolador, relé, e circuito iluminação;
- 1 Placa de Relé (*ON/OFF*);
- 1 Ficha Elétrica Monofásica;
- 1 Circuito de Iluminação;
- 1 Placa Shield Internet Arduíno;

Com o material descrito anteriormente foi possível fazer o controlo de um sistema de iluminação. Inicialmente foi feita uma análise no datasheet do MSP430G2553, referência [16], para compreender e operar com o código no *Software IAR Embedded Workbench*.

Os microcontroladores são microprocessadores orientados para o controlo (operações com bits, interação entre sensores e atuadores, comunicação entre dispositivos e utilizadores) e estão presentes na maior parte dos equipamentos eletrónicos utilizados diariamente (principalmente em sistemas embebidos). Um microcontrolador é um computador e como tal tem um processador (normalmente até 32 bits), memória de programa (Flash) e de dados (RAM) e dispositivos de entrada e saída de informação sendo por isso autónomo. Ao contrário dos computadores de utilização doméstica e/ou de trabalho que estão preparados para executar uma grande variedade de

aplicações, os microcontroladores têm uma utilização mais dedicada, e incluem algumas características tais como:

- Inclusão de diversos periféricos: temporizadores, conversores analógicos/digitais, watchdog, geradores de relógio e dispositivos de comunicação série:
 - Inclusão de memória de dados e de programa no mesmo circuito integrado;
 - Possibilidade de o programador ter acesso direto aos pinos do circuito tais como: VCC, GND, TXD, RXD, RST, P1.0, P1.1, P1.2, etc;
 - A existência de instruções especializadas para operações comuns em sistemas embebidos tais como manipulação de bits. Isto permite melhorar o desempenho do sistema.

O facto de os periféricos e a memória estarem localizados no mesmo circuito integrado, como se demonstra na figura 4.2, permite reduzir o número de componentes o que se traduz numa diminuição da área, do consumo e do custo final da implementação.

O acesso aos pinos do microcontrolador permite aos programadores monitorizarem de uma forma mais direta e simples os diversos sensores, por exemplo controlar os atuadores e transferir dados entre outros dispositivos.

O microcontrolador MSP430 é uma linha de microcontroladores de 16 bits de baixo custo da empresa *Texas Instruments (TI)* voltada para baixo custo e principalmente para uso académico.

Com as diversas famílias e modelos pode-se chegar a 25MHz de *clock* no MSP430, através de oscilador interno, timers, UART, PWM's, conversores analógico digital (ADC) e outros periféricos conhecidos embutidos. Também é conhecido pelos modos de economia de energia, no qual pode-se estar no modo inativo apenas com 1µA e retornar rapidamente ao modo ativo em menos de 6 micro segundos, de acordo com o *datasheet* do microcontrolador.

O microcontrolador MSP430 foi lançado em 2010 com o objetivo de baixo custo energético, designada TI MSP430 Launchpad. Este *kit* inclui dois circuitos integrados MSP430, cristal de 32kHz, um microcontrolador e um cabo de usb.

O circuito integrado utilizado neste trabalho é o modelo MSP430G2553 e tem as seguintes características:

- Baixo consumo;
- Memória RAM com 512B;
- Memória *flash* com 16 kB;
- *Clock* até 16 MHz;
- 2 Timers;
- 8 canais ADC - 10 bits de resolução;
- Módulo de comunicação serial com capacidade para UART, LIN, IrDA, SPI e I²C.

Na figura 4.1, demonstra o esquema interno de funcionamento do microcontrolador MSP430G2553, este dispositivo tem uma grande variedade de periféricos: oscilador interno (*clock*), memória RAM, memória *flash*, temporizadores com vários registos de comparação e saídas PWM, Temporizador Watchdog, UART, conversores ADC, etc.

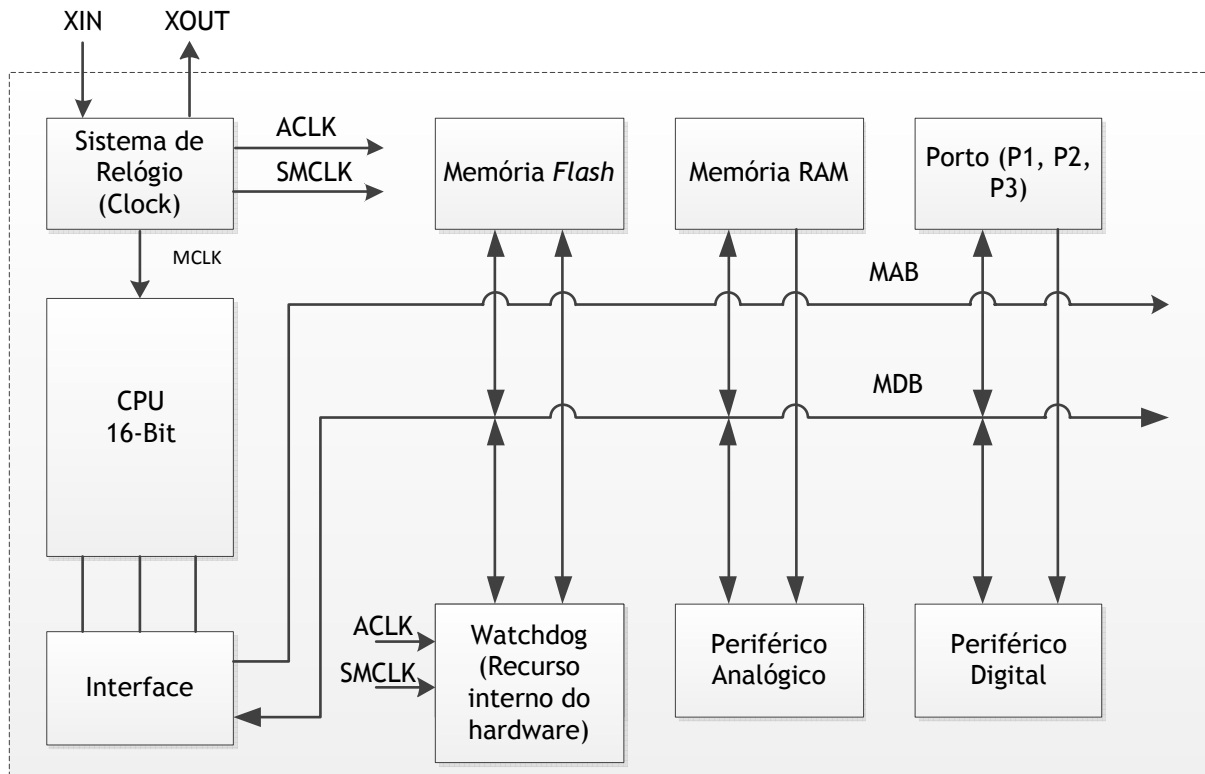


Figura 4.1 – Esquema interno de funcionamento do microcontrolador MSP430G2553.



Figura 4.2 – Microcontrolador MSP430G2553 Launchpad – Texas Instruments.

Para programar o microcontrolador foi utilizado o *software* IAR Embedded Workbench IDE, com a versão 5.51.4. Na figura 4.2, demonstra-se a placa que foi utilizada neste trabalho, a enumeração representada tem a seguinte legenda:

- 1- CPU 16-Bit;
- 2- Sistema de relógio (*clock*);
- 3- Circuito integrado MSP430G2553;
- 4- Pinos de entrada/saída, *Vcc*, *RST*, etc;
- 5- 2 Leds integrados na placa (P1.0 e P1.6);
- 6- Interruptor de pressão (P1.3);
- 7- Interruptor de pressão para efetuar o *RESET*.
- 8- *Jump's* para o modo de transmissão, recepção, *Vcc*, *RST*.
- 9- 2 Pinos para *ground* e um *Vcc*.
- 10- Porta de *USB*;
- 11- Led de alimentação.

Antes de começar a programar no Software IAR Embedded Workbench, foi definido um dos objetivos, pois para criar um programa tem-se dividir o programa em várias partes, e uma delas foi acender e apagar o led com um interruptor que se encontra no pino 1.3 do msp430G2553, a partir daqui foi evoluindo o programa.

A transmissão/recepção universal assíncrono, designada também com a nomenclatura anglo-saxónica de UART, é um formato padrão para a transmissão e recepção de dados, ou seja, para enviar e receber dados respetivamente. O transmissor envia os bits de maneira sequencial, um de cada vez num sentido e o recetor reúne os bits para formar o *byte*.

Foi analisado mais detalhadamente relativamente a sua taxa de transmissão de dados, designada também com a nomenclatura anglo-saxónica *baudrate*. Os *baudrate* define a taxa de bits transmitidos por segundo, ou seja, para o microcontrolador, o tempo que deve manter o valor na saída antes de passar para o próximo passo para que o recetor possa ser identificado corretamente. Contudo, o *baudrate* utilizado neste trabalho irá transmitir a 9600 bits por segundo.

Seguidamente irá ser abordada os próximos passos de forma simplificada:

- 1) Recorrer ao *software Hyperterminal*;
- 2) Definir o nome do trabalho;
- 3) Selecionar a porta COM (USB) onde está ligado o MSP430;
- 4) Definir a taxa de transmissão, neste caso é de 9600 bits por segundo;
- 5) Definir o número de bits de dados o máximo é 8;
- 6) Selecionar Paridade “nenhum”.

- 7) Seleccionar bit de paragem;
- 8) E por ultimo nenhum controlo de fluxo.

Uma outra definição que foi efetuada nesse mesmo software, recorrendo as definições onde diz as propriedades do programa que é chamada o “Envio de ASCII”, que se encontra uma tabela em anexo, que permite fazer o envio de caracteres a partir desse mesmo programa. Na figura 4.3 pode-se ver ao pormenor as configurações efetuadas.

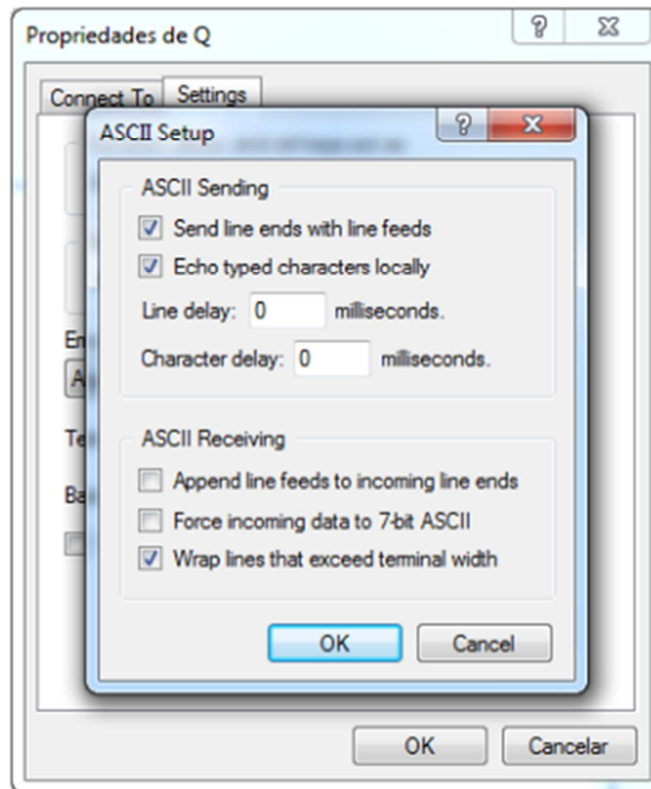


Figura 4.3 – Configuração do Software Hyperterminal.

Neste trabalho foi utilizada uma placa chamado Xbee Xplorer USB, como é representada na figura 4.4, que faz com que o computador se torne na unidade de controlo e também para configurar qualquer um dos módulos Xbee.

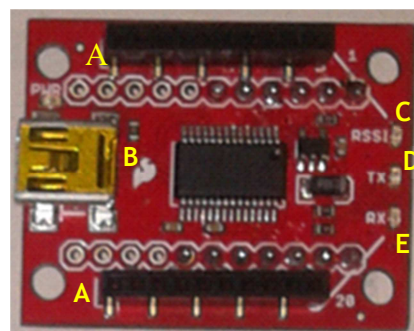


Figura 4.4 – XBee Xplorer USB.

Com este equipamento *XBee Explorer USB* podemos configurar os módulos através de um simples terminal utilizado neste trabalho, X-CTU, o que permite fazer a configuração e atualização do *firmware*.

Na figura 4.4, demonstra-se a placa *XBee Explorer USB* com a seguinte numeração:

- A) O dispositivo *XBee* irá ser colocado nesta placa, e corresponder o número 1 do *XBee* com a placa *XBee Explorer USB* e o número 20 do *xBee* com a placa *XBee Explorer USB*;
- B) Entrada para ligar o cabo de usb;
- C) Led com indicação que a placa está alimentada;
- D) Led com indicação que está a ser efetuada o modo de transmissão;
- E) Led com indicação que está a ser efetuada o modo de transmissão.

Normalmente, os módulos *XBee's* vem configurados de fábrica com um PAN ID (o identificador de rede pessoal) designado por 3332 e com uma taxa de transferência de 9600 bits por segundo, mas caso contrário é possível configurar manualmente recorrendo ao site do fabricante Maxstream, fazendo o download do Software X-CTU onde poderá realizar as referidas configurações e também alguns testes, como por exemplo, alterar endereços do módulo e verificar a versão do *XBee*. Para tal, foi verificada essas configurações manualmente, como podemos ver na figura 4.5.

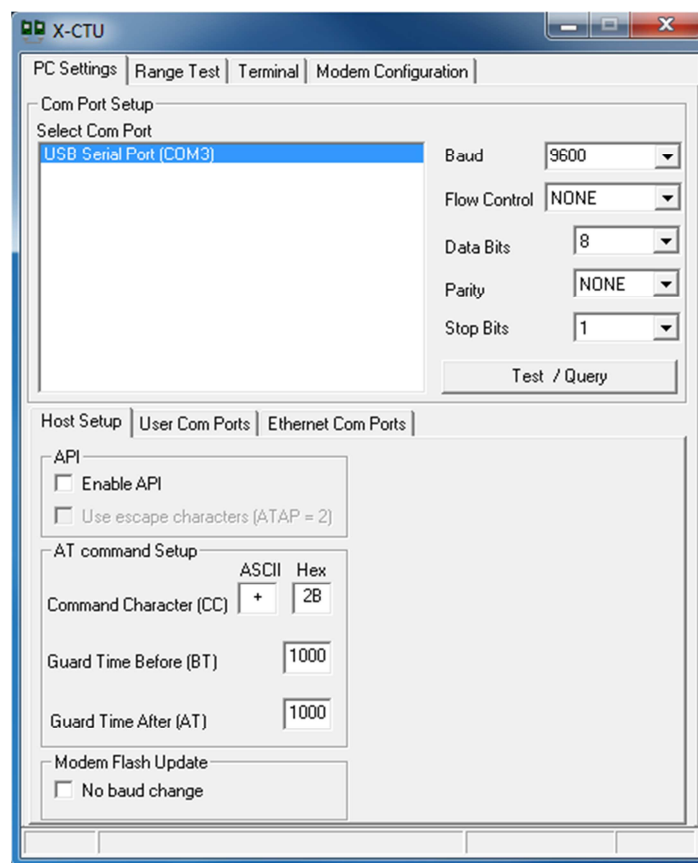


Figura 4.5 – Programa X-CTU.

