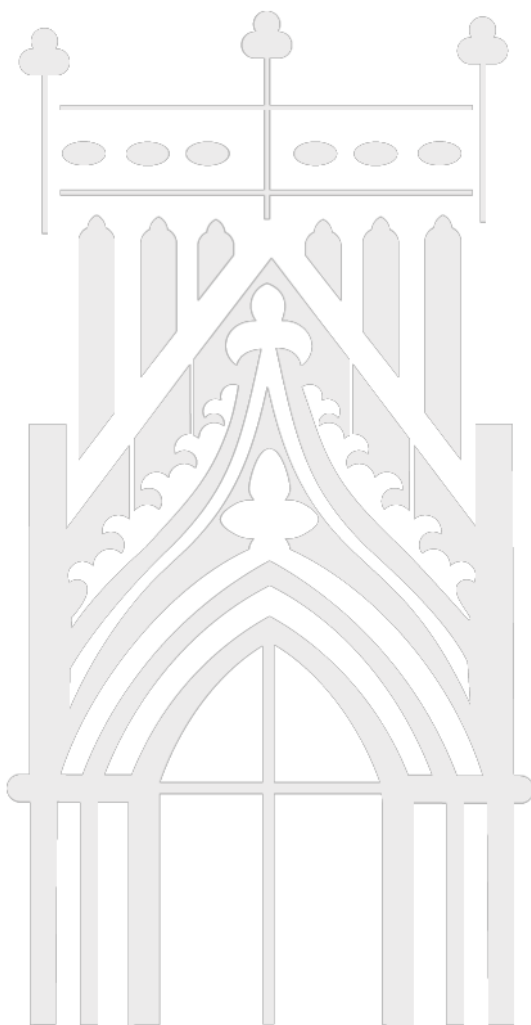


Mestrado em Computação Móvel

Sistema inteligente de monitorização e controlo de energia -
IOT ao serviço da eficiência energética

Gonçalo Miguel Santos Marques

setembro | 2015



Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão



Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Instituto Politécnico da Guarda

**SISTEMA INTELIGENTE DE MONITORIZAÇÃO E CONTROLO DE
ENERGIA**
IOT, MONITORIZAÇÃO E CONTROLO AO SERVIÇO DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA

Relatório de Projeto Aplicado realizado para obtenção do grau de Mestre
em Computação Móvel

Orientador: Professor Luís Figueiredo
Coorientador: Professor Doutor José Fonseca

Gonçalo Miguel Santos Marques

Setembro | 2015

Este documento foi realizado no âmbito da Unidade Curricular Projeto Aplicado, do Mestrado em Computação Móvel, Instituto Politécnico da Guarda.

O trabalho tem como orientador o Prof. Luís Figueiredo e coorientador o Prof. Doutor José Fonseca, ambos professores da Escola Superior de Tecnologia e Gestão.

“If you want to find the secrets of the universe, think in terms of energy, frequency and vibration.”

— Nikola Tesla.

À minha esposa, meus pais e meus sogros.

Agradecimentos

Primeiramente há que agradecer aos meus orientadores Prof. Luís Figueiredo e José Fonseca pela disponibilidade que sempre demonstraram, mostrando-se sempre recetivos a responder às questões por mim colocadas. Ambos os professores foram fundamentais para a manutenção do ritmo de trabalho pela sua ajuda na resolução de problemas que foram surgindo com a evolução do projeto.

À minha esposa, agradeço toda a compreensão, carinho, atenção e animo que sempre me transmitiu em todos os meus projetos, mas neste em especial aproveitando para me desculpar de toda a falta de atenção e tempo que tive para com ela durante a execução deste trabalho.

Dedico também este trabalho a meu pai o meu exemplo de persistência e honestidade que sempre me mostrou os verdadeiros valores da vida. Agradeço-te pai que me ensinaste que o valor do homem é o do seu carácter, dos seus valores e dos seus ideais afirmando-se nas atitudes que tem com os mais pequenos. Agradeço por todas as horas que não descansaste para que nunca nada me faltasse.

À minha mãe que sempre aconselhou e me ensinou a lidar com os maus valores da sociedade, bem-haja.

Aos meus sogros por toda a ajuda que me deram e por todo o apoio que se mostrou em pequenas grandes atitudes.

Ao meu padrinho por sempre me ter apoiado e pelo orgulho e crédito que sempre demonstrou para com o seu afilhado.

Resumo

Verifica-se, crescentemente, a necessidade de racionalizar e gerir o consumo de energia de forma eficiente e sabe-se que para tal é fundamental monitorizar os consumos de forma a analisá-los e diminuí-los, para fazer mais com menos.

O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) define metas para os anos de 2016 e 2020 no qual a eficiência energética é uma prioridade europeia que abrange todos os Estados Membros. A eficiência energética é um tema que tem tido muita expressão nos últimos anos sendo aprovada legislação Nacional e Internacional que obriga e indica soluções para a melhoria significativa da eficiência energética, sendo até disponibilizadas verbas para a melhoria da eficiência energética em empresas e instituições públicas.

A Internet das Coisas (Internet of Things – IoT) é um conceito criado para definir a revolução tecnológica dos dispositivos usados no dia-a-dia ligados à rede global da internet. É uma revolução tecnológica em plena ascensão que está presente já em vários tipos de equipamentos para o qual a Comissão Europeia vai lançar em Outubro de 2015 um novo programa de financiamento no valor de 100 milhões de euros.

Assim, associando a necessidade de monitorização do consumo energético ao paradigma da Internet das Coisas, pretende-se projetar e construir um sistema inteligente que permite a monitorização e controlo de tomadas de energia elétrica ligado à internet, via Wi-Fi designado por iPlug. Este sistema é uma tomada inteligente que encaixa numa tomada genérica e permite obter informações do consumo de energia elétrica do(s) equipamento(s) a ela ligados através do cálculo da corrente e da tensão da rede elétrica, estas informações são colocadas numa base de dados. O iPlug permite também saber se a tomada está ligada ou desligada, alterar o seu estado, bem como o acesso aos dados de consumo através de duas aplicações, um portal Web e uma aplicação para iOS.

Palavras-chave: IoT (Internet das coisas), Eficiência Energética, Monitorização, “iPlug”, Arduino, iOS, Web Services

Abstract

It appears increasingly the need to streamline and manage energy consumption efficiently and to know that this is essential to monitor consumption in order to analyze them and finally do more with less.

The National Action Plan for Energy Efficiency sets targets for the years 2016 to 2020 in which energy efficiency is a European priority covering all Member States. Energy efficiency is a topic that is increasing in recent years and made national and international laws that force and indicate the solutions for the the significant energy efficiency improvements being made to improve energy efficiency in companies and public institutions.

The Internet of Things (IoT) is a concept created to define the technological revolution of the devices used in day-to-day connected to the global Internet network. It is a technological revolution on the rise that is already present in various types of equipment for which the European Commission will launch in October 2015 a new funding program worth 100 million euros.

Thereby associating the need for monitoring of energy consumption to the paradigm of the Internet of Things, we intend to design and build an intelligent system that allows monitoring and control of power outlets connected to the Internet via Wi-Fi called "iPulg". This system is a smart plug that fits a generic socket and provides information of power consumption (s) device (s) connected to it by calculating the current and the line voltage, this information is placed in a database. The iPlug also lets you know whether the outlet is on or off, change your status, and access to consumer data through two applications, a web portal and an application for iOS.

Keywords [IoT (Internet of Things), Energy Efficiency, Monitoring, "iPlug" Arduino, iOS, Web Services

Índice

Capítulo 1. Introdução	1
1.1 Motivação	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Estrutura do documento	5
Capítulo 2. Enquadramento e estado da arte	7
2.1 Sustentabilidade e Eficiência a nível Internacional	7
2.2 Sustentabilidade e Eficiência a nível nacional	9
2.3 Consumo de energia elétrica em Portugal	11
2.3.1. Parque habitacional Português	13
2.4 IoT Internet das Coisas – Internet of Things	14
2.4.1. Evolução da Internet das Coisas	15
2.4.2. S-E-N-S-E	16
2.4.3. Aplicações da Internet das coisas	18
2.4.4. Semântica para a Internet das Coisas	18
2.4.5. O papel do Smartphone na Internet das coisas	19
2.5 Trabalhos relacionados	21
2.5.1. Efergy	21
2.5.2. Cloogy	24
2.5.3. EDP RE:DY	25
2.6 Resumo das diferentes soluções	26
Capítulo 3. Tecnologias utilizadas	29
3.1 Sistema Embebido Arduino	29
3.2 Módulo Wi-Fi ESP8266	34
3.3 Sensor de Corrente ACS712	37
3.4 Relé para Controlo ON/OFF	41
3.5 Sensor de tensão	44
Capítulo 4. Implementação	53
4.1 Metodologia	53
4.2 Planeamento	55
4.3 “iPlug”	56
4.3.1. Funcionalidades e arquitetura	56
4.3.2. Componentes constituintes e esquema de ligação	57
4.3.3. Custo do iPlug e especificação energética	61
4.3.4. Máquina de Estados	62
4.3.5. Comportamento Síncrono no Arduino	65
4.4 Web Services	66
4.4.1. Atores principais em web services	67
4.4.2. Web Services em .NET com Visual Studio	67
4.4.3. Web Service Arduino – Base de dados	69
4.4.4. Web Services na Aplicação móvel – Base de dados	70
4.4.5. Segurança	71
4.5 Aplicação web - iPlugWeb	72
4.5.1. Base de dados	72

4.5.2. Backoffice	74
4.5.3. Frontoffice.....	75
4.6 Aplicação IOS – iPlugMobile	84
Capítulo 5. Conclusões e trabalho futuro.....	91
5.1 Conclusões	91
5.2 Propostas de trabalho futuro	93
Referências bibliográficas.....	95
ANEXO A - Especificações do ESP8266.....	99
ANEXO B –Especificações do ACS712	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Protocolo de Quioto a nível Mundial em 2005 retirado de lukerfaqs.com	8
Figura 2 - Evolução das emissões nacionais de Gases com Efeito de Estufa (GEEs) (s/ LULUCF) retirada de Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (NIR 2014 – emissões 2012).....	11
Figura 3 - Consumo de energia elétrica em Portugal retirada de [13]	12
Figura 4 - Visões do paradigma da Internet das Coisas retirado de [12]	15
Figura 5 - Número de dispositivos conectados por pessoa ao longo do tempo e à escala global retirado de [16].....	16
Figura 6 - Aplicações da Internet das Coisas retirada de [18]	18
Figura 7 - Hierarquia da aquisição de conhecimento retirada de [19]	18
Figura 8 - Semântica em diferentes níveis da Internet das coisas retirada de [19]	19
Figura 9 - O Smartphone como mediador do uso da Internet das coisas retirado de [20]	20
Figura 10 - Funcionamento do Efergy retirado de [21].	22
Figura 11 – EngageHub retirada de [21].....	22
Figura 12 - Componentes do sistema Cloogy retirado de [22]	24
Figura 13 - Publicidade EDP RE:DY retirado de [23]	25
Figura 14 - Arduino UNO R3 retirada de [25]	30
Figura 15 - Gama de placas de desenvolvimento Arduino retirada de Arduino.CC	32
Figura 16 - ARDUINO IDE.....	33
Figura 17 - Módulo Wi-Fi retirado de http://wsnblog.com/	34
Figura 18 - Configuração do Putty.....	36
Figura 19 - ACS712 retirada de Sparkfun	37
Figura 20 - Efeito de Hall retirada de [29].....	38
Figura 21 - Ligação ACS712 - Arduino retirada de http://henrysbench.capnfatz.com/henrysbench/acs712-current-sensor-user-manual/ ...	38
Figura 22 – Harmónicos de corrente contínua em AC e em valor absoluto	39
Figura 23 - Constituição de um relé eletromecânico retirado de [23]	41
Figura 24 - Relé utilizado no iPlug	43
Figura 25 - Componentes de um transformador retirada de [34].....	45
Figura 26 - Divisor resistivo	47
Figura 27 - Sinal de saída do sensor de tensão antes e depois do filtro passa baixo	49
Figura 28 - Circuito do sensor de tensão	50
Figura 29 - Desenho PCB no EAGLE	50
Figura 30 - Sensor de tensão Final.....	51
Figura 31 - Tensão de Saída.....	52
Figura 32 - Tensão de entrada.....	52
Figura 33 - Mapa de Gant	55
Figura 34 - Arquitetura do Sistema iPlug	57
Figura 35 - Esquema de ligação dos sensores e actuadores ao microcontrolador	59
Figura 36 - Protótipo iPlug	60
Figura 37 - Máquina de estados do iPlug.....	63
Figura 38 - Uso dos Web Services pelo iPlug e dispositivos clientes	68
Figura 39 - Relação entre Utilizador, base e nó.....	73

Figura 40 - Diagrama de base de dados	74
Figura 41 - Módulo de criação de bases	74
Figura 42 - Módulo de criação de nós	75
Figura 43 - Módulo de visualização dos sistemas existentes.....	75
Figura 44 - Formulário de registo	75
Figura 45 - HomePage utilizador autenticado	76
Figura 46 - Informação do nó, últimos dados de consumos e de controlo	76
Figura 47 - Dados de monitorização de consumo de cada nó.....	77
Figura 48 - Envio de comandos de controlo	77
Figura 49 - Dados de controlo enviados	78
Figura 50 - Gráficos com os últimos 10 dados de monitorização.....	78
Figura 51 - Gráfico de consumo por dia em KWh.....	79
Figura 52 - Gráfico de consumo por mês em KWh	79
Figura 53 - Gráfico de consumos por hora em KWh.....	80
Figura 54 - Dados de consumo em KWh por dia filtrados pelo utilizador	80
Figura 55 - Dados de consumo em KWh por mês filtrados pelo utilizador	81
Figura 56 - Dados de consumo em KWh por hora filtrados pelo utilizador	81
Figura 57 - Dados de consumo em € por dia segundo a tarifa especificada pelo utilizador	82
Figura 58 - Dados de consumo em € por mês.....	82
Figura 59 - Dados de consumo em € por dia filtrados pelo utilizador.....	83
Figura 60 - Dados de consumo em € por mês filtrados pelo utilizador	83
Figura 61 - iPlugMobile.....	84
Figura 62 - Página de autenticação	85
Figura 63 - Página de seleção do nó	86
Figura 64 - Últimos 10 registos de consumo energético.....	87
Figura 65 - Gráficos da aplicação móvel	88
Figura 66 - Página de envio de comandos de controlo	89
Figura 67 - Descrição dos pinos do ESP8266.....	105
Figura 68 - Esquema de ligação recomendado	106
Figura 69 - Esquema de ligação para atualização do firmware	115
Figura 70 - Aplicação de atualizar do ESP8266	116
Figura 71 - Processo de atualização iniciado	116
Figura 72 - Processo terminado	117
Figura 73 - Diagrama e descrição dos pinos de conexão do ACS712	119

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Edifícios segundo os Censos: total e por época de construção – Portugal retirada de PORDATA.....	13
Tabela 2 - S-E-N-S-E retirada de Goldman Sachs Global Investment Research	17
Tabela 3 - Vantagens e Desvantagens do sistema Efergy.....	23
Tabela 4 - Vantagens e desvantagens do sistema Cloogy.....	25
Tabela 5 - Vantagens e desvantagens do sistema Cloogy.....	26
Tabela 6 - Comparativo das soluções analisadas	27
Tabela 7 - Utilização dos comandos AT.....	35
Tabela 8- Testes do sensor de tensão.....	51
Tabela 9 - Web Services usadas na aplicação iPlugMobile.....	70
Tabela 10 - Consumo do ESP8266	101
Tabela 11 - Performance canal rádio	103

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Devido ao elevado preço da energia e ao seu impacto no orçamento das famílias existe um interesse crescente em diminuir o consumo de energia com vista a aumentar a sua eficiência energética.

Assim dando resposta à crescente preocupação com a diminuição do consumo de energia este trabalho visa projetar o sistema iPlug, uma tomada inteligente que se conecta à Internet via Wi-Fi, encaixa nas tomadas genéricas das habitações e efetua monitorização e controlo ON/OFF do(s) dispositivo(s) a ela ligado(s).

Os dados de monitorização são registados numa base de dados back-end e o utilizador poderá servir-se da aplicação Web ou da aplicação móvel para aceder aos mesmos. A monitorização permite identificar pontos de desperdício de energia sejam eles provenientes de consumos anómalos de equipamentos danificados ou do esquecimento de equipamentos em standby. Após monitorização dos consumos pode proceder-se à análise de forma a mudar comportamentos que permitam poupar energia.

Existem várias formas de aumentar a eficiência energética são elas o recurso a energias renováveis como painéis solares para autoconsumo, isolamento térmico de edifícios ou até simplesmente por seguir comportamentos como desligar os equipamentos quando estes não são necessários. A funcionalidade de controlo ON/OFF à distância permite ao utilizador quer por esquecimento ou comodidade desligar equipamentos elétricos com recurso à aplicação Web ou à aplicação móvel. A comunicação de dados entre a aplicação móvel e a base de dados é realizada através de Web services.

A solução apresentada é constituída por hardware, tomada inteligente que se designa por iPug e por software sendo aplicação Web designada por iPlugWeb e a aplicação móvel designada por iPlugMobile.

1.1 Motivação

Dados divulgados na Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 afirmam que a necessidade energética da economia produtiva em Portugal é 27% superior à média da União Europeia quer isto dizer que na produção de 1€ de riqueza em Portugal consome-se mais 27% de energia do que na média da UE [1].

A energia primária corresponde a toda a forma de energia disponível na natureza antes de ser convertida ou transformada. O Horizonte 2020 – Programa-Quadro Comunitário de Investigação & Inovação, no setor Estado, define como o objetivo geral de redução do consumo de energia primária em 25%, o que implica a implementação de fortes medidas de eficiência energética [2].

O aumento da eletricidade em 2015 é 3,3% para os consumidores, este valor é 4,7 vezes a inflação, que corresponde a 0,7% [3]. O preço da energia tem, portanto, estado em constante inflação, o que causa uma grande pressão em todas as atividades, nomeadamente no sector doméstico. Dada a importância desse sector para a economia das famílias e a crescente necessidade de diminuir consumos energéticos, o iPlug tem como objetivo principal ser implementado no sector doméstico.

Os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo total de energia e 36% das emissões de CO₂ na Europa, sendo necessário torná-los eficientes de forma a reduzir as emissões poluentes e a pegada ecológica [4]. Assim sendo há vantagem em criar um sistema de monitorização que possa ser utilizado em todo o tipo de edifícios pré-existentes e não em soluções que apenas podem ser utilizadas nas casas inteligentes de nova geração.

É importante guardar o histórico do perfil de consumo de forma a refletir sobre um conjunto de alterações comportamentais, tais como a necessidade de funcionamento de equipamentos em stanby ou intervenções técnicas, tais como a substituição de equipamentos elétricos por outros mais eficientes com o objetivo de otimizar o consumo de energia. Assim é necessário que o sistema de monitorização armazene, de forma fiável e estruturada, os dados recolhidos. Os dados recolhidos pelo sistema iPlug são colocados numa base de dados back-end que serve de fonte de informação às aplicações web e móvel. Isto permite que o utilizador possa, em qualquer altura e em qualquer lugar, aceder em tempo real aos dados do seu consumo e decidir se deve desligar ou

ligar algum dispositivo. Permite também agendar e reduzir o consumo de energia e o preço a pagar, através da otimização do tempo em que os equipamentos estão ligados, utilizando horas de vazio ou capacidade de produção própria.

A tomada inteligente iPlug é, pois, um dispositivo que assenta no paradigma da Internet das Coisas, possuindo ligação à Internet via Wi-Fi, efetuando recolha e registo da informação numa base de dados e permitindo a alteração do estado dos equipamentos. Pretende-se também que seja um equipamento de fácil instalação e de baixo custo através de o uso de componentes fiáveis, mas económicos e que englobe todas as suas funções num único equipamento de hardware contrastando com soluções de mercado cujos sistemas pressupõem vários componentes e que são abordadas nos trabalhos relacionados.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo a construção de um sistema inteligente denominado por iPlug que permita monitorizar e controlar o consumo de energia do(s) equipamento(s) a ele ligado(s) considerando a corrente consumida pelo equipamento e a tensão da rede. O iPlug fica instalado entre o equipamento e a tomada e deve também permitir a monitorização remota de consumos que podem ser consultados através das aplicações iPlugWeb e iPlugMobile, possibilitando ainda ligar e desligar equipamentos.

Os principais objetivos deste sistema são descritos seguidamente:

1. Recolha de dados de consumo e controlo ON/OFF:
 - a) Situando-se entre o equipamento e a tomada, este sistema deve permitir fazer a análise em tempo real dos dados de histórico do consumo de energia. Assim o utilizador pode analisar os dados de consumo verificando onde e quando consome mais energia e desta forma pode planear mudanças de comportamento desligando aparelhos quando não é necessário ou intervenções técnicas substituindo aparelhos elétricos de grande consumo por aparelhos mais eficientes que conseqüentemente vão diminuir o consumo de energia e melhorar a eficiência energética. De forma a apresentar melhor exatidão nos dados apresentados o iPlug deve considerar não só a corrente

consumida pelo equipamento elétrico, mas também o valor da tensão da rede visto que a mesma também poderá ter variações significativas.