A configuração manualmente é útil para o caso de haver mais que dois módulos, isto é, para o módulo XBee entrar no modo comando, deve-se digitar 3 caracteres “+++” no terminal. De seguida é representada na janela um “OK” o qual informa ao programador de que foi enviado a confirmação do comando. Após a receção do “OK”, o módulo estará apto a receber outros comandos de configuração.

De seguida é feita a alteração dos parâmetros *DH* (Endereço de destino (alto)) e *DL* (endereço de destino (baixo)), os quais são endereços de origem e destinos dos módulos respetivamente. Estes endereços são alterados no menu “*Modem Configuration*” no programa X-CTU. Em todos os casos descritos, o valor do PAN ID será o mesmo.

Seguidamente, é possível demonstrar como é feita a programação de dois módulos, começando por ver na figura 4.6, os endereços dos módulos. No verso dos módulos encontra-se uma etiqueta com diversos códigos indicando-se os mais importantes que serão o *DH* e o *DL* representados em ambos os módulos.



Figura 4.6 – Endereços dos Módulos.

Na figura 4.7, visualiza-se a configuração do primeiro módulo:

- PAN ID tem o valor 3332;
- Endereço de destino (alto) tem o valor DH 13A200;
- Endereço de destino (baixo) tem o valor de DL 405C2B82 do módulo 2.

Atendendo ainda a figura 4.7, o módulo 2, tem a seguinte configuração:

- PAN ID tem o valor 3332;
- Endereço de destino (alto) tem o valor DH 13A200;
- Endereço de destino (baixo) tem o valor de DL 405C2BAC proveniente do módulo 1.

Nessa mesma figura 4.7, demonstra-se como é feita a configuração para cada um dos módulos, estas três configurações são as mais importantes a ter em conta as outras não dá para ser alteradas pois, são comandos que o próprio XBee altera automaticamente.

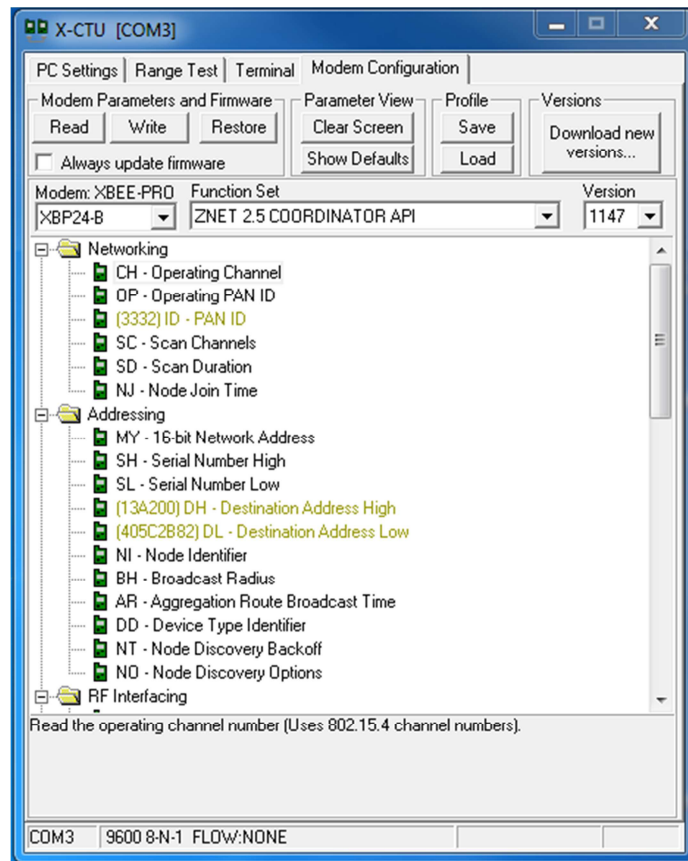


Figura 4.7 – Configuração dos módulos.

A partir do momento que temos estão definidos os pontos anteriores, é possível realizar as montagens necessárias e proceder a parte de simulação.

Na figura 4.8, foi feita a montagem XBee Explorer USB, que está ligado à entrada de USB, para fazer o envio e recepção de dados.

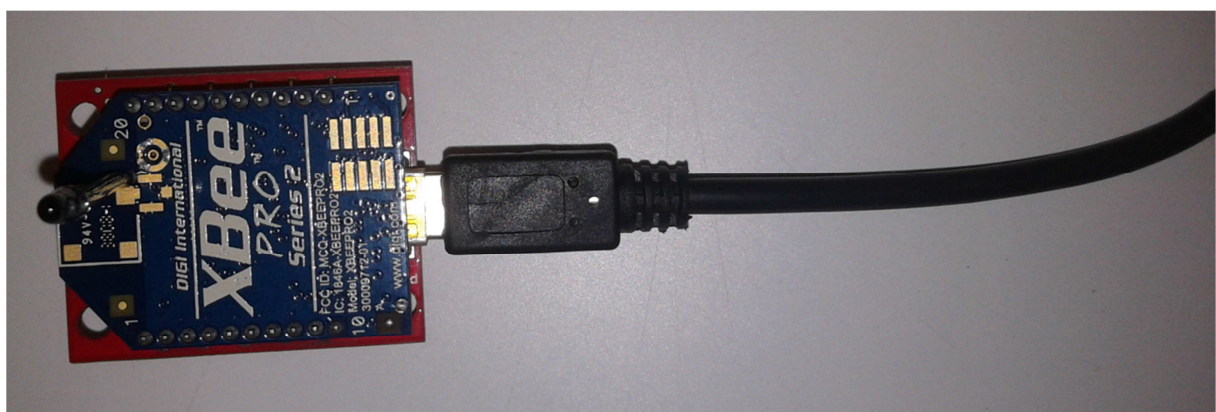


Figura 4.8 – XBee Explorer USB.

Na figura 4.9, demonstra-se uma Placa Shield Internet Arduino, à qual foi necessária para realizar as respetivas ligações de Vcc (Pino 1), Ground (Pino 10), DOUT (Pino 2) e DIN (Pino 3).

O pino 2 serve para efetuar o modo de receção de dados e o pino 3 para efetuar o modo de transmissão de dados. Foi consultado o datasheet do XBee com a referência [16].

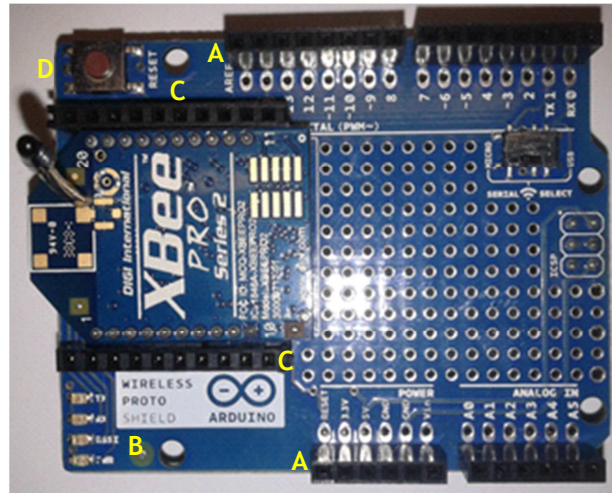


Figura 4.9 – Montagem do XBee na Placa Shield Internet Arduino.

Na figura 4.9, demonstra-se a montagem do XBee na placa shield internet arduino com a seguinte designação:

- A) Pinos de entrada e saída, Vcc, Ground.
- B) Led's de indicação, tais como: modo de receção, transmissão, placa shield internet arduino e XBEE alimentados.
- C) Pinos para efetuar as ligações para o XBee.
- D) Interruptor para reiniciar a placa de internet shield arduino.

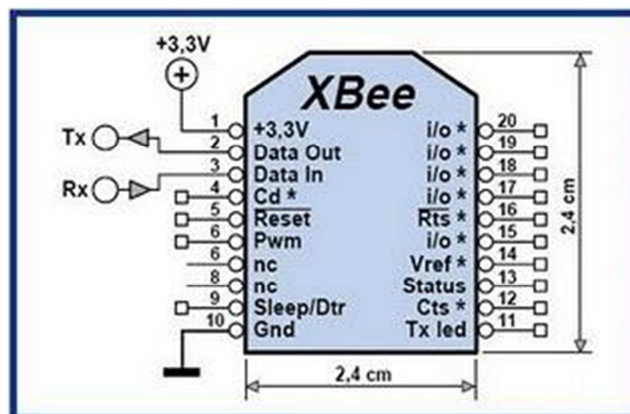


Figura 4.10 – Numeração dos Pinos no Xbee Série 2 [16].

Na figura 4.10, pode-se visualizar a localização e a numeração dos pinos do módulo Xbee, em face à tabela 4.1 e as especificações dos respetivos módulos.

Na tabela 4.1, representa as especificações dos módulos MaxStream, é representado a numeração dos pinos, nome da função, direção e descrição de cada pino.

Tabela 4.1 – Especificações dos módulos [16].

Pino #	Nome	Direção	Descrição
1	VCC	-	Fonte de alimentação
2	DOUT	Saída	Saída de dados (UART)
3	DIN	Entrada	Entrada de dados (UART)
4	DIO12	Ambas	Digital I/O 12
5	RESET	Entrada	Reset Módulo
6	PWM0/RSSI/DIO10	Ambas	PWM Saída 0 / RX / Digital I / O
7	DIO11	Ambas	Digital I / O 11
8	[reservado]	-	Não está conectado
9	DTR/DIO8	Ambas	Pino da linha controlo inativo ou Digital I / O 8
10	GND	-	Ground
11	DIO4	Ambas	Digital I / O 4
12	CTS/DIO7	Ambas	Se o CTS for ativo é uma saída. Apaga para enviar o controlo Digital I / O 7.
13	ON/OFF	Saída	Indicação do Led
14	VREF	Entrada	Não é utilizado este módulo. Para ser compatível com os outros XBee, recomenda-se ligar este pino para uma referência de tensão. Caso contrário, é ligado ao ground.
15	DIO5	Ambas	Indicador associado, Digital I / O 5
16	RTS/DIO6	Ambas	Se o RTS for ativo é uma entrada. Solicita o envio para o controlo Digital I / O 6.
17	AD3/DIO3	Ambas	Entrada Analógica ou digital I / O 3
18	AD2/DIO2	Ambas	Entrada Analógica ou digital I / O 2
19	AD1/DIO1	Ambas	Entrada Analógica ou digital I / O 1
20	AD0/DIO0	Ambas	Entrada Analógica 0 ou Digital I / O 0

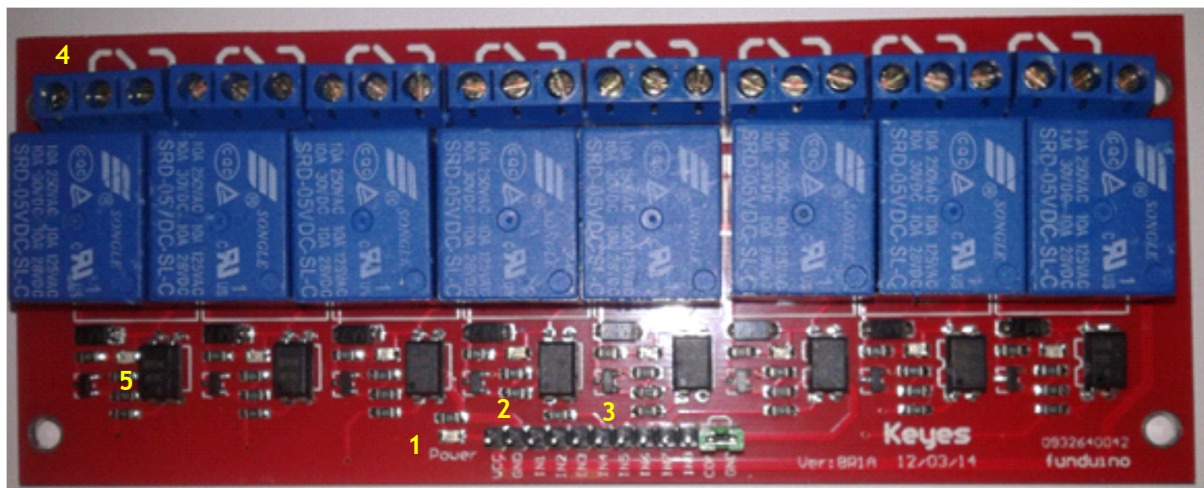


Figura 4.11 – Placa com 8 Relés (ON/OFF).

Na figura 4.11, foi utilizado uma placa com 8 relés, o que permite expandir outras ideias a partir deste caso em estudo. A placa representada na figura 4.11, tem a seguinte designação:

- 1) Led de indicação que a placa está a ser alimentada;
- 2) Vcc e Ground, que irá ser ligado diretamente ao microcontrolador;

- 3) Do microcontrolador o pino 1.0 irá ligar um pino do relé neste caso foi ligado ao IN1;
- 4) A partir daqui irá ser ligado a uma lâmpada e posteriormente é ligado a rede elétrica, 230Vac.
- 5) Quando o relé for acionado irá ligar o led, caso contrário o led estará desligado.

A partir da placa de relés, representada na figura 4.11, procede-se então à montagem do circuito de iluminação, ligado à rede elétrica irá ligar a uma lâmpada e posteriormente irá ligar à rede elétrica a 230V AC, tendo o especial cuidado e a garantia de que se tomam às devidas precauções para evitar a danificação de ambos os circuitos.

Seguidamente, realiza-se a programação do microcontrolador, como também será demonstrada posteriormente no programa IAR Embedded Workbench a entrada da variável que foi enviada a partir do PC e da mesma forma habilitar a receção de dados no programa Hyperterminal.

Portanto, é enviada a informação do microcontrolador para o Hyperterminal e no mesmo programa visualiza-se a janela “LED ON” ou “LED OFF”. Ao pressionar no interruptor, como se observa na figura 4.12, acende o LED e no hyperterminal irá aparecer a informação “LED ON”, se pressionar novamente o mesmo interruptor irá desligar o respetivo LED e irá aparecer no programa a informação “LED OFF”.

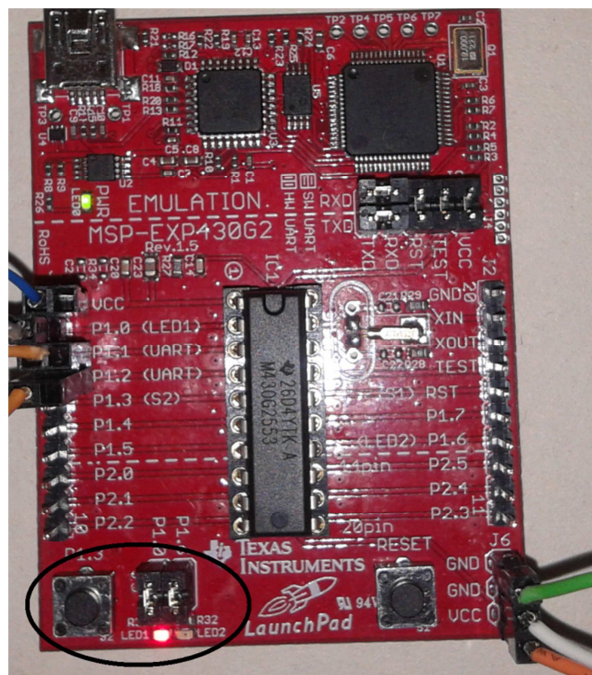


Figura 4.12 – Demonstração da localização do interruptor e o respetivo led.

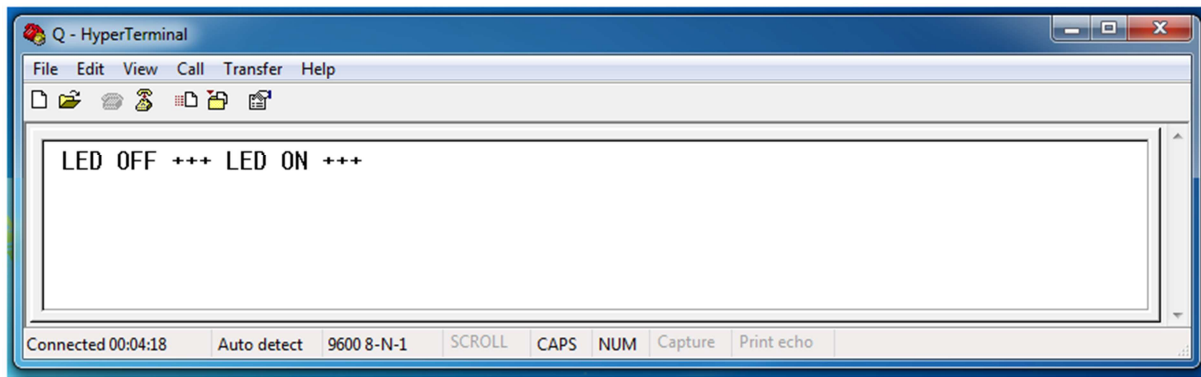


Figura 4.13 – Visualização no Programa Hyperterminal “LED ON” e “LED OFF”.

Na figura 4.13, foi efetuado o modo de recepção de informação que permitirá de seguida, efetuar o modo de transmissão a partir do programa Hyperterminal. Ao selecionar a letra “L” o circuito de iluminação irá acender, de maneira oposta o mesmo circuito só que é selecionado a letra “D”. As restantes combinações possíveis de letras será ignorado pelo programa e retornado para o utilizador a mensagem de “ERROR”.

No programa desenvolvido no microcontrolador a letra “L” é convertido para um código ASCII concretamente na palavra hexadecimal “4C” e a letra “D” na palavra hexadecimal “44”. A tabela ASCII em causa encontra-se em anexo. Em suma a linguagem entendida pelo microcontrolador *MSP430G2553* será em palavras hexadecimal descritas na tabela ASCII e cuja compilação será convertida em linguagem máquina.

Em suma, é enviada a letra “L” através do Hyperterminal, o qual está conectado ao módulo XBee, o qual por sua vez envia a palavra para o módulo 2 e posteriormente a informação é recebida pelo programa IAR, tal como é evidentemente observado pelo interface presente na figura 4.14.

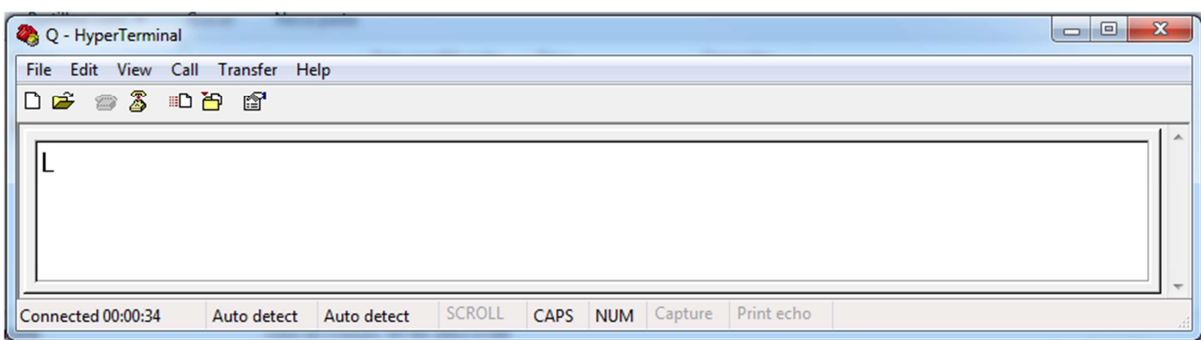


Figura 4.14 – Envio da letra “L” a partir do Programa Hyperterminal para o MSP430.

Na figura 4.15, pode-se observar o interface de programação em modo de depuração, onde se pode observar ainda a reação do resultado do passo anterior, e que por sua vez irá ligar o LED de teste.

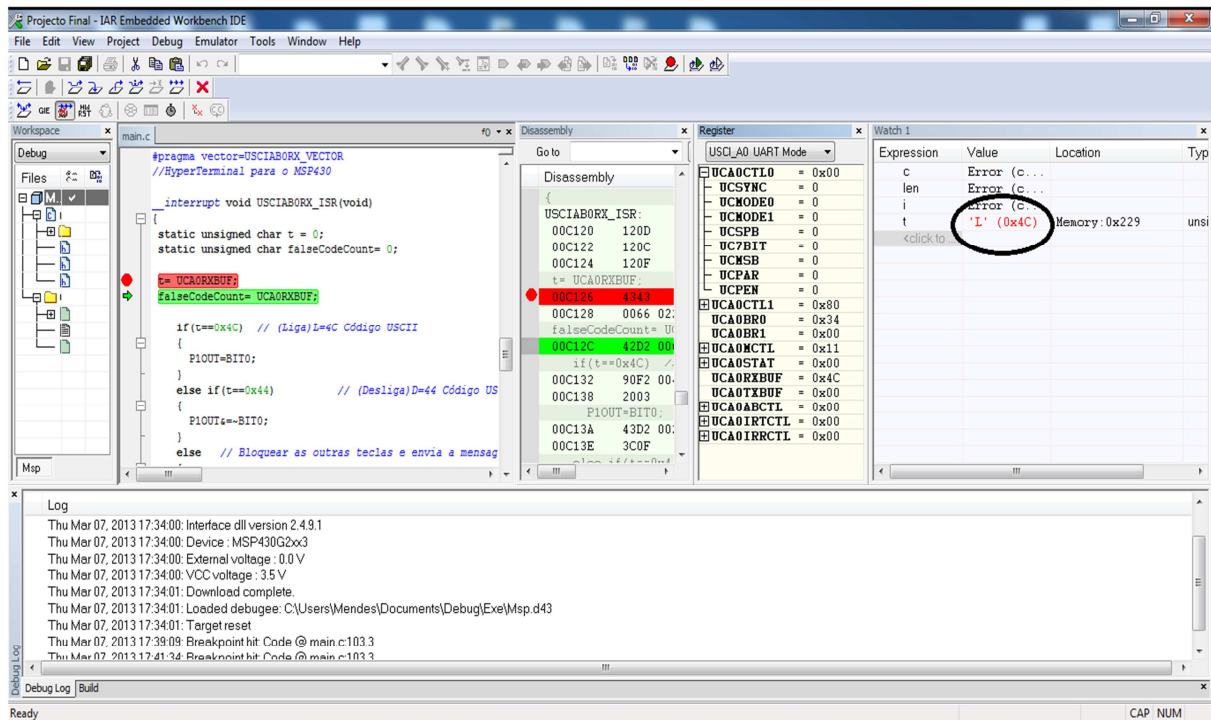


Figura 4.15 – Recepção da letra “L” no Programa IAR.

De forma análoga, é observado na figura 4.16, a reação da resposta do sistema quando se envia a palavra “D”, qual, pela sua vez irá desligar o LED de teste.

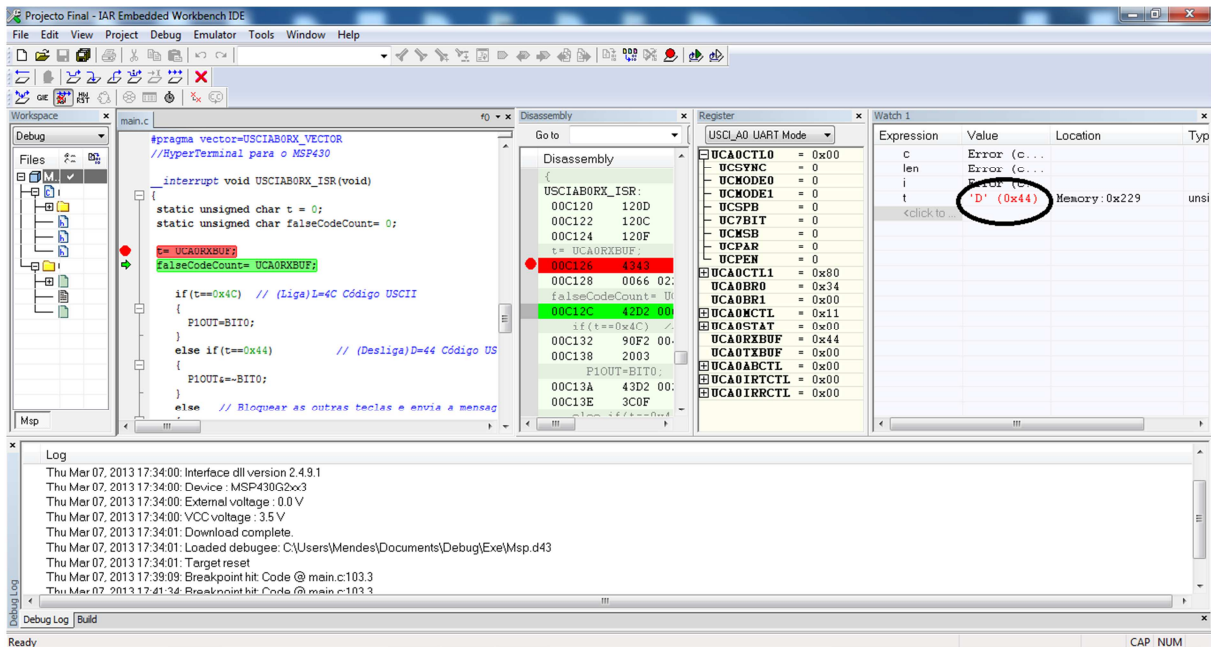


Figura 4.16 – Recepção da letra “D” no Programa IAR.

De seguida, pretende-se mostrar a resposta do sistema quando se pretende enviar uma palavra diferente de ação daquelas que foram anteriormente definidas. Neste caso, em concreto e como se mostra na figura 4.17, intenta-se enviar a letra “T”, à qual é detetada pelo sistema, mas como não

foi definida, o sistema informa o utilizador ou o programador com uma mensagem de “ERROR” no *Hyperterminal*.

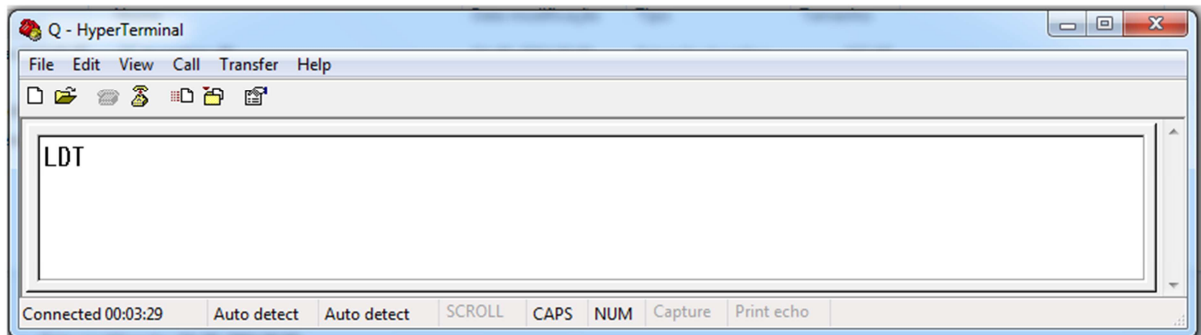


Figura 4.17 – Envio da letra, por exemplo “T”, a partir do Hyperterminal.

Na figura 4.18, pode ser observado, tal como nas figuras 4.16 e 4.17 o resultado da reação do sistema quando se tenta enviar uma letra diferente as definidas inicialmente. Completamente mostra-se ainda a resposta do sistema através da figura 4.19, quando se envia a letra “T”

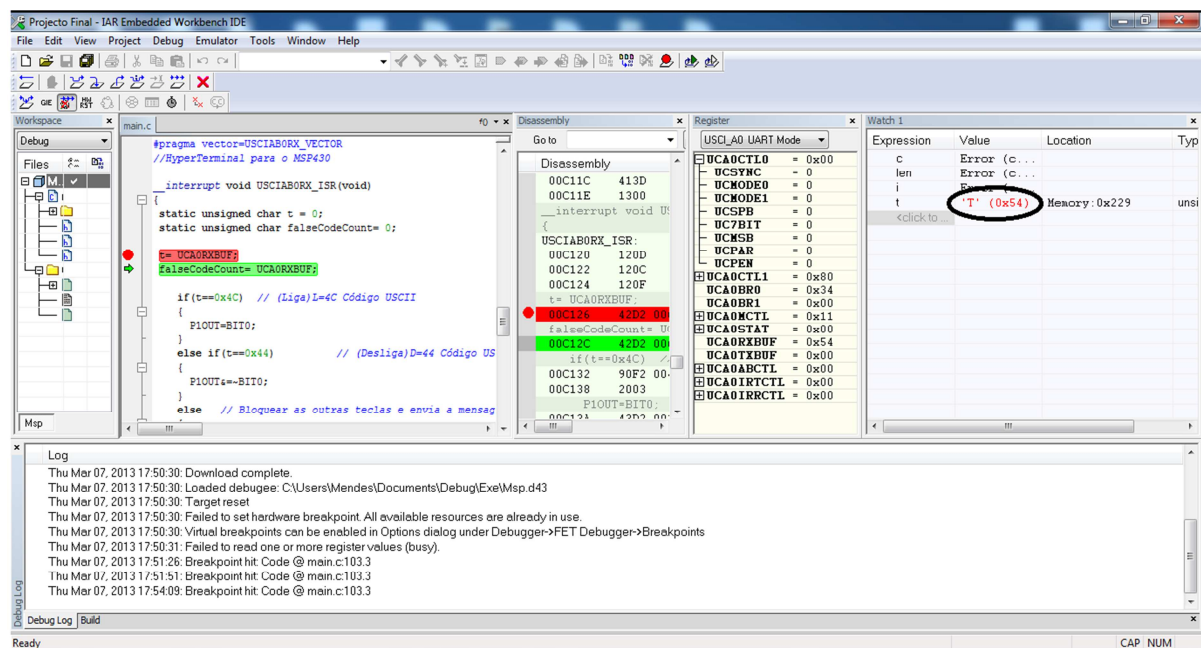


Figura 4.18 – Receção da letra, por exemplo “T” no IAR.