- b) Para poder diminuir o consumo energético em tempo real e dar mais comodidade ao utilizador, pretende-se que o iPlug incorpore controlo de tomadas à distância através do envio de comandos ON/OFF. Esta capacidade de ligar e desligar equipamentos permite a poupança de energia de forma imediata e pode ser implementado na generalidade dos equipamentos elétricos.
2. Registo de dados de consumo numa base de dados e visualização da informação de forma ubíqua:
 - a) Os dados recolhidos pelo iPlug devem ser inseridos numa base de dados estruturada de forma a guardar o histórico do consumo dos equipamentos. Estes dados poderão ser acedidos através de uma das aplicações iPlugWeb e iPlugMobile que também farão parte do sistema. O iPlug regista os dados de forma periódica na base de dados e os mesmos podem ser analisados de forma a criar informação útil para o utilizador, como por exemplo o consumo instantâneo, por hora, por dia, por mês e por ano.
 - b) O acesso aos dados pode ser feito a partir da plataforma Web, iPlugWeb, e da aplicação móvel, iPlugMobile. Os dados devem poder ser acedidos facilmente em qualquer lado e a qualquer momento. Desta forma o utilizador pode, em tempo real, perceber o seu padrão de consumo e, se necessário, ligar ou desligar dispositivos. A comunicação entre a aplicação móvel e a base de dados de back-end é realizada através de Web Services. Ambas as aplicações (Web e Mobile) devem permitir aceder a informação útil como o consumo energético, bem como guardar o histórico dos pedidos de controlo ON/OFF.
 3. Sistema de baixo custo, assente no paradigma da Internet das Coisas:
 - a) O sistema deve ser de baixo custo através do uso de componentes fiáveis mas económicos e deve permitir a sua instalação em qualquer

edifício, sendo o mesmo construído de forma a encaixar numa tomada pré-existente.

- b) O sistema deve transformar equipamentos que não estão abrangidos no paradigma da Internet das Coisas introduzindo-os no mesmo paradigma, estando este em plena evolução. Os equipamentos elétricos são desta forma conectados à Internet via Wi-Fi e ser acessível a partir de qualquer lugar e de qualquer equipamento com acesso à Internet.

1.3 Estrutura do documento

O presente documento está organizado em 5 capítulos. No capítulo 1 é abordada a motivação e os objetivos do trabalho. Seguidamente, no capítulo 2 é elaborado o enquadramento que fundamenta o interesse e a necessidade do sistema iPlug bem como o estado da arte, sendo abordados temas como a sustentabilidade e eficiência energética a nível nacional e internacional, o parque habitacional português e o paradigma da Internet das Coisas. No final deste capítulo são analisados alguns trabalhos os relacionados. No capítulo 3 são abordadas as tecnologias e os componentes utilizados na construção do sistema iPlug. No capítulo 4 é explicado e analisado o sistema iPlug bem como as aplicações iPlugMobile e iPlugWeb. Finalmente, no capítulo 5 são tecidas as conclusões do trabalho realizado e são apontados caminhos a seguir no futuro.

CAPÍTULO 2. ENQUADRAMENTO E ESTADO DA ARTE

Neste capítulo são abordados dois grandes temas que servem de enquadramento e estado da arte ao trabalho realizado são eles a sustentabilidade e eficiência energética e o paradigma da Internet das Coisas.

Primeiramente é analisada a sustentabilidade e eficiência energética a nível internacional e a nível nacional seguindo-se a reflexão do consumo de energia elétrica em Portugal e por fim uma referência ao parque habitacional português. Sendo o iPlug um sistema que tem por objetivo a monitorização e controlo de energia elétrica faz todo o sentido enquadrar a crescente preocupação com a eficiência e sustentabilidade bem como analisar o parque habitacional português de forma atestar a importância deste sistema poder ser utilizado em todo o tipo de habitações.

No final é feita uma análise ao paradigma da Internet das Coisas abordando temas relevantes ao mesmo como por exemplo as visões e a evolução deste paradigma. São também abordadas as aplicações da Internet das Coisas bem como o papel do smartphone neste paradigma.

Na secção trabalhos relacionados são analisadas soluções correntes ao iPlug apontando vantagens e desvantagens às mesmas de forma apresentar um comparativo.

2.1 Sustentabilidade e Eficiência a nível Internacional

Os conceitos de sustentabilidade e eficiência foram, durante muitos anos, desconhecidos e não mereceram preocupação global. Estes temas não eram refletidos na construção de edifícios bem como não existia a preocupação com a emissão de dióxido de carbono. Só em 1972 se realiza em Estocolmo a Conferência das Nações Unidas onde se reflete sobre o meio ambiente, a UNCHE - United Nations Conference on the Human Environment. Nesta conferência foram definidos conceitos como sustentabilidade e desenvolvimento sustentável dando-se os primeiros passos para o controlo da poluição procurando evitar a degradação do planeta herdado pelas gerações

futuras [5]. Seguidamente, em 1987, é redigido o Relatório de Brundtland que estabelece relações de incompatibilidade entre a poluição provocada pela indústria e a sustentabilidade. Este documento serve, na sua generalidade, não para promover a diminuição ou estagnação do crescimento económico e industrial, mas sim para promover um equilíbrio entre o crescimento e a sustentabilidade [6].

Em 1992 tem lugar no Brasil, na cidade do Rio de Janeiro, a Conferência sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED, United Nations Conference on Environment and Development) onde foram definidas metas de desenvolvimento sustentável para o século XXI [7].

O Protocolo de Quioto é o primeiro e único tratado jurídico internacional até à data, que limita emissões quantificadas de gases com efeito de estufa dos países desenvolvidos. Foi discutido em 1997 em Quioto, Japão, sendo aberto para assinaturas a 16 de Março de 1998 e tendo sido ratificado em 15 de Março de 1999. Portugal ratificou o Protocolo de Quioto em 31 de Maio de 2002 embora oficialmente o este apenas tenha entrado em vigor em 16 de Fevereiro de 2005 [8]. A figura 2 mostra a verde os países que assinaram e ratificaram o protocolo de Quioto, a amarelo estão os países que assinaram mas em que a ratificação ficou pendente, a vermelho os países que não assinaram nem ratificaram o protocolo e por último a cinzento aqueles que não participaram no protocolo.

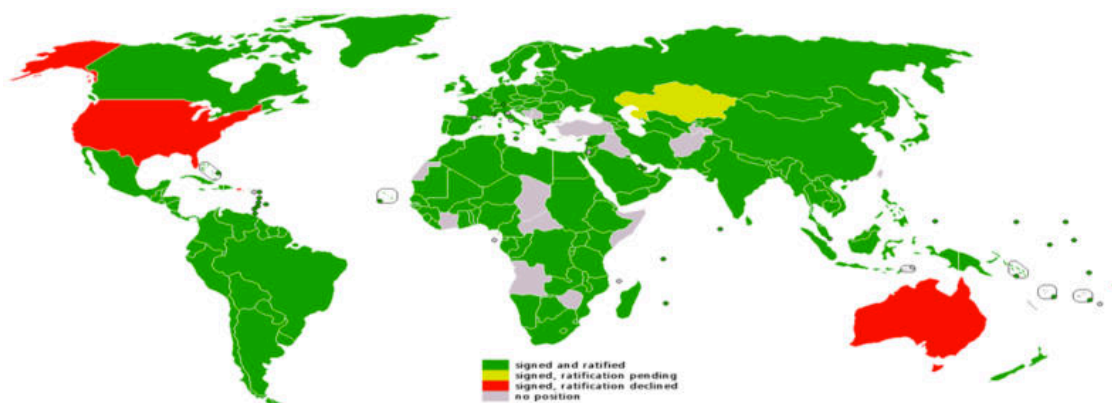


Figura 1 - Protocolo de Quioto a nível Mundial em 2005 retirado de lukerfaqs.com

Em 2012, realizou-se no Qatar a conferência de Doha cujo principal tema foi o combate às alterações climáticas onde foi prolongada a meta para a redução das emissões de gases de efeito de estufa, para o ano 2020, que tinha sido inicialmente

estabelecida até 2012. Nesta conferência foi estabelecido que os países desenvolvidos devem compensar os países em desenvolvimento pelos danos causados pelas alterações climáticas. A conferência contou com a presença de 200 países, mas o Protocolo de Quioto desta vez foi rejeitado pelo Canadá, Japão, Nova Zelândia e Rússia [9].

Todos estes eventos históricos mostram a crescente preocupação mundial em diminuir o consumo energético e por consequência a libertação de gases de estufa fazendo assim sentido criar soluções como o iPlug que permitem aumentar a sustentabilidade e eficiência energética.

2.2 Sustentabilidade e Eficiência a nível nacional

Ao assinar e ratificar o protocolo de Quioto, Portugal definiu como compromisso reduzir em 8% as emissões de gases poluentes. Portugal emitia, em 1990, 60,2 milhões de toneladas de CO₂ e em 2006 82,7 milhões, como Portugal era detentor de uma economia pouco desenvolvida foi lhe permitido aumentar em 27% as emissões de CO₂ face aos níveis registados em 1990 [10]. A nível nacional, após a assinatura do protocolo de Quioto, foi criada legislação de forma a potenciar o desenvolvimento sustentável, contudo desde 1984 que existem organismos públicos que trabalham no sentido da conservação ambiental. Portugal possui vários instrumentos para trabalhar no sentido do cumprimento dos compromissos assumidos tais como:

- Agência para a Energia – ADENE;
- Comissão para as Alterações Climáticas (CAC);
- Plano Nacional para o Desenvolvimento Económico e Social – PNDES;
- Programa Nacional para as Alterações Climáticas – PNAC;
- Eficiência Energética e Energias Endógenas – Programa E4;
- Programa Água Quente Solar para Portugal – AQSpP;
- Programa para a Eficiência Energética em Edifícios – P3E;
- Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável – ENDS;
- Estratégia Nacional para a Energia – ENE;
- Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER).

Portugal, através destes instrumentos, criou condições para potenciar o desenvolvimento das energias renováveis através da construção de barragens, mas também através da criação de apoios para o investimento em energia solar e solar térmica. O sector da eletricidade foi o que mais contribuiu para redução de emissões, não só devido à crise, mas também devido à eficiência energética. Em 2012 a produção elétrica foi praticamente igual à de 2005, segundo dados da Direcção-Geral de Energia e Geologia. Contudo as centrais térmicas libertaram um terço a menos de CO₂ e as fontes menos poluentes (como os parques eólicos e as barragens) assumiram maior protagonismo [11]. Os incentivos às energias renováveis foram sendo progressivamente reduzidos desde 2005, o que pode implicar um ponto de viragem no recurso a energias renováveis no sector doméstico em Portugal.

De acordo com a mais recente atualização do Inventário Nacional de Emissões de 2014 (relativo ao ano 2012), as emissões de GEE (Gases com Efeito de Estufa), sem contabilização das emissões de alteração do uso do solo e florestas, são estimadas em cerca de 68,8 milhões de toneladas de CO₂, representando um aumento de 13.1% face a 1990 (figura 2) [12].

Verifica-se, portanto, uma crescente preocupação a nível nacional em diminuir o consumo energético e por consequência a libertação de gases de estufa fazendo assim sentido criar soluções como o iPlug que contribuem para a diminuição do consumo energético e dos GEE's.

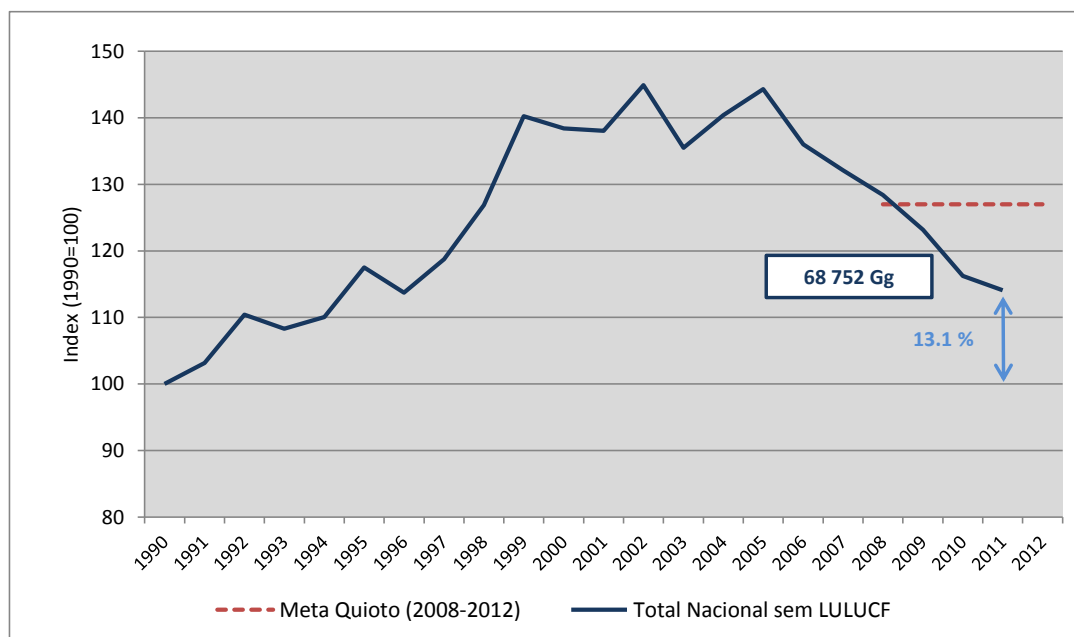


Figura 2 - Evolução das emissões nacionais de Gases com Efeito de Estufa (GEEs) (s/ LULUCF) retirada de Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (NIR 2014 – emissões 2012)

2.3 Consumo de energia elétrica em Portugal

Segundo dados das entidades DGEG/MAOTE, PORDATA em Portugal foram consumidos um total de 46.272.307.086 KWh no ano de 2013 [13]. Ao longo dos anos, desde 1994 a 2010, na sua generalidade, o consumo de energia elétrica em Portugal tem aumentado tendo o seu pico no ano de 2010 com um consumo de 50.505.481.187 KWh. Contudo de 2010 a 2013 o consumo total de energia elétrica tem vindo a diminuir.

Define-se como consumo industrial o consumo energético executado por atividades industriais, por consumo doméstico o consumo realizado nas habitações e por consumo não doméstico aquele que é realizado por empresas que não realizam atividades industriais.

O consumo doméstico em Portugal representou, no ano de 2013, cerca de 27% do consumo de energia elétrica, o consumo não-doméstico cerca de 26% e a indústria está no topo, como seria de esperar, com um consumo de cerca de 37%. Estes dados justificam a necessidade de investir em sistemas de monitorização para o sector doméstico e não-doméstico de forma a potenciar a eficiência energética reduzindo o seu consumo e desta forma ajudar a cumprir os compromissos a que Portugal se vinculou.

A figura 3 mostra a evolução do consumo de energia elétrica em Portugal por tipo de consumo ao longo dos anos. Pela análise desta figura podemos verificar que o

consumo doméstico tem aumentado desde 1994 até 2007. Entre 2007 e 2008 há uma ligeira diminuição do consumo, mas volta a aumentar de 2008 a 2010. De 2010 a 2013 o consumo doméstico tem vindo a diminuir aproximando-se do consumo não doméstico.

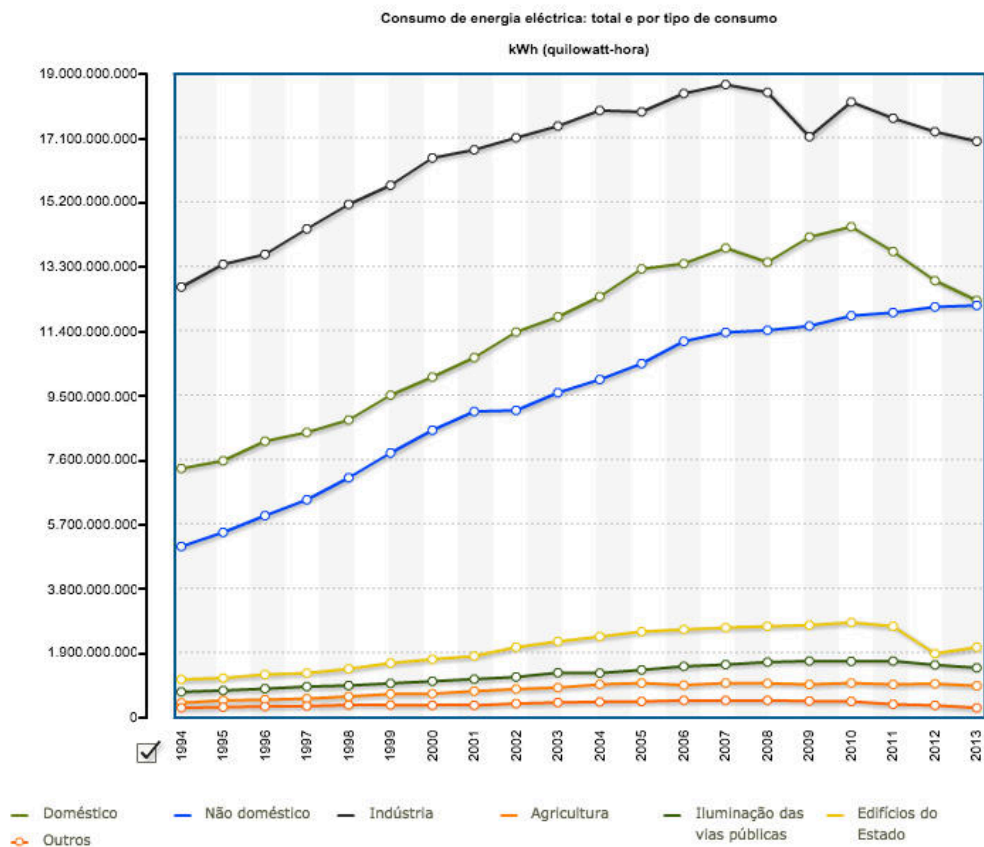


Figura 3 - Consumo de energia eléctrica em Portugal retirada de [13]

2.3.1. Parque habitacional Português

Segundo dados da PORDATA, descritos na tabela 1, podemos verificar que em 2011, dos 3.544.389 edifícios existentes, apenas 510.005 (cerca de 14%) foram construídos após o ano 2000 e 2.475.915 habitações foram construídas anteriormente a 1990 o que representa cerca de 70% das habitações. O parque habitacional está envelhecido e como a grande maioria das habitações são antigas e não foram construídas com fortes preocupações com a eficiência energética é necessário que os sistemas de monitorização como iPlug encaixem nas tomadas elétricas genéricas e que podem ser usadas em qualquer habitação [14]. A Tabela 1 mostra a evolução dos dados do número de edifícios em Portugal e a sua evolução ao longo do tempo.

Anos	Época de construção								
	Total	Anterior a 1919	1919 - 1945	1946 - 1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2011
1981	2.507.706	643.059	482.791	406.003	354.226	621.627	//	//	//
1991	2.861.719	461.889	427.531	392.042	395.880	511.200	673.177	//	//
2001	3.160.043	253.880	344.936	357.042	395.262	553.349	648.930	606.644	//
2011	3.544.389	206.343	305.696	387.340	408.831	588.858	578.845	558.471	510.005

Tabela 1 - Edifícios segundo os Censos: total e por época de construção – Portugal retirada de PORDATA

2.4 IoT Internet das Coisas – Internet of Things

A Internet das Coisas (IoT) define-se como uma rede de objetos físicos ligados à Internet que contêm tecnologia embebida para interagir internamente ou com o ambiente externo.

No artigo “The Internet of Things: A Survey” de Luigi Atzori ^a, Antonio Iera ^b, Giacomo Morabito o paradigma da Internet das Coisas é referido como o resultado da convergência de diferentes visões: visão orientada para as coisas, visão orientada para a Internet e a visão orientada para a semântica. [15]

Segundo o mesmo artigo a Internet das Coisas significa semanticamente uma rede global de objetos interligados que possuem um endereço único baseado em protocolos de comunicação standard (figura 4).

A visão orientada para as coisas centra-se nos dispositivos inteligentes e autónomos que utilizam tecnologias como o NFC e RFID que são objetos usados no nosso quotidiano.

A visão orientada para a Internet centra-se na ideia de manter os dispositivos ligados à rede, possuindo um endereço único e utilizando protocolos standards.

A visão orientada para a semântica por sua vez centra-se no armazenamento, procura e organização da informação gerada pela IoT procurando criar soluções de modelação de dados e arquiteturas de ambiente para tratar de forma eficiente a informação gerada.