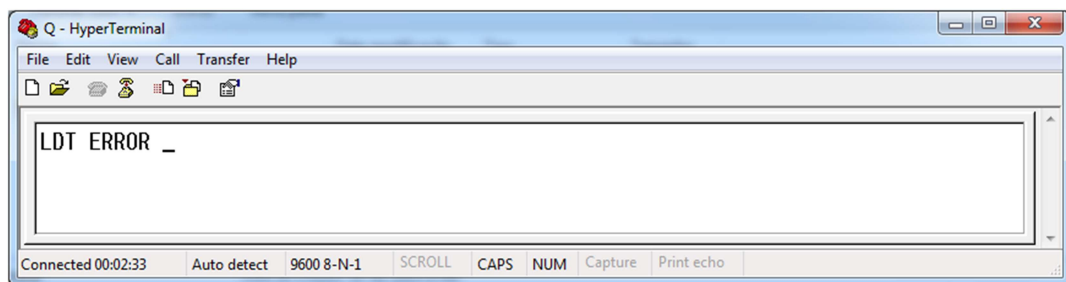


Figura 4.19 – Receção “ERROR” no Hyperterminal ao selecionar a letra “T”.

Na Figura 4.20, é representado a montagem dos diferentes componentes que constituem a recepção e envio de dados, a comunicação com o PC (XBee) e placa de relés, com as respetivas ligações. Como se demonstra perfeitamente o LED aceso na placa de relés, como foi dito anteriormente, é sinal que o relé está acionado.

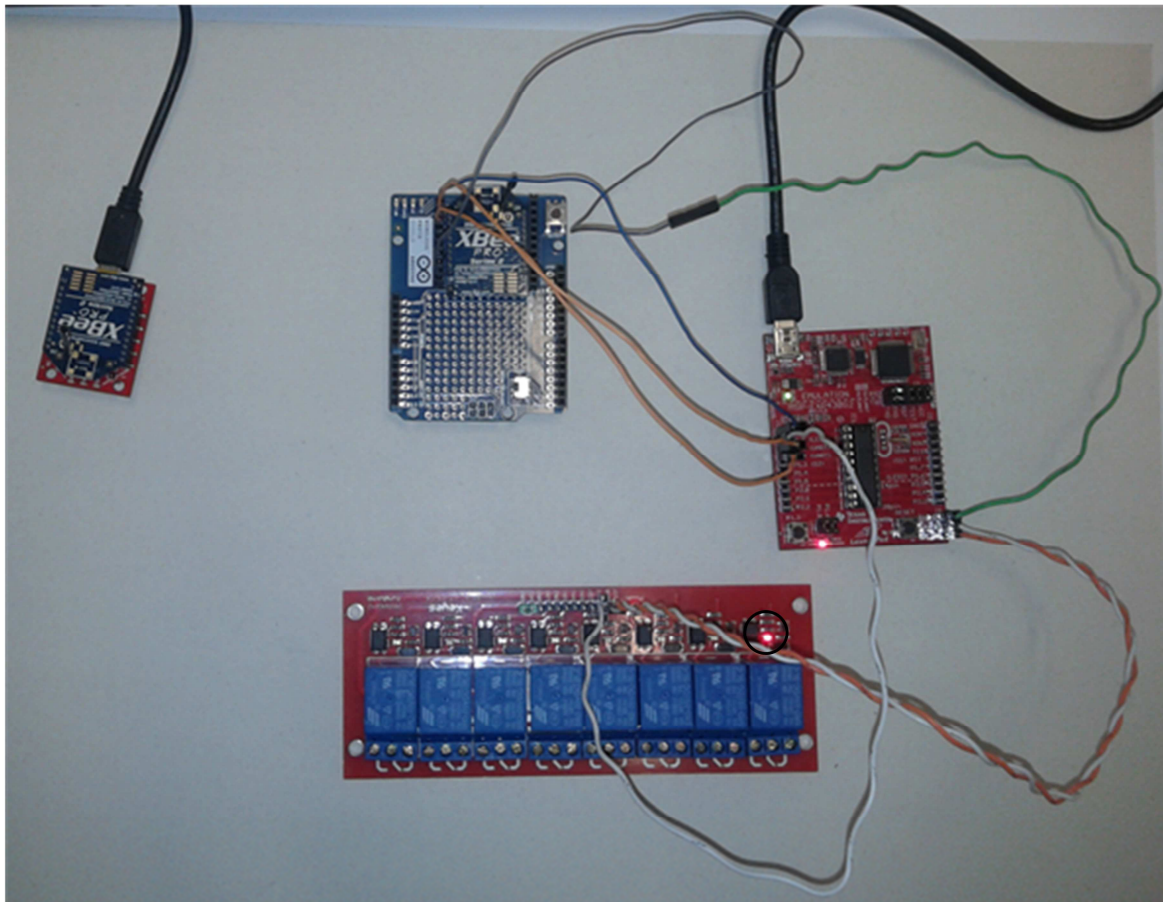


Figura 4.20 – Montagem final da parte de controlo.

4.2. Instalação do monitor de energia

Abordando a segunda parte deste trabalho sobre a monitorização inteligente de energia, foi utilizado um monitor de energia da empresa *Efergy*, o qual funciona como um sistema distribuído que recolhe os consumos energéticos e envia os dados através de uma rede *wireless*, e que também permite ser conectado ao computador podendo-se visualizar/analisar o consumo de energia que será demonstrado mais adiante.

Nos dias que correm é cada vez mais comum as pessoas deixarem equipamentos e eletrodomésticos em modo *standby*, como é o caso dos televisores, aparelhos de internet, aparelhos interativos de internet, entre outros.

A grande maioria consome sempre alguma potência em *standby* que parece insignificante mas a qual se traduz no final do ano no consumo desnecessário de energia, o qual se traduz num acréscimo no

orçamento final necessário para pagar a fatura energética. Assim sendo, este monitor permite as pessoas terem uma perceção geral do seu consumo diário, sendo assim evitado gastos desnecessário como é o exemplo dos equipamento e eletrodomésticos em *standby*. Tal equipamento de leitura e monitorização de energia é apresentado na figura 4.21, cujos acessórios são constituídos:

- Monitor de energia;
- Sensor de rádio frequência (RF);
- Emissor;
- Cabo de USB;
- CD-ROM com o software;



Figura 4.21 – Kit completo de leitura e monitorização de energia.

Ao proceder a montagem do sensor, foi feita uma verificação no quadro elétrico da habitação residencial dos condutores considerados fase e neutro, já que o fabricante do aparelho de monitorização indica que o mesmo aparelho deverá ser ligado a fase, que neste caso, seguindo os regulamentos das instalações elétricas de baixa tensão será o condutor com isolamento de cor preto ou castanho. A montagem do sensor pode ser ainda observado na Figura 4.22, na qual se observa que o sensor é colocado no condutor que se encontra a montante do diferencial geral, da companhia de eletricidade. Uma das restrições dos fabricantes e também associadas às próprias dimensões do aparelho de leitura, é que o condutor onde será realizada a leitura não deverá exceder os 12mm.



Figura 4.22 – Montagem do sensor em torno do cabo sob tensão.

Finalizada a montagem do sensor de monitorização, este foi conectado ao aparelho emissor, como podemos observar na figura 4.23, o qual permite a comunicação e transmissão de informação para o monitor via *wireless*. Ainda na figura 4.23, apresenta a visão geral do quadro, no qual se verifica que a montagem realizada não compromete, nem viola as características de segurança do Quadro Geral de Alimentação.



Figura 4.23 – Conexão do sensor ao emissor.



Figura 4.24 – Perspetiva geral do quadro elétrico.

Na figura 4.25, mostra-se o monitor de energia, o qual registava naquele instante um consumo de 0.621KW.



Figura 4.25 – Monitor de Energia.

4.3. Monitorização do Consumo energético

Nesta secção apresenta-se os resultados obtidos em relação ao consumo energético mensal, e podemos visualizar qual é o dia que teve um consumo mais elevado ou mais baixo ao longo do mês. Ao fim de três meses foi conectado o monitor ao computador, para descarregar a análise efetuada durante este período, o que permitiu visualizar como se demonstra as figuras 4.26, 4.27 e 4.28 o

consumo de energia referente aos meses Janeiro, Fevereiro e Março através do software “eLink 2.0” que é fornecido pelo fabricante.

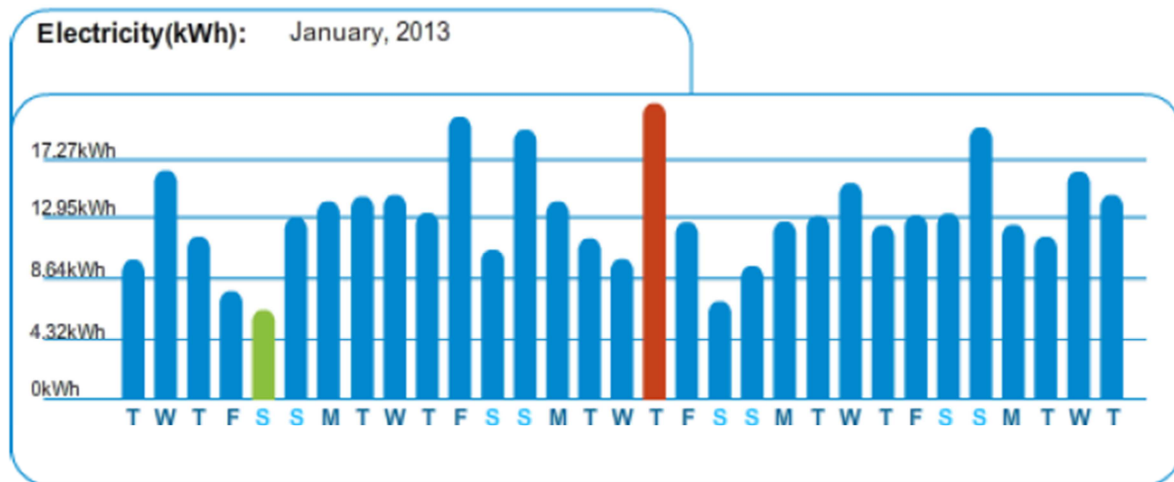


Figura 4.26 – Consumo de energia referente ao mês de Janeiro 2013.

Na figura 4.26, pode-se concluir que houve um dia desse mês que esteve com um consumo muito elevado, mais precisamente no dia 17-01-2013 assinalado a vermelho, atingiu segundo o monitor de energia 21,59kWh.

No dia 05-01-2013, assinalado a verde, atingiu 5,70kWh que foi o valor mais baixo desse mês.

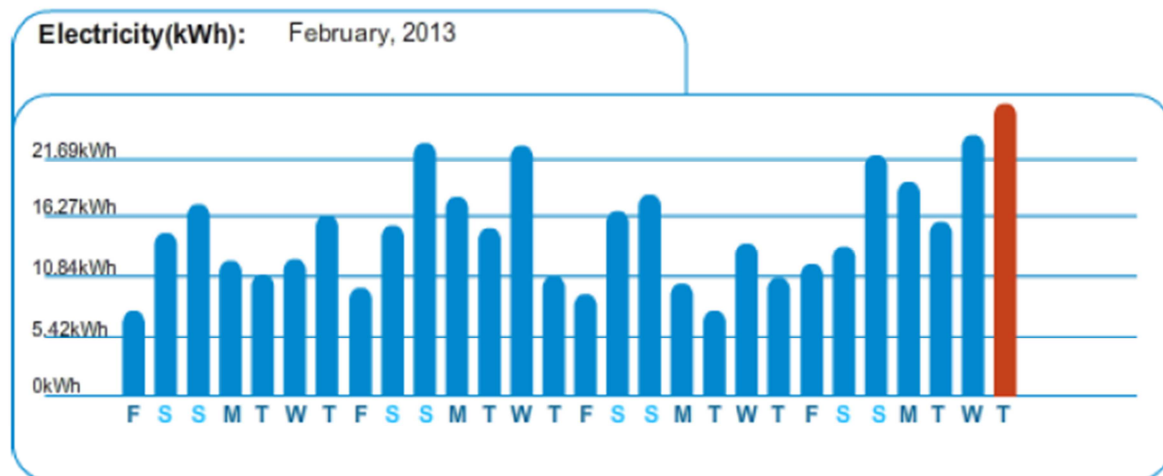


Figura 4.27 – Consumo de energia referente ao mês de Fevereiro 2013.

No mês de Fevereiro houve dois dias, 1-02-2013 e 19-02-2013 teve exatamente o mesmo consumo de energia de 6,84kWh, por isso o monitor de energia não representa a verde devido a haver mais que um dia com o mesmo consumo.

Também neste mês teve um valor máximo, mais precisamente no dia 28-02-2013 representada a vermelho, com um consumo de 27,11kWh.

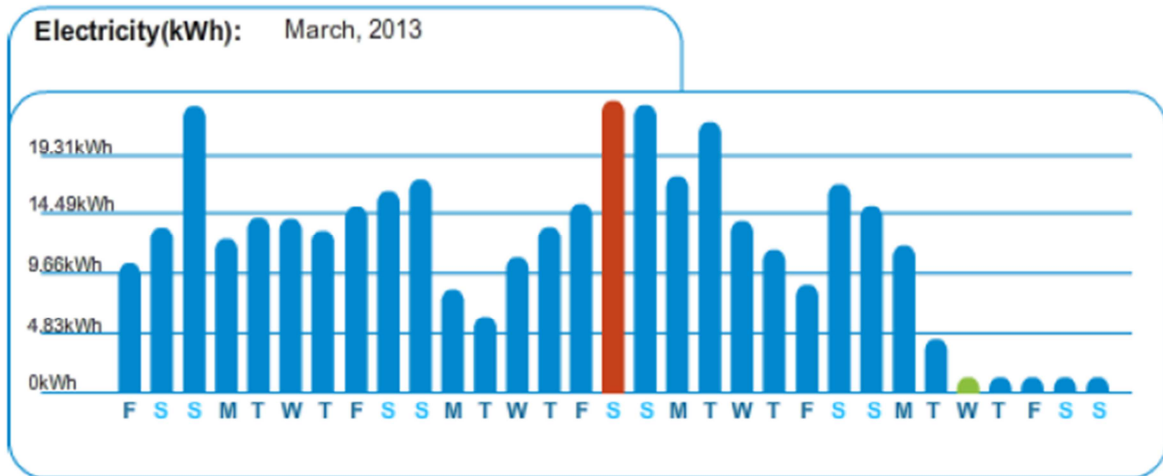


Figura 4.28 – Consumo de energia referente ao mês de Março 2013.