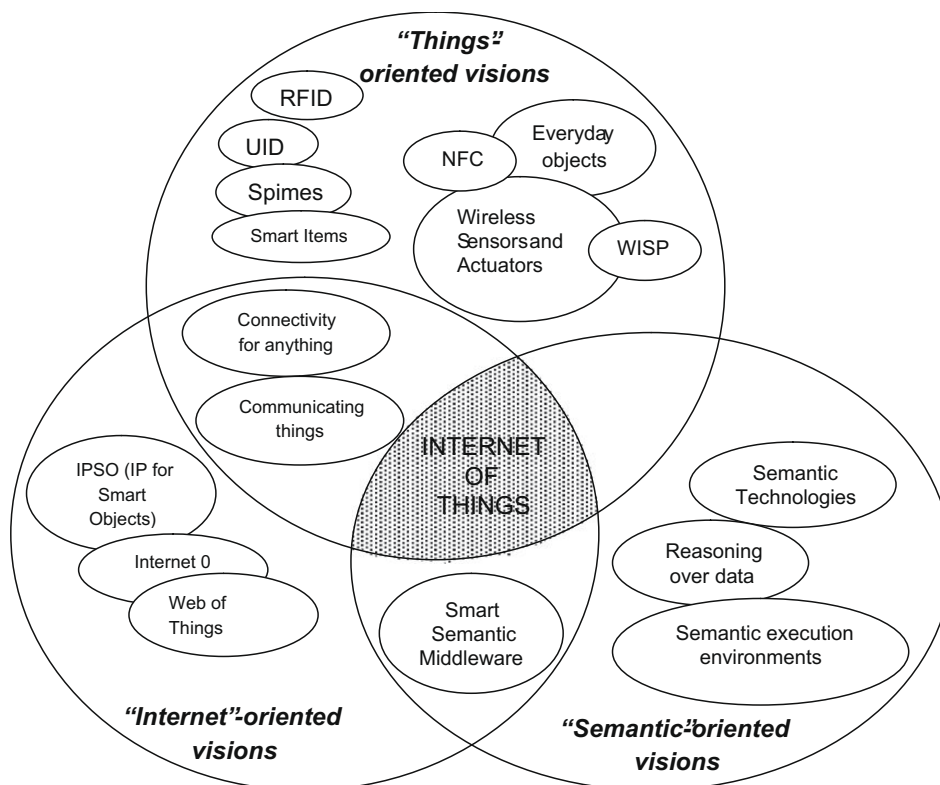


Figura 4 - Visões do paradigma da Internet das Coisas retirado de [12]

2.4.1. Evolução da Internet das Coisas

Segundo dados da Cisco a Internet das Coisas está em plena evolução no desenvolvimento da Internet. Em 1990 a Internet ligava 1 mil milhões de utilizadores e em 2000 2 mil milhões. E tem o potencial para ligar 50 mil milhões de dispositivos em 2020, ou seja 6,6 vezes a população mundial, segundo a Cisco ISBG (figura 5) [16].

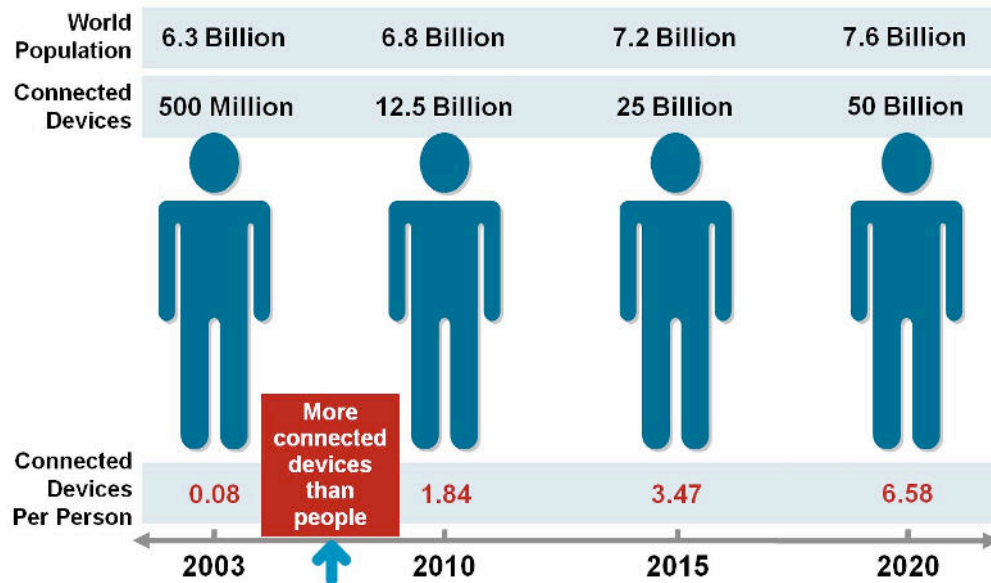


Figura 5 - Número de dispositivos conectados por pessoa ao longo do tempo e à escala global retirado de [16]

2.4.2. S-E-N-S-E

A IoT possui atributos chave que a distinguem da Internet regular que todos conhecemos tal como foi referido pela Goldman Sachs's S-E-N-S-E framework: *Sensing, Efficient, Networked, Specialized, Everywhere* [17].

S-E-N-S-E refere-se às principais funcionalidades incorporadas na Internet das Coisas. Estas funcionalidades são a funcionalidade sensorial de forma a adquirir informação meio ambiente onde o dispositivo IoT é colocado, eficiência que se pretende com a adição de inteligência transformando tarefas manuais em processos automáticos, a ligação à rede, construção de dispositivos específicos para cada situação e estarem presentes e acessíveis em qualquer local.

Algumas das mudanças tecnológicas mais significativas que permitiram o aumento exponencial da Internet das Coisas são:

- Descida do preço dos sensores;
- Largura de banda económica;
- Descida do preço do processamento;
- Smartphones;
- Cobertura de rede sem fios permanente;
- Big Data;
- IPv6;

S-E-N-S-E	What the Internet of Things does	How it differs from the Internet
S ensing	Leverages sensors attached to things (e.g. temperature, pressure, acceleration)	More data is generated by things with sensors than by people
E fficient	Adds intelligence to manual processes (e.g. reduce power usage on hot days)	Extends the Internet's productivity gains to things, not just people
N etworked	Connects objects to the network (e.g. thermostats, cars, watches)	Some of the intelligence shifts from the cloud to the network's edge ("fog" computing)
S pecialized	Customizes technology and process to specific verticals (e.g. healthcare, retail, oil)	Unlike the broad horizontal reach of PCs and smartphones, the IoT is very fragmented
E verywhere	Deployed pervasively (e.g. on the human body, in cars, homes, cities, factories)	Ubiquitous presence, resulting in an order of magnitude more devices and even greater security concerns

Source: Goldman Sachs Global Investment Research.

Tabela 2 - S-E-N-S-E retirada de Goldman Sachs Global Investment Research

2.4.3. Aplicações da Internet das coisas

No artigo *The Internet of Things: A Survey* de Luigi Atzori, Antonio Iera, Giacomo Morabito são descritos vários tipos de aplicações da IoT como se mostra na figura 6. Neste artigo são referenciadas várias aplicações em 5 áreas, sendo elas o transporte e logística, cuidados de saúde, ambientes inteligentes, pessoal e social e futurismo [18].

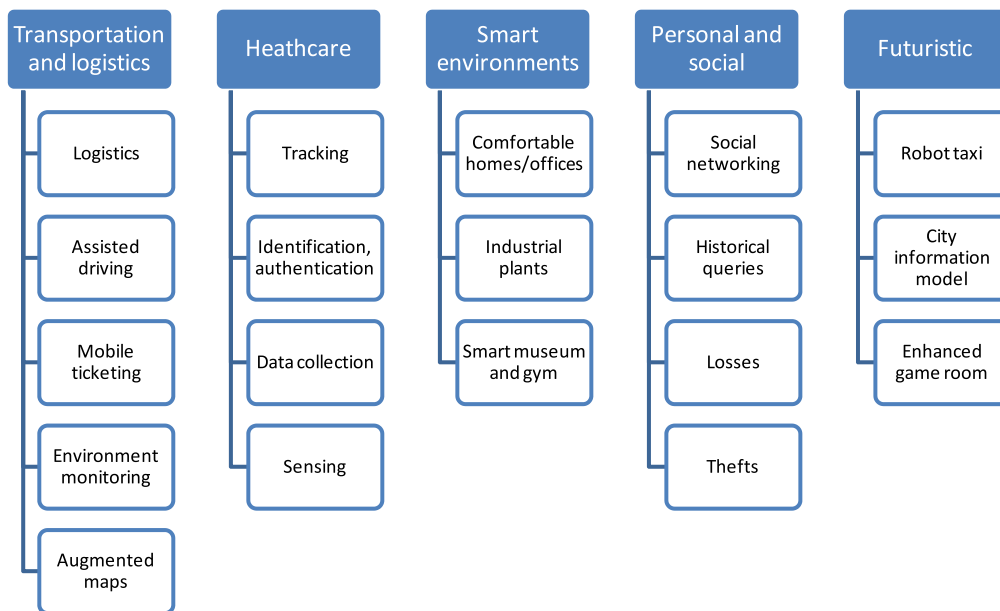


Figura 6 - Aplicações da Internet das Coisas retirada de [18]

2.4.4. Semântica para a Internet das Coisas

No artigo “Semantics for the Internet of Things: early progress and back to the future “ de Payam Barnaghi, Wei Wang, Cory Henson e Kerry Taylor é descrita a Hierarquia do Conhecimento no contexto da IoT[19].

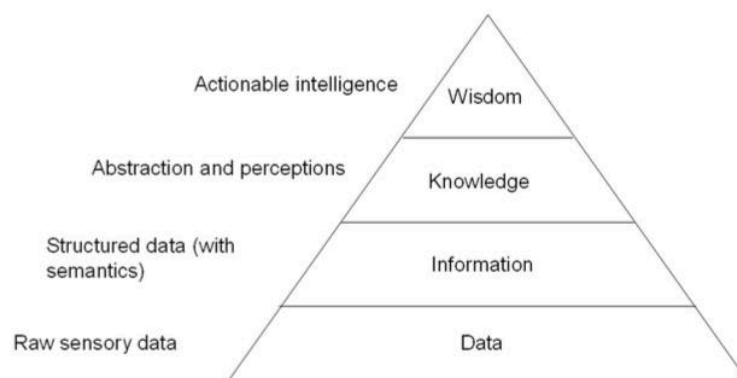


Figura 7 - Hierarquia da aquisição de conhecimento retirada de [19]

A base da pirâmide refere-se aos dados recolhidos pelos dispositivos e o degrau acima refere-se à estruturação e armazenamento desses dados. Contudo necessitamos de conhecimento abstrato e de perceções que sejam compreendidas pelas máquinas e pelo ser humano, é a isso que se refere o terceiro degrau. O degrau mais alto refere-se à transformação desse conhecimento abstrato em ações inteligentes que permitem criar soluções completas. A pirâmide referida anteriormente é representada na figura 7.