No dia 16-03-2013 teve um valor máximo de 24,14kW, e um valor mínimo de 1,20 kWh no dia 27-03-2013 e nos dias 28 a 31 de Março teve valores muito parecidos ao dia 27 de Março só que variou algumas décimas de kWh acima dos 1,20 kWh. Contudo, o dia que teve um consumo mais baixo como se ilustra na figura 5.27, a verde foi o dia 27-03-2013.

4.4. Resultados da Demanda

Com o monitor de energia é possível representar a demanda mensal, ou seja é o somatório das cargas instaladas operando no mesmo intervalo de tempo, por isso é designado demanda e também permite saber a energia total consumida mensalmente, denominado o kWh.

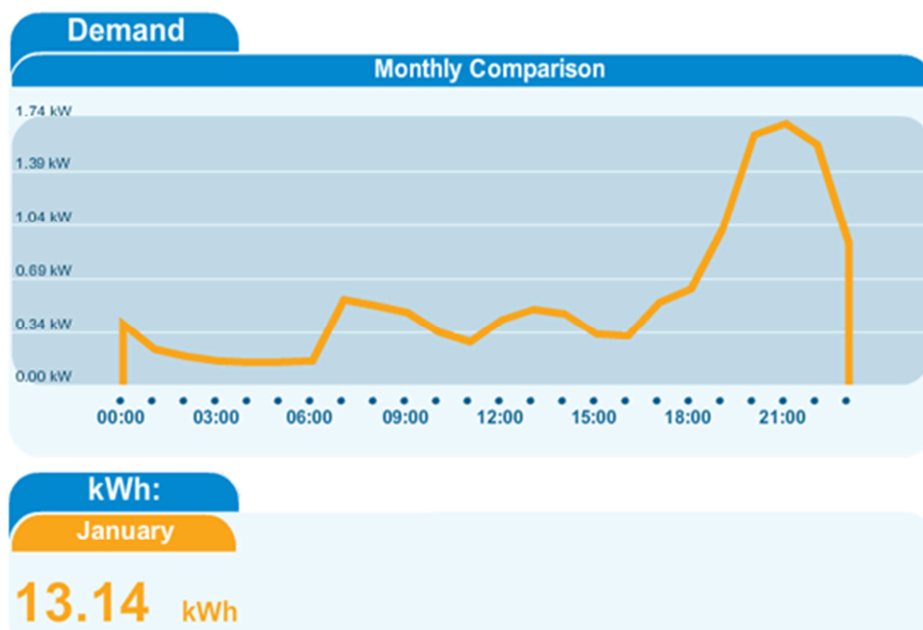


Figura 4.29 – Demanda referente ao mês de Janeiro 2013.

Na demanda de Janeiro 2013, verifica-se que houve um consumo mais elevado no período entre as 18h e as 21h. O período das 24h até as 6h teve um consumo constante pois a noite só está o eletrodoméstico que necessita de ter um consumo constante por exemplo o frigorífico.

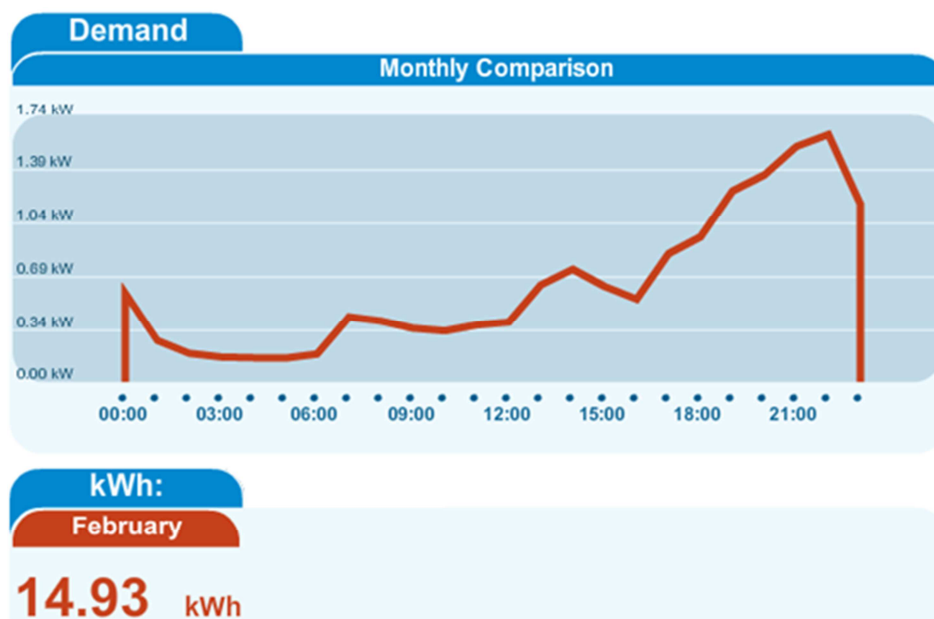


Figura 4.30 – Demanda referente ao mês de Fevereiro 2013.

Da mesma forma podemos verificar no mês de Fevereiro 2013, em geral é muito parecido com o gráfico de Janeiro de 2013 só que os picos são ligeiramente mais acentuados nas respetivas horas.

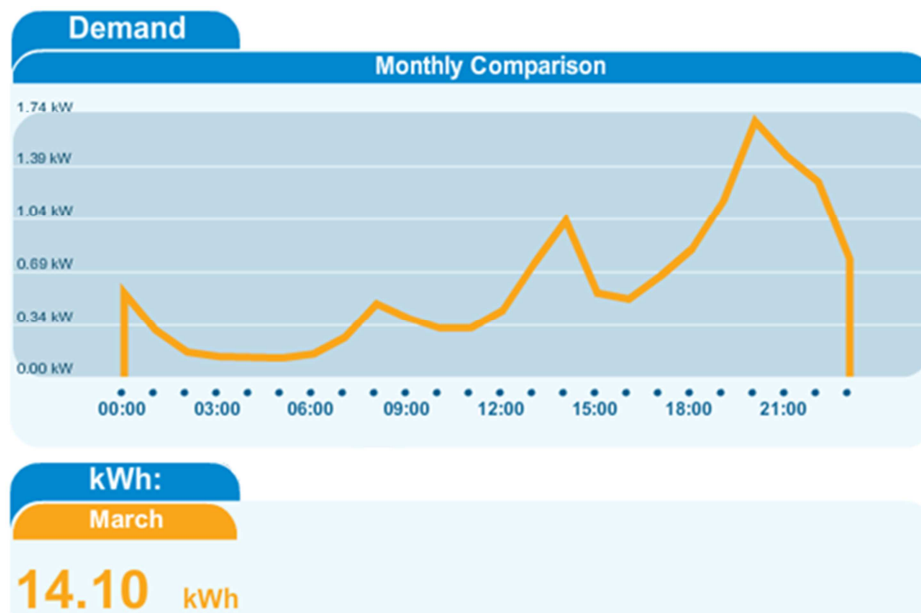


Figura 4.31 – Demanda referente ao mês de Março 2013.

A demanda do mês de Março de 2013 foi mais alternada em comparação com os meses anteriores. Pois como é óbvio ouve mais consumo naquelas horas de pico, neste caso foi entre as 7h e as 9h da manhã, das 12h e as 15h e entre as 17h e 20h.

A partir do gráfico de Janeiro de 2013 pode-se concluir, que em geral o consumo é constante exceto no período entre as 18h e as 21h, daí em comparação com os outros meses Fevereiro e Março o consumo total de energia consumida é ligeiramente mais baixo.

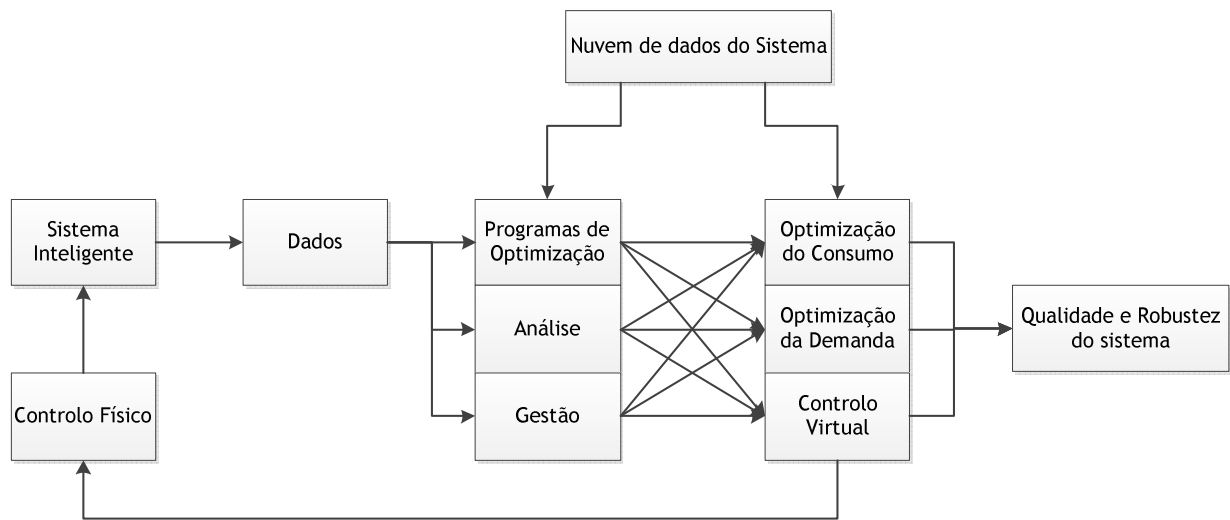


Figura 4.32 – Esquema do caso em estudo.

Na Figura 4.32, demonstra-se o esquema do caso em estudo de maneira sistemática. Os programas de otimização, otimização do consumo, otimização da demanda, análise, gestão e controlo virtual estão todos dentro da nuvem de dados do sistema. Contudo, os programas de otimização, análise e gestão estão ligados a cada um dos patamares seguintes, como a otimização do consumo, otimização da demanda e o controlo virtual. O controlo virtual refere-se ao controlo do sistema de iluminação e o controlo físico, refere-se à monitorização do sistema inteligente.

Capítulo 5

5. Plataforma de desenvolvimento

Com a implementação do projeto do sistema de iluminação, descrito no capítulo 4, deu origem passar para uma plataforma que exige mais profissionalismo, para implementação futura.

O CC2530 está inserido no contexto das tecnologias IEEE 802.15.4 a 2,4GHz e nas aplicações ZigBee. Este CC2530 é um *SoC (System on Chip)* com elevada robustez contra as interferências, que necessitam poucos componentes acoplados ao mesmo para funcionar plenamente. Este contém mecanismos de *hardware* necessários para o protocolo ZigBee entrar em modo funcionamento, capaz de transmitir com potência de saída de até 4.5 dbm.

O CC2530 combina uma excelente performance de um *transceiver RF* (rádio frequência) com um sistema de memória RAM programável de 8kB e um microcontrolador 8051. Esta versão utilizada é a F256, que contém 256kB de memória *flash*.

O microcontrolador está integrado no módulo CC2530EM, que contém uma antena para a comunicação sem fios e dois conectores que permite o acesso aos portos do microcontrolador. OS tempos de transição entre os modos de operação são curtos para garantir um baixo consumo de energia. Este CC2530F256 representa uma robusta e completa solução com a tecnologia ZigBee utilizando a pilha protocolar *Z-stack*, também da *Texas Instruments*. Este software permite visualizar se o CC2530 encontra-se no modo transmissão ou recepção. Todas as características representadas anteriormente permite que os nós da rede sejam construídos de forma robusta e com o mais baixo custo possível.

O módulo CC2530 pode ser visualizado na figura 5.1, que demonstra os respetivos componentes tais como: CC2530F256, SMA antena conector e os diferentes Crystals (32,768 kHz e 32 MHz).

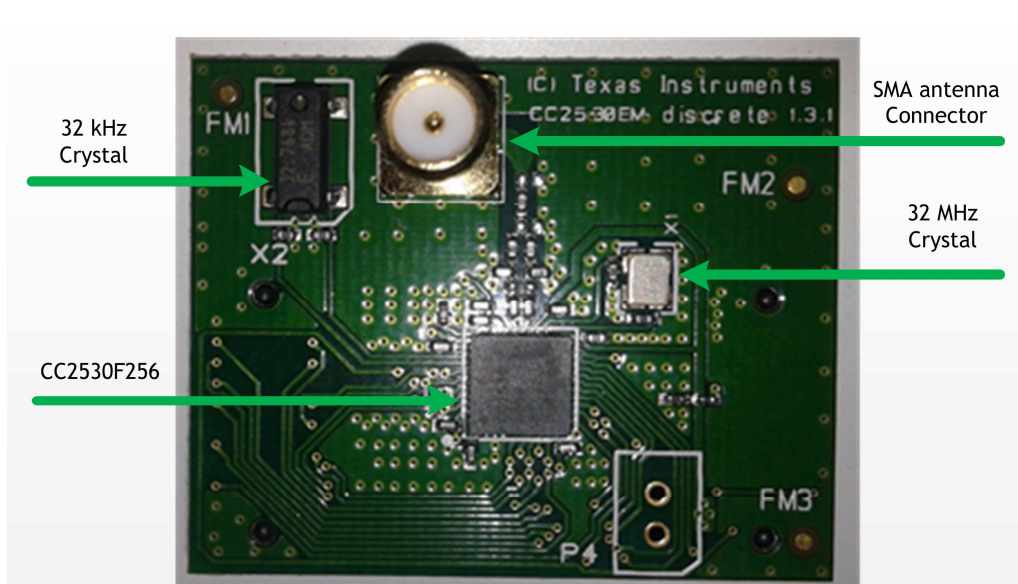


Figura 5.1 – Módulos CC2530EM.

O microcontrolador CC2530F256 é constituído por quatro partes:

- CPU;
- Módulos de comunicação rádio frequência (RF);
- Módulos relacionados com os periféricos, *clocks* e gestão de energia;
- Módulos relacionados com a memória.

Estas quatro partes constituintes do microcontrolador CC2530F256 estão representadas na figura 5.2, através de um diagrama de blocos.

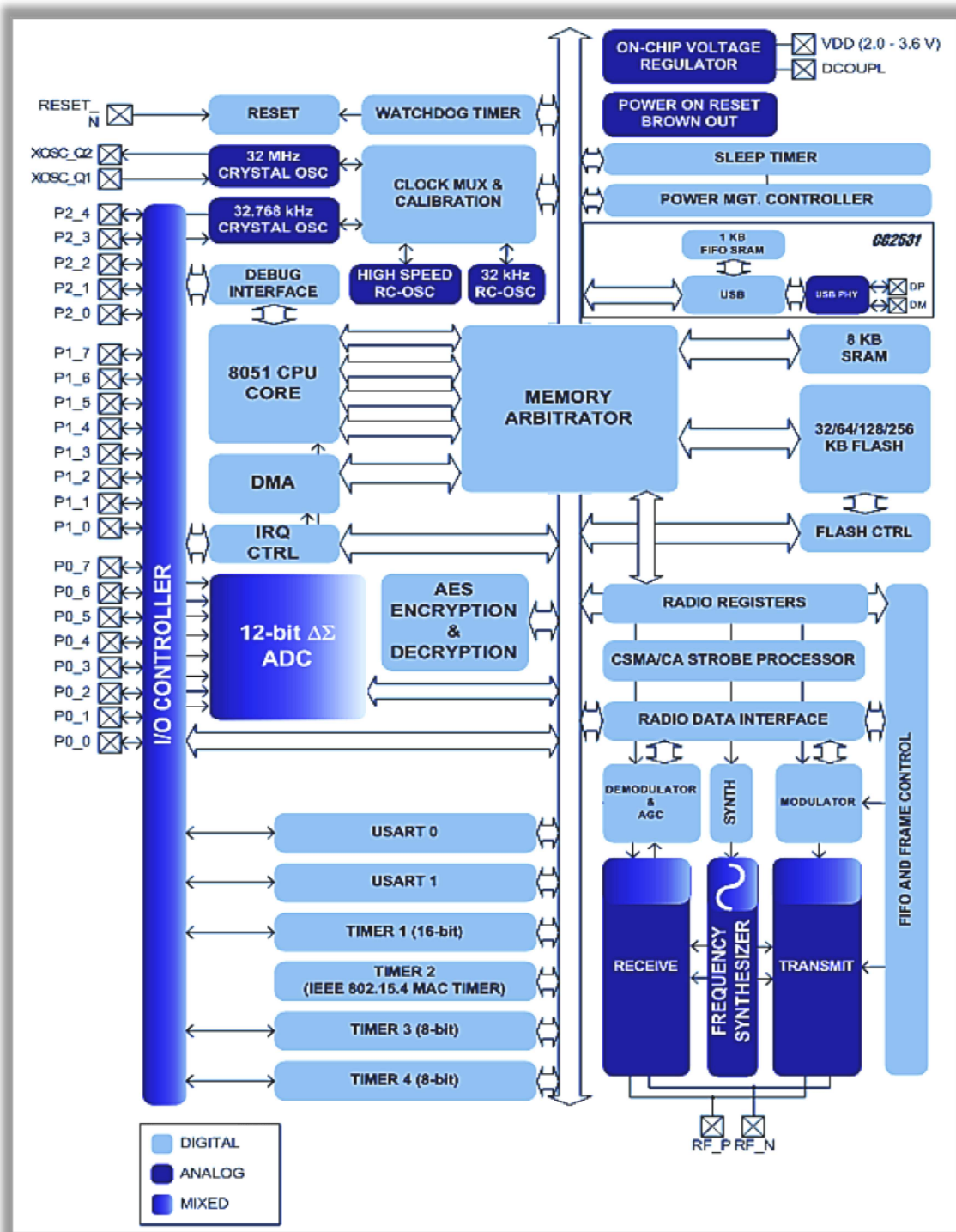


Figura 5.2 – Módulos Diagrama de Bloco CC2530 [17].

No diagrama de blocos demonstrado na figura 5.2, é possível observar o módulo CC2530 integrado na placa PCB, que representa três portas disponíveis ao utilizador: P0, P1 e P2. Os dois primeiros (P0 e P1), contém oito pinos para uso como entradas e saídas digitais. O porto P2, contém apenas cinco pinos, três deles para uso como entradas e saídas digitais e os outros dois como entrada do cristal oscilador de 32, 768 kHz.

Estes Portos de entrada e saída digital são para uso genérico, tais como:

- A alimentação do CC2530;
- O circuito de *reset* do CC2530;
- Cinco terminais (uma para a *ground* e as restantes para a comunicação SPI (*Serial Peripheral Interface*)), estes terminais são responsáveis pela comunicação SPI com o ADE7753;
- Dois LEDs (um amarelo e um verde) destinados a informar o estado da rede. O amarelo, quando pisca significa que aconteceu perda de comunicação com a rede sem fios e quando brilha, significa que o CC2530 está a funcionar corretamente. O verde, quando pisca informa que estão a ser enviadas mensagens na rede sem fios.

5.1. Descrição da plataforma laboratorial

Para elaborar esta plataforma foi necessário compreender todos os interruptores ou pormenores que existem nesta plataforma de desenvolvimento. Contudo, esta plataforma de desenvolvimento é constituída por diversos componentes, como podemos observar na figura 5.3, tais como:

- Duas placas CC2530EM;
- Duas antenas de 2.4 GHz;
- Dois módulos CC2530EM;
- Uma Pen *USB* CC2531.
- Baterias, e dois cabos de *USB*.

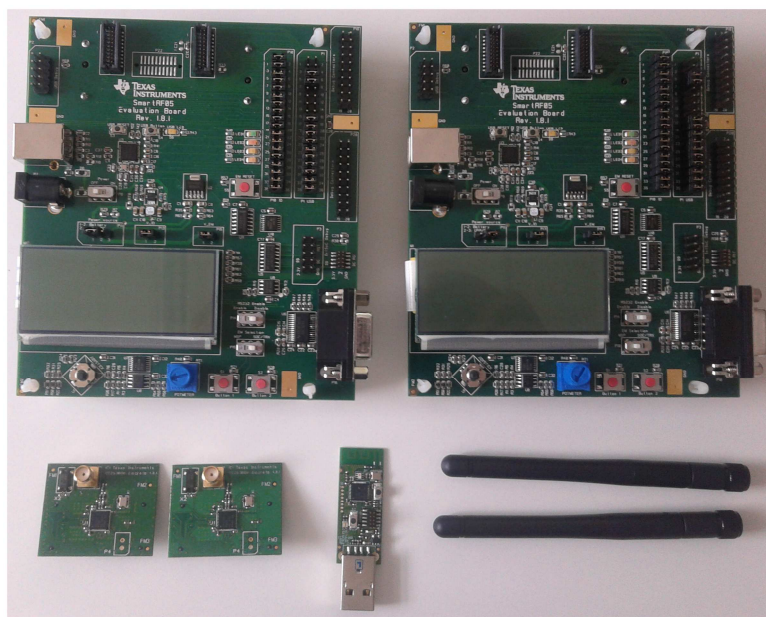


Figura 5.3 – Plataformas de desenvolvimento.

O objetivo que levou para a utilização destas plataformas, uma delas foi a verificação do sinal numa casa residencial, ou seja fazer a comunicação à distância dentro da casa enviando vários caracteres em simultâneo e por outro lado visualizar o comportamento do sinal enquanto está em modo de funcionamento e em modo de repouso.

Com o programa designado por “teste de erro” foi desenvolvido no software IAR Worskpace. Este programa criará um link de RF de um caminho entre dois nós. Para tal, uma placa irá funcionar como transmissor e a outra placa irá funcionar como recetor. O nó transmissor tem que ser configurado o número de pacotes que pretende transmitir e o nó recetor exibirá o número de pacotes recebidos, tem como designação *RSSI* (intensidade do sinal).

Os parâmetros que podem ser configurados pelo utilizador, pode ser visto na tabela 5.1, estes parâmetros são definidos através de um menu no LCD existente na placa, o que permite ao utilizador ler a configuração e seleccionar aquela que o utilizador pretender. Para escolher as configurações é utilizado um comando existente na placa designado *joystick*, e por fim pressiona-se o interruptor 1 para ser confirmada a configuração.

Os parâmetros que podem ser configurados pelo utilizador podem ser vistos na tabela 5.1:

Tabela 5.1 – Parâmetro de configuração para o CC2530EM.

Parâmetros	Configurações
Canal	11-26 (2405 - 2480 MHz)
Modo de operação	Recetor e Transmissor
Potência de saída TX	-3 dBm, 0 dBm, 4 dBm
Número de pacotes	1K, 10K, 100K, 1M
Taxa de pacotes	100, 50, 20 ou 10 pacotes por segundo

Para configurar o modo transmissor tem-se executar as seguintes etapas:

- 1- Pressionar o interruptor 1 (S1) para entrar no menu do aplicativo;
- 2- Seleccionar o mesmo canal como para o nó recetor e de seguida pressionar o interruptor 1 (S1) para confirmar;
- 3- Seleccionar o modo de operação neste caso é o modo de “Transmissor” e confirmar com o interruptor 1 (S1);
- 4- Seleccionar a potência de saída TX e confirmar com o interruptor 1 (S1).
- 5- Seleccionar o número de pacotes e confirmar com o interruptor 1(S1).
- 6- Selecione a taxa de pacotes (pacotes por segundo) e pressionar o botão 1 para confirmar.
- 7- A partir daqui está pronto para começar a fazer a transmissão e quando for iniciado o teste irá aparecer no LCD a taxa de erro de pacote a serem enviados para o nó recetor. A taxa de erro de pacote, o *RSSI* (intensidade do sinal) e o número de pacotes recebidos são exibidos no LCD do recetor.

Para configurar o modo recepção tem-se executar as seguintes etapas:

- 1- Pressionar o interruptor 1 (S1) para entrar no menu do aplicativo;
- 2- Selecionar o mesmo canal que foi selecionado no nó do transmissor e de seguida pressionar o interruptor 1 (S1) para confirmar;
- 3- Selecionar o modo de operação neste caso é o modo de “recetor” e confirmar com o interruptor 1 (S1);
- 4- O nó recetor está pronto para a operação, representando a mensagem “Receiver Ready”.

Na figura 5.4 e 5.5, é demonstrada a configuração das duas placas, mais pormenorizadamente.

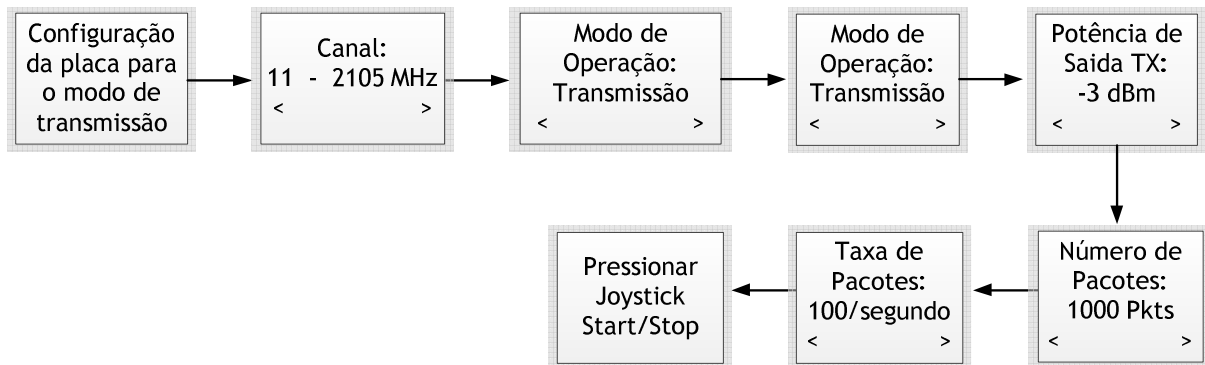


Figura 5.4 – Configuração da placa para o modo de transmissão.

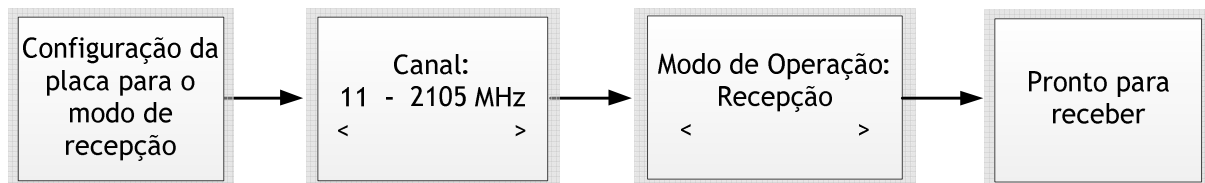


Figura 5.5 – Configuração da placa para o modo de recepção.

Recorrendo ao *Software SmartRF Studio 7*, do fabricante *Texas Instruments*, permitiu visualizar na figura 5.6, a variação do sinal quando está no modo de recepção ou quando está preparado para receber a informação.

Como também se verifica na figura 5.6, existe 3 pontos mais elevado que significa que recebeu vários pacotes naquele instante, seguidamente houve uma redução para um valor mais baixo, apesar de haver alguns pontos significativos o que significa que em arredores há provavelmente dispositivos que estejam a funcionar no mesmo espectro neste caso 2.4 GHz.

Neste capítulo, é muito importante estudar o comportamento do RSSI (intensidade do sinal), pois conforme habitação poderá ter vários obstáculos, o que nos leva a perder alguns dados.

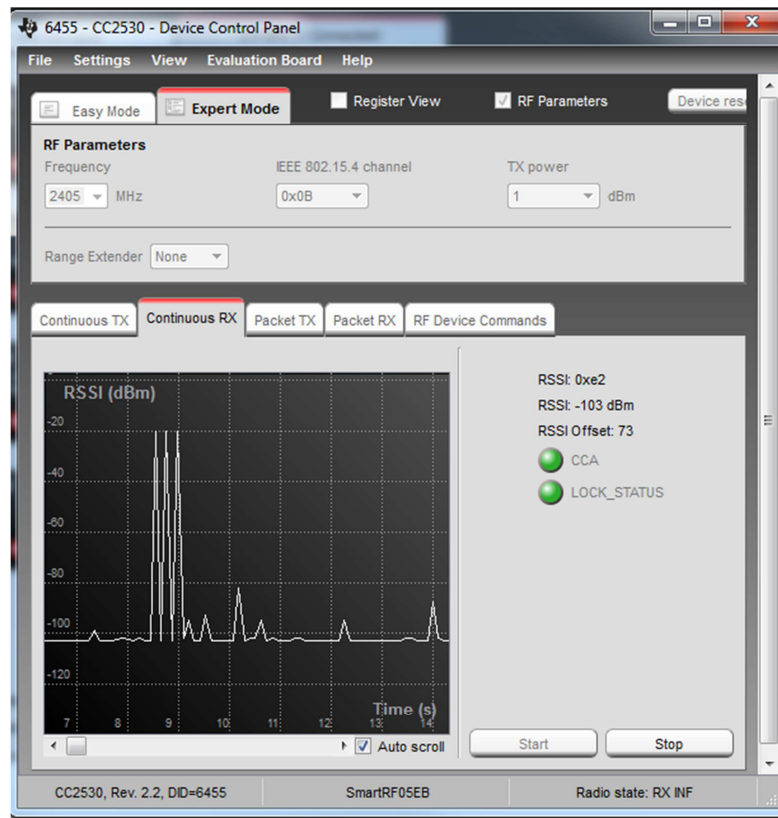


Figura 5.6 – Intensidade do sinal.