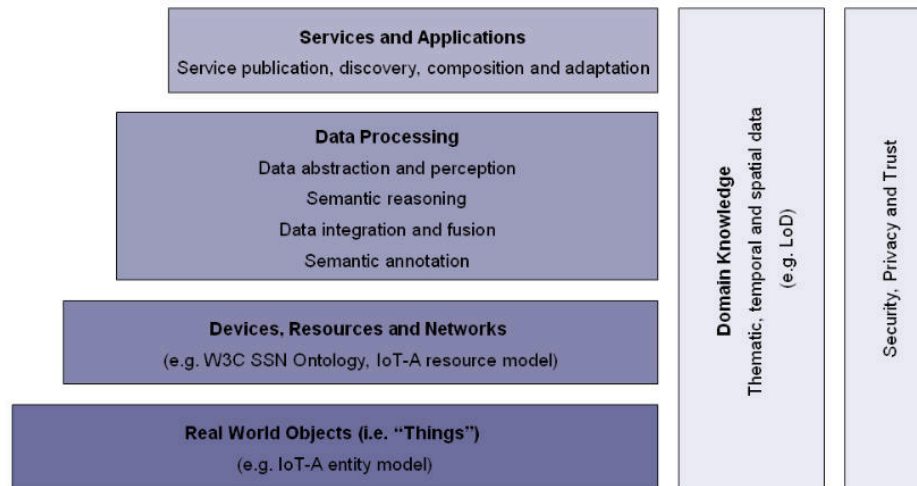


Figura 8 - Semântica em diferentes níveis da Internet das coisas retirada de [19]

A figura 8, também presente no artigo “Semantics for the Internet of Things”, mostra como a semântica pode ser usada em diferentes níveis da Internet das Coisas transformando dados e recursos recolhidos por objetos reais (coisas) em serviços e aplicações completas.

2.4.5. O papel do Smartphone na Internet das coisas

O Smartphone ocupa um lugar muito especial na Internet das Coisas. Segundo o artigo “From the Internet of Computers to the Internet of Things” de Friedemann Mattern e Christian Floerkemeier o smartphone funciona muitas vezes como mediador entre as pessoas, as coisas e a Internet tal como se mostra na figura 9 [20].

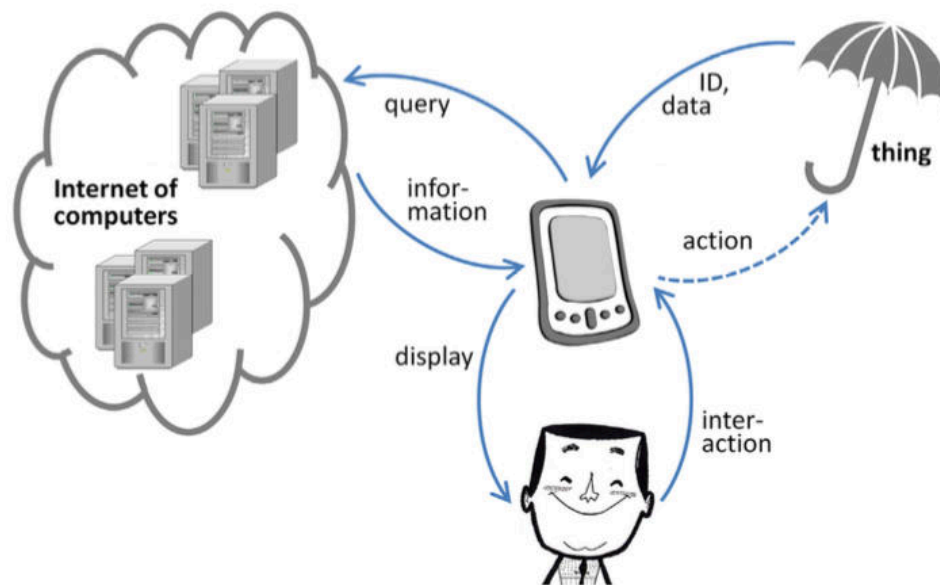


Figura 9 - O Smartphone como mediador do uso da Internet das coisas retirado de [20]

O utilizador recorre ao smartphone para visualizar a informação e controlar dispositivos inteligentes. A Internet das Coisas pode apenas funcionar se os dispositivos conseguirem comunicar uns com os outros através da Internet e para tal a organização ALLSeen Alliance tem por objetivo que indústrias como a Cisco, Sharp e Panasonic criem produtos com protocolos de comunicação compatíveis.

São muitas as vantagens da IoT sendo as mais evidentes o aumento da produtividade e da qualidade de vida das pessoas. Também no aspeto da eficiência energética a Internet das Coisas pode ajudar a diminuir os consumos energéticos com recurso a monitorização e controlo.

As desvantagens centram-se no facto de alguns dispositivos “wearables” suscitam problemas de privacidade e segurança e da existência problemas de comunicação entre dispositivos de marcas diferentes.

A aplicação iPlugMobile permite também ao utilizador interagir com o sistema iPlug de forma a visualizar a informação e controlar o(s) dispositivo(s) a ela ligado(s).

2.5 Trabalhos relacionados

Esta secção visa abordar trabalhos relacionados com o iPlug, identificando as suas características, nomeadamente as suas vantagens e desvantagens.

A monitorização de consumos de energia eléctrica pode ser executada com recurso a métodos intrusivos e a métodos não intrusivos.

Nos métodos não intrusivos, como é o caso do Efergy que é abordado no ponto 2.5.1 a recolha valores de consumo de cada dispositivo eléctrico é realizada através de uma pinça amperimétrica que abraça o cabo eléctrico não havendo contacto com o metal do fio.

Os métodos intrusivos pressupõem a instalação de sensores para recolha de dados em cada um dos aparelhos alvo de medição. Estas medições são realizadas através de dispositivos que encaixam nas tomadas eléctricas existentes como é o caso do dispositivo Cloogy e EDP RE:DY que são abordados nos pontos 2.5.2 e 2.5.3 respetivamente, bem como o da solução iPlug, ou por total substituição das tomadas comuns.

De seguida são apresentados os sistemas Efergy, Cloogy e EDP RE:DY que permitem monitorizar e controlar equipamentos remotamente, tal como o iPlug.

2.5.1. Efergy

A Efergy é um fabricante mundial de produtos dirigidos à poupança de energia. A sua denominação significa “eficiência energética” e permite ao utilizador reduzir a sua utilização de energia eléctrica, poupar dinheiro e a melhorar o seu impacto no ambiente [21].

A gama principal de produtos é representada pelos monitores de energia eléctrica “sem fios”, de fácil instalação e utilização. Estes monitores permitem uma visualização instantânea do consumo de energia eléctrica.

A figura 10 pretende mostrar a funcionalidade do Efergy, o preço desta solução é 100€.



Figura 10 - Funcionamento do Efergy retirado de [21].

O sensor com pinça amperimétrica é instalado no contador da eletricidade e a mesma é ligada ao dispositivo transmissor que recolhe dados sobre os consumos globais da habitação. Estes dados são enviados para o monitor, onde podem ser visualizados. O processo referido anteriormente está referido na figura 10.

De forma a permitir o acesso aos consumos online a efergy possui um dispositivo denominado por engageHub que recebe os dados do transmissor e é através conectado ao router de Internet com interface da porta Ethernet RJ45. O preço desta solução é 80€ corresponde ao engageHub (figura 12) a que se somam 100€ referente ao transmissor e sensor.

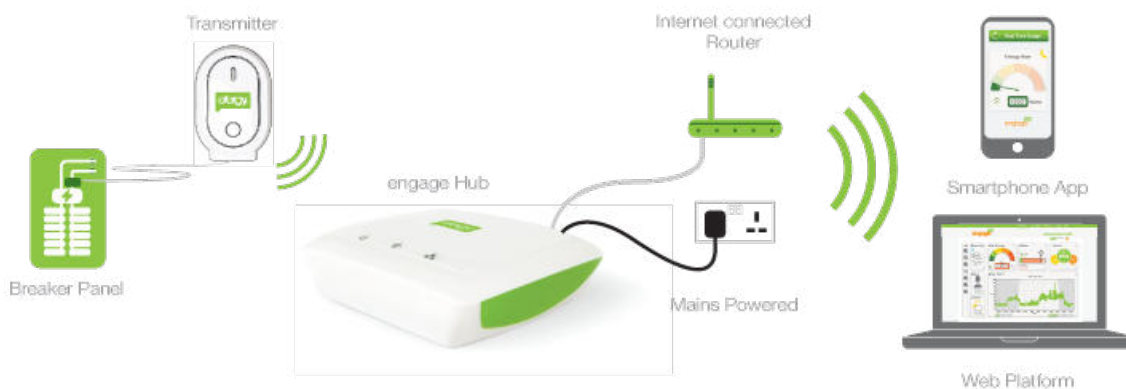


Figura 11 – EngageHub retirada de [21]

Vantagens	Desvantagens
Instalação simples	Tecnologia Ethernet
Preço	Não permite enviar comandos ON/OFF de forma a ligar e desligar equipamentos
Acesso via aplicação móvel	Os relatórios apenas permitem o detalhe do consumo por hora;
Opção de monitorização offline e online	Tecnologia Ethernet
	Vários componentes de Hardware

Tabela 3 - Vantagens e Desvantagens do sistema Efergy

O sistema efergy possui fácil instalação é necessário apenas abraçar uma fase elétrica no quadro de eletricidade, possui um preço não muito elevado e o utilizador pode ter acesso aos dados através do monitor ou através da aplicação móvel e Web.

Por outro lado, tem como desvantagem utilizar tecnologia Ethernet que é uma ligação com cabos, não permite o controlo ON/OFF de dispositivos elétricos e os relatórios apenas apresentam o detalhe de consumo por hora.

Esta solução também não possui tomadas inteligentes de forma a saber o consumo individual de um determinado dispositivo. Outra desvantagem é que a solução possui vários componentes de Hardware, tais como sensor, transmissor, monitor e router que tem de ser instalados e configurados.

2.5.2. Cloogy

O Cloogy® é uma solução de gestão energética que permite monitorizar e controlar o consumo total de uma casa e a energia produzida através de um sistema de micro-geração. Monitoriza ainda o consumo dos equipamentos elétricos de forma individual, permitindo controlar o horário de funcionamento de cada um deles, através das Tomadas Inteligentes [22]. O Cloogy® combina dispositivos de recolha de dados com plataformas de visualização e controlo, disponíveis através do computador, *smartphone*, *tablet* ou de um Monitor.

O sensor com pinça amperimétrica é instalado no contador da eletricidade e a mesma é ligada ao dispositivo transmissor que recolhe dados sobre os consumos globais da habitação. Possui também tomadas inteligentes que recolhem dados de consumo dos equipamentos ligados às mesmas. Todos os dados são, posteriormente, enviados para um Concentrador que os remete para as várias plataformas de monitorização. Este processo é ilustrado na figura 13. É também possível ligar ou desligar os aparelhos elétricos à distância e agendar o seu funcionamento. O preço da solução Cloogy é 285€.