Na comunicação RF o ar é por excelência o meio de propagação das ondas eletromagnéticas, ou seja, um meio hostil à propagação. Como se demonstra a figura 5.6, o sinal RF é alvo de interferências externas que se modifica a forma e o conteúdo. Como consequência a descodificação torna-se deficiente e imprecisa no destinatário.

A qualidade da ligação RF está intimamente ligada à prestação do próprio canal físico de comunicação. Quanto mais baixa for a propensão do canal para gerar erros nas tramas (pacote de dados) melhor é a qualidade da ligação. Podemos considerar algumas fontes que poderá estar na origem a distorção no canal:

- **Atenuação** - Revela-se por uma redução da potência do sinal à medida que o sinal se propaga pelo meio. A atenuação é devido à absorção da energia pelo meio. É proporcional à distância percorrida e varia a intensidade com o meio de propagação.
- **Reflexão simples** - As ondas de rádio são absorvidas pelo embate de uma superfície refletida, originando múltiplas réplicas do sinal em amplitude e em fase, o que pode complicar a reconstrução da informação por parte do recetor.
- **Reflexão difusa** - Surge quando a onda incide numa superfície com irregularidades de tamanho inferior à ordem de grandeza do comprimento de onda do sinal. A energia da onda original é irradiada em várias direções.

- Refração - É um fenômeno que provoca um desvio na direção da propagação ao passar por um meio com densidade diferente: uma parte é refletida e a restante canalizada numa outra direção.
- Difração - Acontece quando o caminho entre o transmissor e o receptor é obstruído por um objeto com arestas ou cantos. Uma parte do sinal vai sofrer um desvio na sua direção inicial, contornando a superfície angulosa e mudando de direção de propagação.
- Interferência - Resulta da presença de um sinal externo que ocupa uma parte ou totalidade do espectro usado pelo sinal RF na transmissão.

Capítulo 6

6. Considerações Finais

Com a conclusão deste trabalho verifica-se que é possível a implementação de um sistema de controlo inteligente, totalmente implementado com tecnologias de baixo custo, nomeadamente *ZigBee*. Os objetivos desta dissertação foram plenamente atingidos (e inclusive superados), quer na parte do controlo inteligente, quer na parte da monitorização.

A tecnologia *ZigBee* para a transmissão de dados foi uma escolha acertada. Esta tecnologia apresenta um conjunto de ferramentas de desenvolvimento, de *software* e *hardware*, que permite ao utilizador manipular diversas aplicações em estudo, tais como o controlo de um sistema de iluminação e de temperatura. Uma outra característica que também se pode concluir é que esta tecnologia possibilita uma ótima qualidade de transmissão de dados entre os dispositivos eletrónicos. O microcontrolador utilizado neste trabalho assumiu um papel muito importante, já que se trata de um componente bastante versátil, permitindo efetuar um controlo por via *wireless* de forma inteligente.

Por outro lado, este trabalho teve continuidade em perceber conceitos relacionados com o controlo à distância, ou seja, como se comporta a intensidade do sinal se a habitação tiver várias paredes, como se pode verificar no capítulo 5.

Como foi referido, o propósito desta dissertação era o desenvolvimento de um sistema de baixo custo e baixo consumo energético, o que alcançado de forma proficiente.

6.1. Sugestões de Trabalhos Futuros

Para ser possível, no futuro, transformar este sistema num produto comercial, considerado sofisticado, como por exemplos os dispositivos *ZigBee's* utilizados neste projeto, deveria ser mais compacto, ou seja, deveria ser mais pequeno para caber por exemplo dentro de uma tomada na habitação, podendo assim ser integrado em toda a casa logo no momento de construção. Uma outra possibilidade seria nessas habitações existir uma caixa idêntica a um quadro elétrico, ou até mais pequena, onde se poderiam inserir esses dispositivos.

Na parte da monitorização de energia, o sistema seria um grande competidor no mercado se o monitor fosse ao encontro das novas exigências a nível ambiental, ou seja, amigo do ambiente. Esse monitor inteligente permitiria aos mais jovens ensinar-lhe a ter maior consciência do consumo da energia e dos custos inerentes. Para além disso, uma sugestão inteligente seria alertar o consumidor através de um sinal sonoro assim que atingisse um consumo excessivo, tendo em vista a redução desse consumo.

Relativamente a plataforma de desenvolvimento, é de facto a plataforma ideal para ser aplicada em habitações com diversas paredes, sendo também aquela que poderá ser utilizada futuramente para controlar o sistema de iluminação, temperatura e outros equipamentos que se encontram em *Standby*.

Referências Bibliográficas

- [1] Relatório Síntese, Eficiência Energética em Edifícios- Factos e Tendências.
- [2] A. Vidigal, “Smart Grids - As redes de distribuição de energia do futuro”, Junho 2011, em: INESC TEC Porto, [<http://www2.inescporto.pt/>], Acedido em: [10/01/2013].
- [3] European Commission, European Smart Grids Technology Platform - Vision and strategy for Europe’s Electricity Networks of the future, 2006, Acedido em: [06/01/2013].
- [4] Relatório da Comissão Europeia, “Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões - Redes Inteligentes: Da inovação à implementação”, Bruxelas, Abril 2011.
- [5] D. Salta, “Desagregação de consumos de electricidade residenciais com recurso a apenas um sensor”, Outubro 2011, em: Instituto Superior Técnico, Acedido em: [08/01/2013].
- [6] Energias de Portugal (EDP), EDP Distribuição - InovGrid, em: [www.edpdistribuicao.pt], Acedido em: [13/01/2013].
- [7] Portugal inova nas Smart Grids, em: [www.janzce.pt], Acedido em: [12/01/2013].
- [8] R. Nunes, C. Sêrro, “Edifícios Inteligentes: Conceito e Serviços”, DEEC, IST/INESC, Setembro 1996, Acedido: [18/01/2013].
- [9] Renato Nunes, “Integração de Serviços para Edifícios Inteligentes”, Tese de Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, IST - Instituto Superior Técnico, Julho 1995.
- [10] A. Barros, “Edifícios Inteligentes e a Domótica - Proposta de um projeto de Automação Residencial utilizando o protocolo X-10”, Universidade Jean Piaget de Cabo Verde, Cabo Verde, Setembro, 2010, Acedido: [19/01/2013].
- [11] Teleco - Inteligência em Telecomunicações, em: [http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee/pagina_1.asp], Acedido em: [18/02/2013].
- [12] H. Malafaya, L. Tomás, J. P. Sousa, “Sensorização sem fios sobre ZigBee e IEEE 802.15.4”, FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
- [13] N. C. Batista, R. Melício, J. C. O. Matias, J. P. S. Catalão, “ZigBee devices for distributed generation management: field tests and installation approaches”, in: Proceedings of the 6th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives – PEMD 2012, Bristol, UK, USB flash drive, Março 2012.
- [14] A. T. Silva, “Módulos de Comunicação Wireless para sensores”, FEUP - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Julho 2007.

- [15] Datasheet MSP4302552G: em: [<http://www.ti.com/lit/ug/slau144i/slau144i.pdf>], Acedido em: [25/01/2013].
- [16] Datasheet do Módulo XBEE-Pro Série 2, em: [<http://www.adafruit.com/datasheets/XBee%20ZB%20User%20Manual.pdf>], Acedido em: [07/12/2012].
- [17] Texas Instruments, A True System-on-Chip Solution for 2.4 Ghz IEEE 802.15.4 and ZigBee Applications, II SWRS081A-datasheet CC2530F256, Revised April 2009, Acedido em: [28/05/2013].
- [18] J. Vasconcelos, “Survey of Regulatory and Technological Developments Concerning Smart Metering in the European Union Electricity Market”, Janeiro 2008, Acedido em: [08/01/2013].
- [19] Carbon Light House, Setembro 2010, em: [<http://www.carbonlighthouse.com/2010/08/smart-grid/>], Acedido em: [13/01/2013].
- [20] Carlos Martins, Projecto Inovgrid, Setembro 2011, “A minha alegre casinha”, em: [<http://aminhaalegrecasinha.com/2010/04/evora-acolhe-contadores-inteligentes-da.html>], Acedido em: [13/01/2013].
- [21] D. Clements, “Intelligent Buildings Institute: Intelligent Building Definition”, Intelligent Buildings Institute, Washington, 1987.
- [22] ZigBee - Aplicações, em: [http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/aplicacoes.html], Acedido em: [18/02/2013].
- [23] N. Baker, “ZigBee and Bluetooth strengths and weaknesses for industrial applications”, Computing & Control Engineering Journal, Volume 16, Abril - Maio 2005.
- [24] C. Cardeira, A. Colombo, R. Schoop, “Wireless solutions for automation requirements”, IST - Instituto Superior Técnico, Acedido em: [25/02/2013].
- [25] D. -M. Han, J. -H. Lim, “Design and implementation of smart home energy management systems based on ZigBee”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 56, no. 3, 2010.
- [26] M. Erol-Kantarci, H. T. Mouftah, “Wireless sensor networks for cost-efficient residential energy management in the smart grid”, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 2, no. 2, 2011.
- [27] J. Byun, B. Jeon, J. Noh, Y. Kim, S. Park, “An intelligent self-adjusting sensor for smart home services based on ZigBee communications”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 58, no. 3, 2012.

- [28] M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, S. Rahman, “Hardware demonstration of a home energy management system for demand response applications”, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 3, no. 4, 2012.
- [29] B. Qela, H. T. Mouftah, “Observe, Learn, and Adapt (OLA)—An algorithm for energy management in smart homes using wireless sensors and artificial intelligence”, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 3, no. 4, 2012.
- [30] B. Asare-Bediako, P. F. Ribeiro, W. L. Kling, “Integrated energy optimization with smart home energy management systems”, in: Proc. 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe-ISGT Europe, Berlin, Germany, 2012.
- [31] What is the Smart Grid?. Purdue University, IN. [Online], em: [\[http://www.purdue.edu/discoverypark/energy/research/efficiency/smart-grid_what-is.php\]](http://www.purdue.edu/discoverypark/energy/research/efficiency/smart-grid_what-is.php), Acedido em: [08/04/2013].
- [32] D. Markovic, D. Cvetkovic, D. Zivkovic, R. Popovic, “Challenges of information and communication technology in energy efficient smart homes”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, 2012.
- [33] D. -M. Han, J. -H. Lim, “Smart home energy management system using IEEE802.15.4 and ZigBee”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 56, no. 3, 2010.
- [34] D. Tejani, A. Al-Kuwari, V. Potdar, “Energy Conservation in a Smart Home”, 5th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (IEEE DEST 2011), Daejeon, Korea, Maio - Junho 2011.

Anexos

TABELA ASCII

0	00	000	^@	NUL	32	20	040	!	64	40	100	@	96	60	140	`
1	01	001	^A	SOH	33	21	041	"	65	41	101	A	97	61	141	a
2	02	002	^B	STX	34	22	042	#	66	42	102	B	98	62	142	b
3	03	003	^C	ETX	35	23	043	\$	67	43	103	C	99	63	143	c
4	04	004	^D	EOT	36	24	044	%	68	44	104	D	100	64	144	d
5	05	005	^E	ENQ	37	25	045	&	69	45	105	E	101	65	145	e
6	06	006	^F	ACK	38	26	046	'	70	46	106	F	102	66	146	f
7	07	007	^G	BELL	39	27	047	(	71	47	107	G	103	67	147	g
8	08	010	^H	BS	40	28	050	)	72	48	110	H	104	68	150	h
9	09	011	^I	HTAB	41	29	051	*	73	49	111	I	105	69	151	i
10	0A	012	^J	LF	42	2A	052	+	74	4A	112	J	106	6A	152	j
11	0B	013	^K	VTAB	43	2B	053	,	75	4B	113	K	107	6B	153	k
12	0C	014	^L	FF	44	2C	054	-	76	4C	114	L	108	6C	154	l
13	0D	015	^M	CR	45	2D	055	.	77	4D	115	M	109	6D	155	m
14	0E	016	^N	SO	46	2E	056	/	78	4E	116	N	110	6E	156	n
15	0F	017	^O	SI	47	2F	057	0	79	4F	117	O	111	6F	157	o
16	10	020	^P	DLE	48	30	060	1	80	50	120	P	112	70	160	p
17	11	021	^Q	DC1	49	31	061	2	81	51	121	Q	113	71	161	q
18	12	022	^R	DC2	50	32	062	3	82	52	122	R	114	72	162	r
19	13	023	^S	DC3	51	33	063	4	83	53	123	S	115	73	163	s
20	14	024	^T	DC4	52	34	064	5	84	54	124	T	116	74	164	t
21	15	025	^U	NACK	53	35	065	6	85	55	125	U	117	75	165	u
22	16	026	^V	SYN	54	36	066	7	86	56	126	V	118	76	166	v
23	17	027	^W	ETB	55	37	067	8	87	57	127	W	119	77	167	w
24	18	030	^X	CAN	56	38	070	9	88	58	130	X	120	78	170	x
25	19	031	^Y	EN	57	39	071	:	89	59	131	Y	121	79	171	y
26	1A	032	^Z	SUB	58	3A	072	;	90	5A	132	Z	122	7A	172	z
27	1B	033	^[	ESC	59	3B	073	<	91	5B	133	[	123	7B	173	{
28	1C	034	^\	FS	60	3C	074	=	92	5C	134	\	124	7C	174	|
29	1D	035	^]	GS	61	3D	075	>	93	5D	135	]	125	7D	175	}
30	1E	036	^^	RS	62	3E	076	?	94	5E	136	^	126	7E	176	~
31	1F	037	^_	US	63	3F	077		95	5F	137	_	127	7F	177	DEL
128	80	200	€	160	A0	240		192	C0	300	À	224	E0	340	à	
129	81	201	•	161	A1	241	ı	193	C1	301	Á	225	E1	341	á	
130	82	202	,	162	A2	242	ç	194	C2	302	Â	226	E2	342	â	
131	83	203	f	163	A3	243	€	195	C3	303	Ã	227	E3	343	ã	
132	84	204	„	164	A4	244	º	196	C4	304	Ä	228	E4	344	ä	
133	85	205	…	165	A5	245	¥	197	C5	305	Å	229	E5	345	å	
134	86	206	†	166	A6	246	ı	198	C6	306	Æ	230	E6	346	æ	
135	87	207	‡	167	A7	247	§	199	C7	307	Ç	231	E7	347	ç	
136	88	210	ˆ	168	A8	250	ˆ	200	C8	310	É	232	E8	350	è	
137	89	211	‰	169	A9	251	©	201	C9	311	Ê	233	E9	351	é	
138	8A	212	Š	170	AA	252	ª	202	CA	312	Ë	234	EA	352	ê	
139	8B	213	‹	171	AB	253	«	203	CB	313	Ë	235	EB	353	ë	
140	8C	214	œ	172	AC	254	¬	204	CC	314	ì	236	EC	354	ì	
141	8D	215		173	AD	255	-	205	CD	315	í	237	ED	355	í	
142	8E	216	Ž	174	AE	256	®	206	CE	316	î	238	EE	356	î	
143	8F	217		175	AF	257	™	207	CF	317	ï	239	EF	357	ï	
144	90	220	•	176	B0	260	°	208	D0	320	Ð	240	F0	360	ð	
145	91	221	ˆ	177	B1	261	±	209	D1	321	Ñ	241	F1	361	ñ	
146	92	222	ˆ	178	B2	262	²	210	D2	322	Ó	242	F2	362	ò	
147	93	223	ˆ	179	B3	263	³	211	D3	323	Ô	243	F3	363	ó	
148	94	224	ˆ	180	B4	264	´	212	D4	324	Õ	244	F4	364	ô	
149	95	225	ˆ	181	B5	265	µ	213	D5	325	Ö	245	F5	365	ö	
150	96	226	–	182	B6	266	¶	214	D6	326	Ø	246	F6	366	ø	
151	97	227	—	183	B7	267	·	215	D7	327	×	247	F7	367	÷	
152	98	230	™	184	B8	270	¸	216	D8	330	Ø	248	F8	370	ø	
153	99	231	™	185	B9	271	¹	217	D9	331	Ù	249	F9	371	ù	
154	9A	232	š	186	BA	272	º	218	DA	332	Ú	250	FA	372	ú	
155	9B	233	›	187	BB	273	»	219	DB	333	Û	251	FB	373	û	
156	9C	234	œ	188	BC	274	¼	220	DC	334	Ü	252	FC	374	ü	
157	9D	235		189	BD	275	½	221	DD	335	Ý	253	FD	375	ý	
158	9E	236	ž	190	BE	276	¾	222	DE	336	Þ	254	FE	376	þ	
159	9F	237	ÿ	191	BF	277	¿	223	DF	337	ß	255	FF	377	ÿ	

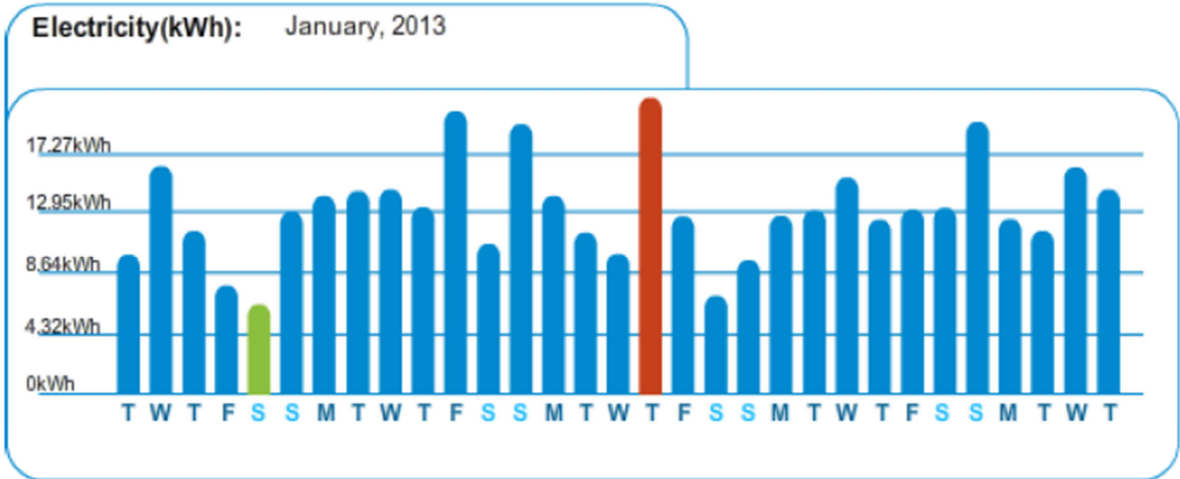
eLink Monthly Energy Report

April, 2013



Elink User Since	01/04/2013
Period	January, 2013 ~ March, 2013
Average monthly	
kWh	316.77

Consumption on	January, 2013
kWh	407.36



Stickies

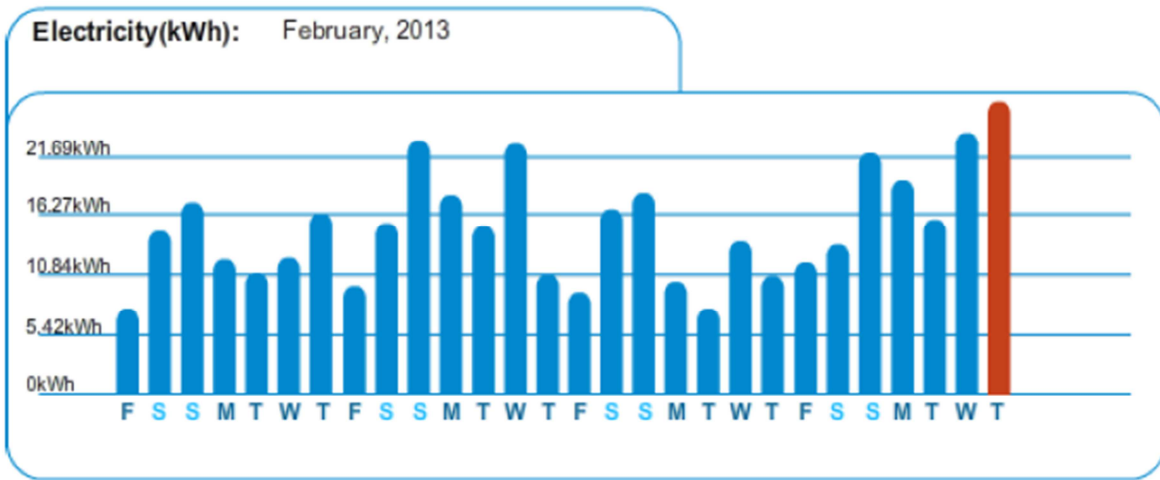
eLink Monthly Energy Report

April, 2013



Elink User Since	01/04/2013
Period	January, 2013 ~ March, 2013
Average monthly	
kWh	316.77

Consumption on	February, 2013
kWh	418.10



Stickies

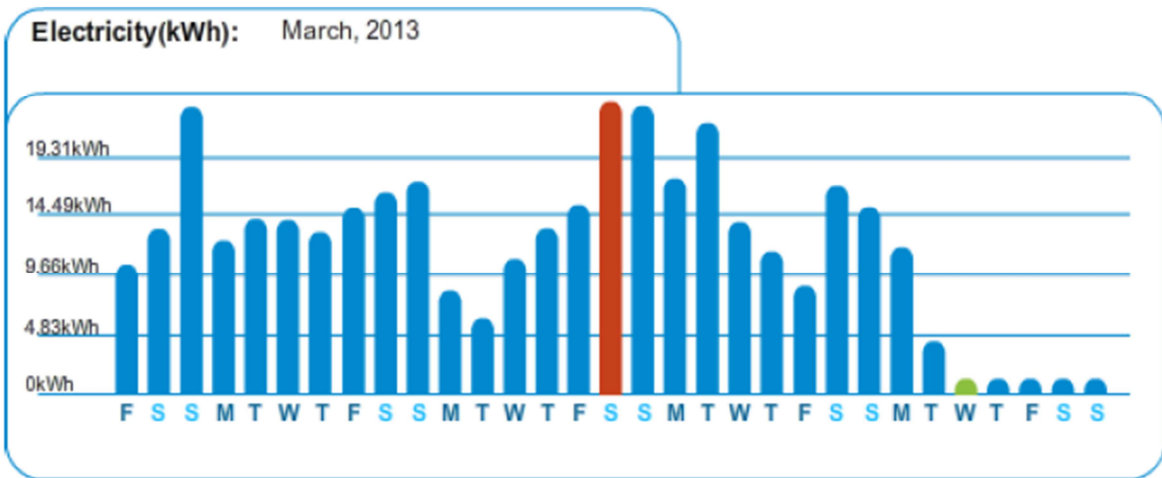
eLink Monthly Energy Report

April, 2013

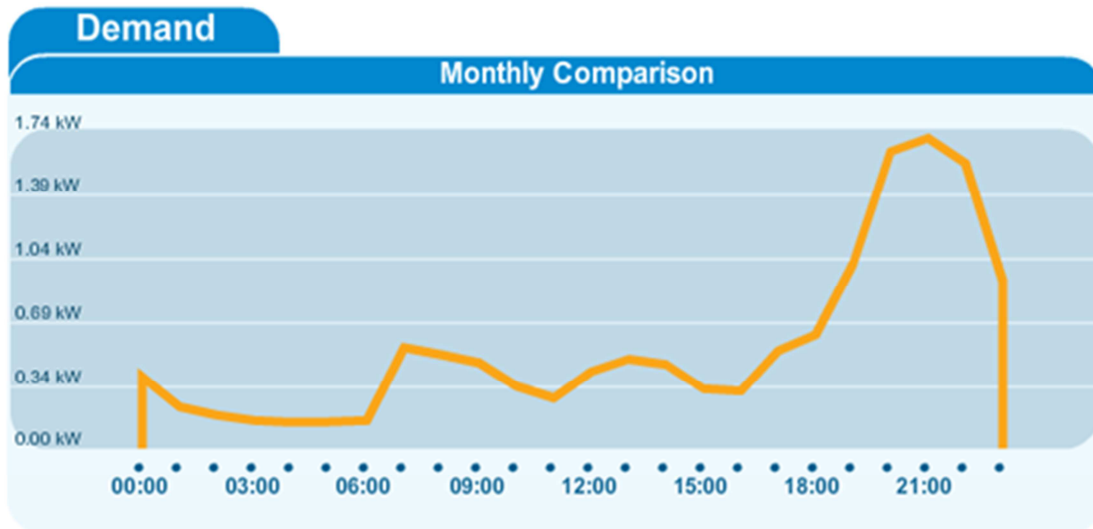


Elink User Since	01/04/2013
Period	January, 2013 ~ March, 2013
Average monthly	
kWh	316.77

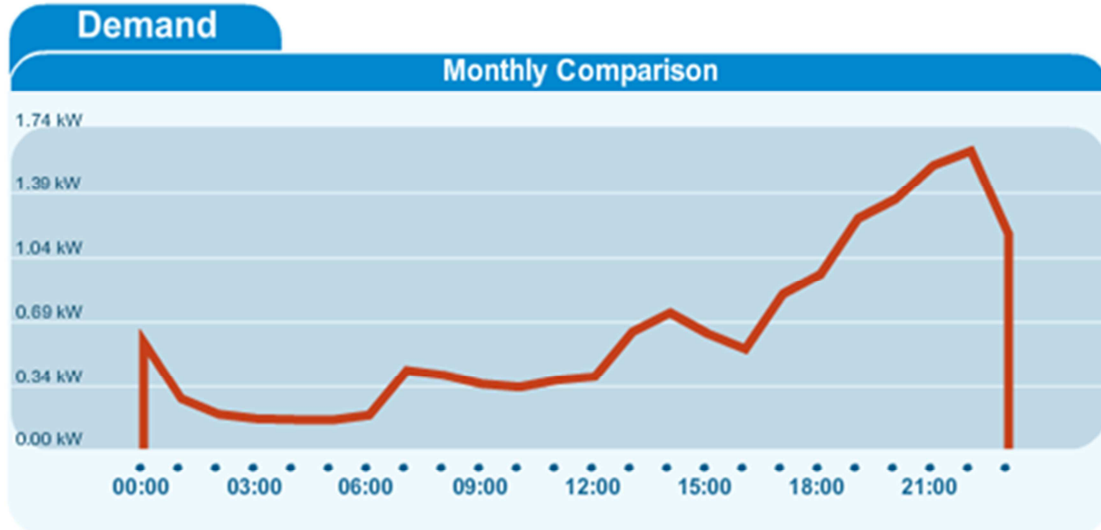
Consumption on	March, 2013
kWh	366.49



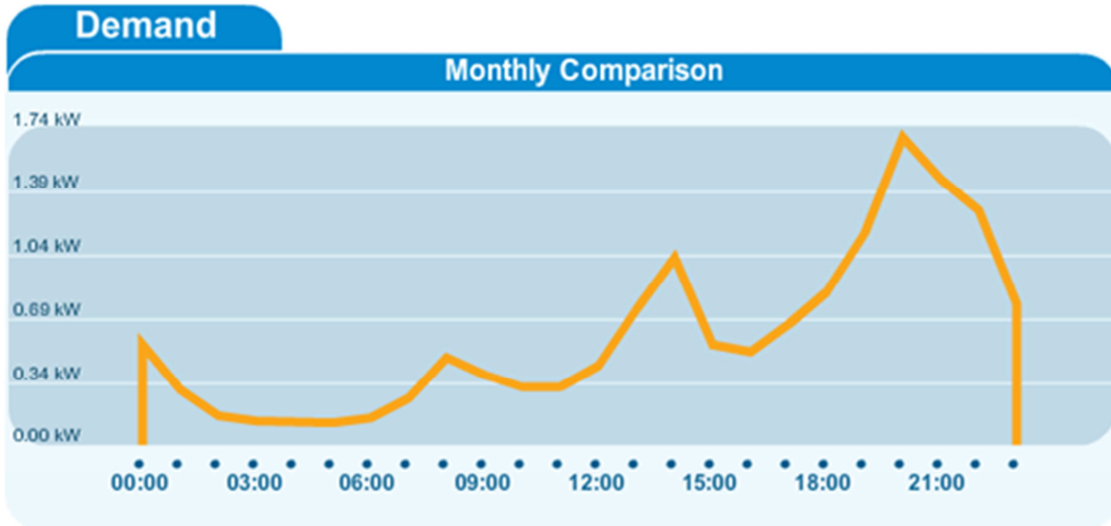
Stickies



kWh:
January
13.14 kWh



kWh:
February
14.93 kWh



kWh:
March
14.10 kWh