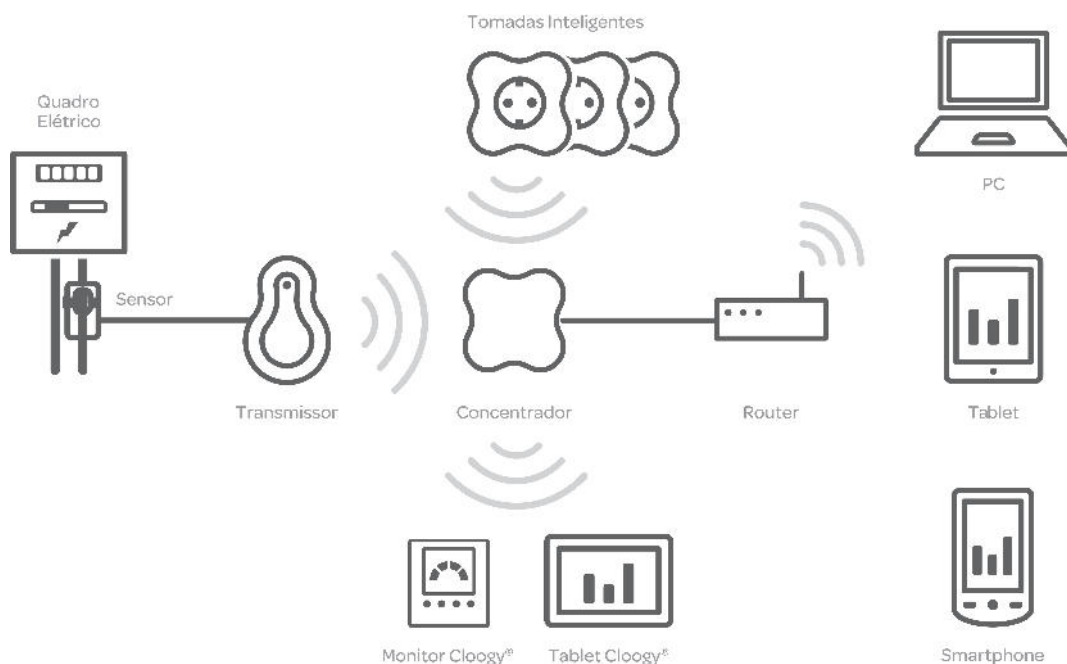


Figura 12 - Componentes do sistema Cloogy retirado de [22]

Vantagens	Desvantagens
Instalação simples	Tecnologia Ethernet
Acesso via aplicação móvel	Preço
Comando ON/OFF	Vários componentes de hardware
Tomadas inteligentes	

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens do sistema Cloogy

O sistema Cloogy possui fácil instalação é necessário apenas abraçar uma fase elétrica no quadro de eletricidade ou introduzir a tomada inteligente na tomada genérica. O utilizador pode ter acesso aos dados através do monitor ou através do Portal Web e da aplicação móvel, permite ainda o controlo de dispositivos à distancia . Por outro lado, tem como desvantagem utilizar tecnologia Ethernet que é uma ligação com cabo e o preço elevado. A solução possui também vários componentes de Hardware, tais como sensor, transmissor, monitor e router que tem de ser instalados e configurados.

2.5.3. EDP RE:DY

O re:dy é um serviço de monitorização do consumo elétrico residencial que permite visualizar e controlar o consumo de equipamentos elétricos através de um smartphone, tablet ou PC. [23]

Este serviço foi desenvolvido pela EDP e possui controlo distância de equipamentos elétricos . Esta solução permite programar o controlo de equipamentos e receber alertas que são configurados pelo utilizador.



Figura 13 - Publicidade EDP RE:DY retirado de [23]

Possui também tomadas inteligentes que recolhem dados de consumo dos equipamentos ligados às mesmas, ilustradas na figura 13. Todos os dados são, posteriormente, enviados para um Concentrador que os remete para as várias plataformas de monitorização. O preço desta solução é 99€ + 5€ por mês.

Vantagens	Desvantagens
Instalação simples	Tecnologia Ethernet
Preço	Preço
Acesso via aplicação móvel	Vários componentes de hardware
Comando ON/OFF	Renda Mensal
Alertas	

Tabela 5 - Vantagens e desvantagens do sistema Cloogy

Este sistema EDP RE:DY possui fácil instalação basta apenas introduzir a tomada inteligente na tomada genérica, o utilizador pode ter acesso aos dados através do monitor ou através do Portal Web e da aplicação móvel, permite ainda o controlo de dispositivos à distancia. A grande vantagem deste sistema é a criação de alertas e a programação do funcionamento dos dispositivos. Por outro lado, embora tenha um bom preço possui uma renda mensal.

2.6 Resumo das diferentes soluções

Após a análise das três principais soluções do mercado português há que citar que o modelo de funcionamento é basicamente idêntico em ambas. De modo geral existem componentes que fazem a monitorização e enviam a informação para o dispositivo central. Este dispositivo central faz todo o processamento e pode ou não estar conectado à rede de forma a permitir a atualização de dados em tempo real.

A solução Efergy é uma solução direcionada para a componente de monitorização, mas não tem suporte para controlo de ON/OFF. Há também que citar que não existe uma solução que concentre todos os componentes numa tomada inteligente e que funcione sem dispositivo central havendo espaço no mercado para a solução iPlug. A tabela 5 pretende fazer um comparativo entre as soluções analisadas e o iPlug.

	iPlug	Efergy	Cloogy	EDP RE:DY
ALL IN ONE	✓	X	X	X
Ligação à Internet Wifi	✓	X	X	X
Ligação à Internet RJ45	X	✓	✓	✓
Controlo ON/OFF	✓	X	✓	✓
Tomadas inteligentes	✓	X	✓	✓
Alertas	X	X	X	✓
Aplicação Móvel/Web	✓	✓	✓	✓
Aplicação Web	✓	✓	✓	✓
Renda	X	X	X	✓

Tabela 6 - Comparativo das soluções analisadas

CAPÍTULO 3. TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Neste capítulo são analisados os componentes do sistema de monitorização iPlug. Começa-se por abordar a plataforma de sistema embebido Arduino e seguidamente são analisados os componentes ligados ao mesmo, nomeadamente o módulo de ligação Wi-Fi ESP8266, o sensor de corrente ACS712, e por último o sensor de tensão que foi dimensionado e construído para o efeito.

3.1 Sistema Embebido Arduino

O Arduino é uma plataforma de código fonte livre para desenvolvimento de projetos de eletrónica. Esta plataforma surge em Itália com o objetivo de criar um dispositivo para prototipagem menos dispendioso dos existentes no mercado [24].

O projeto é baseado em desenhos de placa de microcontroladores fabricados principalmente pela empresa SmartProjects na Itália, e também por vários outros fornecedores, usando vários microcontroladores Atmel AVR com processadores de 8 bits ou processadores ARM de 32 bits.

As placas de Arduino fornecem conjuntos de pinos, que correspondem a entradas e saídas, analógicas ou digitais, que permitem a ligação a outros componentes, tais como as placas de expansão (Shields), entre outros circuitos. As placas possuem interfaces de comunicação serial, incluindo USB em alguns modelos, para carregamento de programas.

A figura 14 pretende descrever os componentes mais importantes das placas de desenvolvimento Arduino [25]:

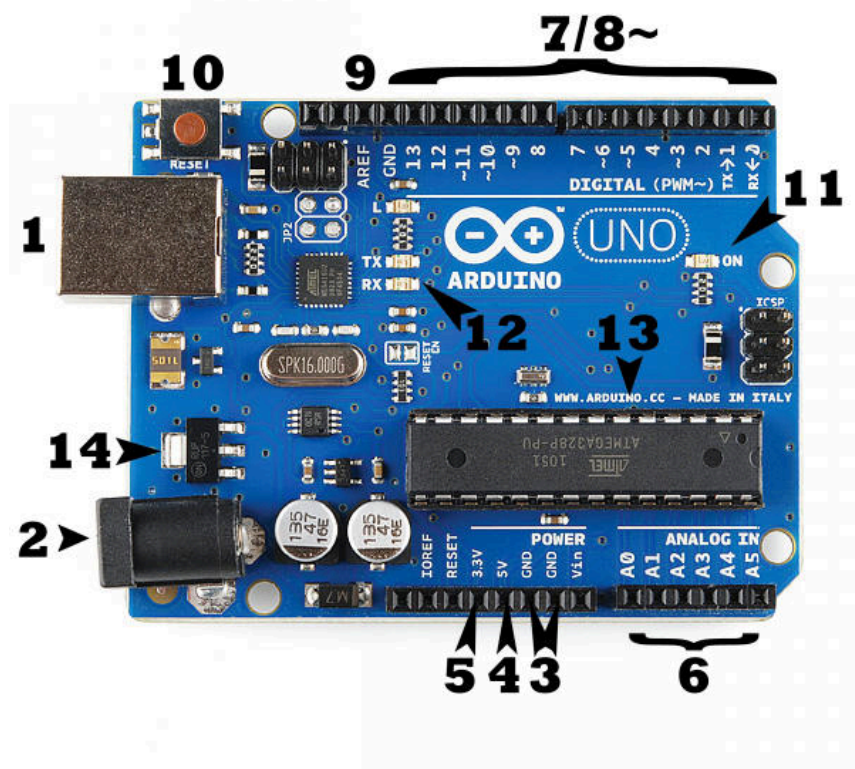


Figura 14 - Arduino UNO R3 retirada de [25]

Seguidamente descrevem-se os componentes mais importantes deste microcontrolador:

1 – Ligação para cabo USB com função de alimentação, de carregamento de código e comunicação;

2 –Jack para alimentação. A tensão recomendada para a maioria dos modelos Arduino é entre 6 e 12 Volts.

3 - GND: Abreviação de 'terra'. Existem vários pinos GND no Arduino, e qualquer um dos quais pode ser usado para o circuito de terra.

4 - 5V e 5 - 3.3V: tensão de saída de 5V e 3.3V que correspondem à tensão de alimentação da maioria dos actuadores e sensores.

6- Portas analógicas (6): pinos A0 a A5 na versão UNO podem ler o sinal de um sensor analógico e convertê-lo em um valor digital na maioria das placas entre 0 e 1023, podendo também ser usados como entradas ou saídas digitais.

7 – Portas Digitais: pinos 0 a 13 na versão UNO, podem ser usados tanto para ler sinais digitais como para controlar uma saída digital para, por exemplo, ligar ou desligar um LED.

8 – Portas PWM: os pinos digitais onde se observa o til (~) correspondem a portas de modulação por largura de pulso (Pulse Width Modulation - PWM) que podem ser usadas como portas digitais normais, mas também podem ser usadas para modulação por largura de pulso.

9 - AREF: pino de referência analógica. Na maioria das utilizações este pino não é utilizado, mas pode ser usado para definir uma tensão de referência externa de 0-5 Volts como o limite superior para os pinos de entrada analógica.

10 - Botão de Reset: botão que ao ser pressionado permite a reinicialização da placa de desenvolvimento Arduino.

11 - LED indicador de alimentação.

12 - TX e RX LEDs : estes led's permitem sinalizar luminosamente quando a placa Arduino está a enviar ou a receber dados, respetivamente.

13 –Processador Atmel: microcontrolador que funciona como a unidade de processamento central do sistema.

14 – Regulador de tensão: controla e mantém a tensão estável para alimentação dos componentes da placa.

Existe uma vasta gama de placas de desenvolvimento Arduino pensadas para vários tipos de aplicações, que variam quer em tamanho quer em funcionalidades, tais como UNO, Nano, Mega, Leonardo e Micro (figura 15). Na construção do sistema iPlug, o sistema embebido utilizado foi a versão UNO, pois possui um número de entradas analógicas e digitais adequadas, mas também devido ao preço.

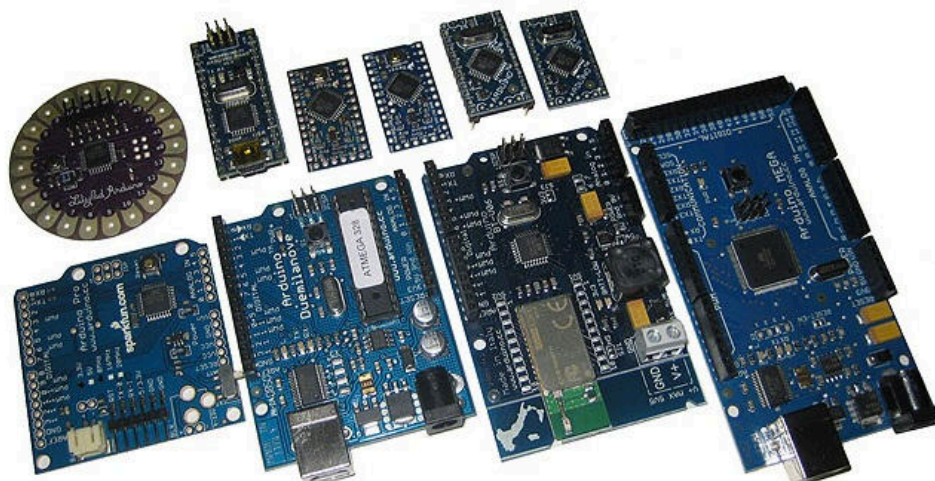


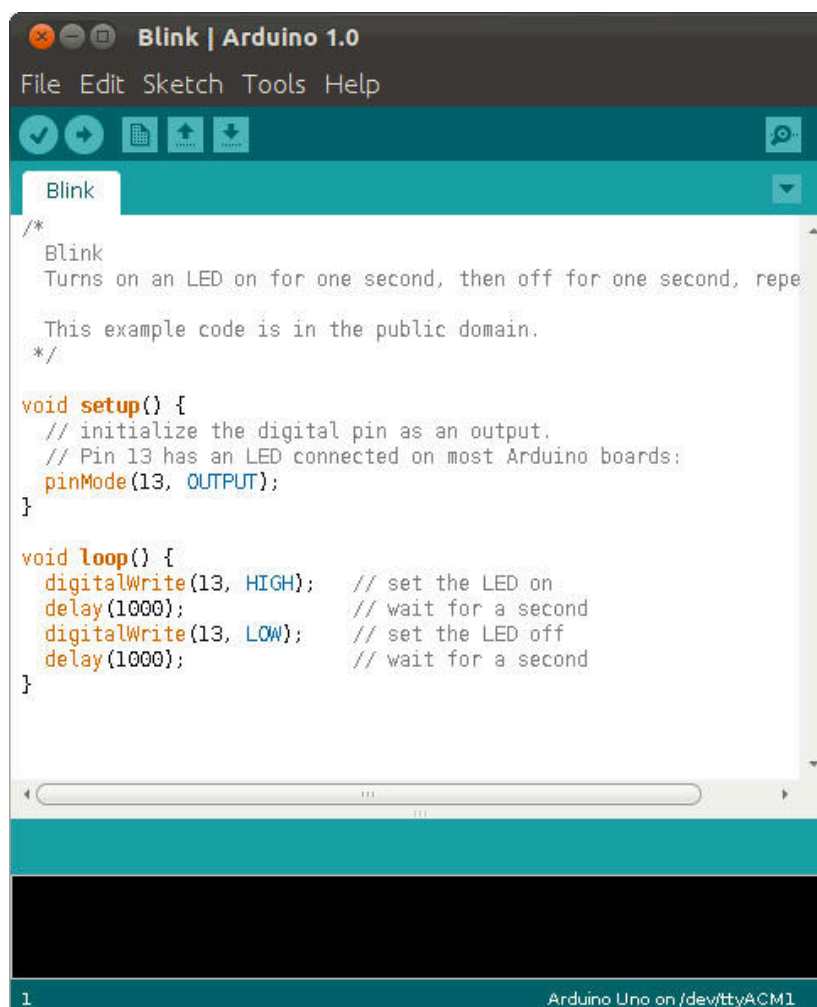
Figura 15 - Gama de placas de desenvolvimento Arduino retirada de Arduino.CC

Para a programação dos microcontroladores, a plataforma Arduino fornece um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) denominado por Arduino IDE que inclui suporte para as linguagens de programação C e C ++ [26]. Este IDE é escrito em JAVA e está disponível para Windows, MAC OS e Linux. Foi este o IDE utilizado na programação do firmware do sistema iPlug. Para além deste IDE existem outros IDE's como por exemplo o AVR Studio ou Atmel Studio. É também possível utilizar o Visual Micro que acrescenta a possibilidade de desenvolver programas para Arduino no Visual Studio.

Para desenvolver programas executáveis é necessário definir duas funções:

- **setup ()**: uma função que se executa uma única vez no início de um programa onde se pode, por exemplo, inicializar configurações, inicializar variáveis, definir funcionalidade dos pinos. Em resumo neste método é onde se programam as condições iniciais do sistema.
- **loop ()**: uma função que, quando termina, volta sempre ao início funcionando como um loop infinito, onde são definidas as funcionalidades do sistema.

A maioria das placas de desenvolvimento Arduino possui um LED ligado ao pino 13. Na figura 16 é ilustrado o ambiente de desenvolvimento integrado ARDUINO IDE com o código fonte correspondente a um programa executável para fazer piscar o LED de 1 em 1 segundo.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE software. The window title is "Blink | Arduino 1.0". The menu bar includes "File", "Edit", "Sketch", "Tools", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with icons for saving, undo, redo, opening a file, and uploading. The main text area contains the following code:

```
/*
 * Blink
 * Turns on an LED on for one second, then off for one second, repe
 *
 * This example code is in the public domain.
 */

void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  // Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards:
  pinMode(13, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // set the LED on
  delay(1000);           // wait for a second
  digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
  delay(1000);           // wait for a second
}
```

At the bottom of the window, there is a status bar that reads "1" on the left and "Arduino Uno on /dev/ttyACM1" on the right.

Figura 16 - ARDUINO IDE

No IDE é possível compilar código e depois carregá-lo na placa de desenvolvimento Arduino via ligação USB. Para tal é necessário configurar a versão da placa de desenvolvimento, no caso Arduino UNO, e a porta que a placa está a utilizar na comunicação.

3.2 Módulo Wi-Fi ESP8266

Esta secção analisa o módulo de ligação à internet WI-FI ESP8266, que é um módulo Wi-Fi de baixo custo e de reduzidas dimensões que permite ligar um microcontrolador Arduino à Internet via UART conexão série, mas também pode ser programado para funcionar isoladamente [27]. Este módulo é de baixo custo, pois o seu valor de mercado ronda os 5€, contrastando com a concorrência tais como a Arduino Wifi shield que tem um preço médio de 80€ e da Sparkfun Wifly Shield que o preço é superior a 70€. Possui também reduzidas dimensões como se pode observar na figura 17, onde o módulo é comparado com uma moeda de 1 dólar americano. O ESP8266 é utilizado no iPlug de forma a permitir a sua ligação à Internet via Wi-Fi, podendo trabalhar como ponto de acesso ou como cliente. O conjunto completo das suas especificações técnicas encontram-se no anexo A. Este módulo é eficiente a nível energético, no anexo A.1 são referidos os dados do seu consumo energético, é resistente a interferências, no anexo A.2 é referida a performance de transmissão de dados. No anexo A.3 são referidas normas de segurança e as instruções para ligação do módulo ao microcontrolador.

Este módulo possui diversas aplicações das quais se destacam as seguintes:

- Domótica e controlo industrial sem fios
- Dispositivos de monitorização
- Wearables
- Sistema de localização via Wi-Fi

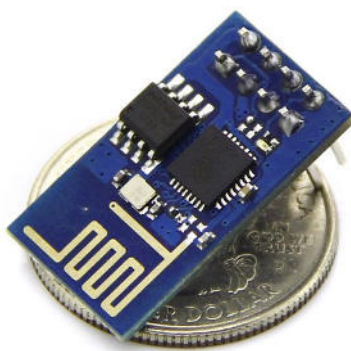


Figura 17 - Módulo Wi-Fi retirado de <http://wsnblog.com/>

A maioria dos routers apenas permitem o acesso a 32 dispositivos simultaneamente assim sendo é necessário encontrar soluções para situações em que este número é ultrapassado. Por exemplo se num edifício existir a necessidade de instalação de 50 sistemas iPlug a solução é adicionar pontos de acesso (AP's) pois não só se aumenta o número de dispositivos como acesso à Internet mas também se aumenta a área de cobertura.

A conexão entre o Arduino e o módulo Wi-Fi é realizada através de ligação por porta série e a comunicação é realizada através de comandos AT.

A tabela 7 mostra um exemplo ilustrando como se definem, questionam, testam e executam comandos AT no ESP8266. Na primeira linha é definida a sintaxe dos comandos AT e na segunda linha é referido um exemplo prático com o comando AT "CWMODE". A lista de comandos AT que se podem usar com o ESP8266 encontra-se no anexo A.4.

	Definir	Questionar	Testar	Executar
Sintaxe	AT+<x>=<...>	AT+<x>?	AT+<x>=?	AT+<x>
Exemplo	AT+CWMODE =<mode>	AT+CWMODE?	AT+CWMODE=?	AT+CWMODE=2
Descrição	Define modo de rede	Verifica o modo de rede atual	Retorna os estados possíveis	Modo de funcionamento como ponto de aceso

Tabela 7 - Utilização dos comandos AT

O ESP8266 pode ser testado ligando-se fisicamente a um computador através de um conversor UART/USB. No computador pode-se usar, por exemplo, uma aplicação que permita a comunicação por porta série, como o Putty (Windows), SSH (Linux, Mac), ou uma aplicação emuladora de um Terminal.

Usando o Putty como exemplo, seleccionamos a porta COM e deixamos todas as configurações pré-definidas como é ilustrado na Figura 18.

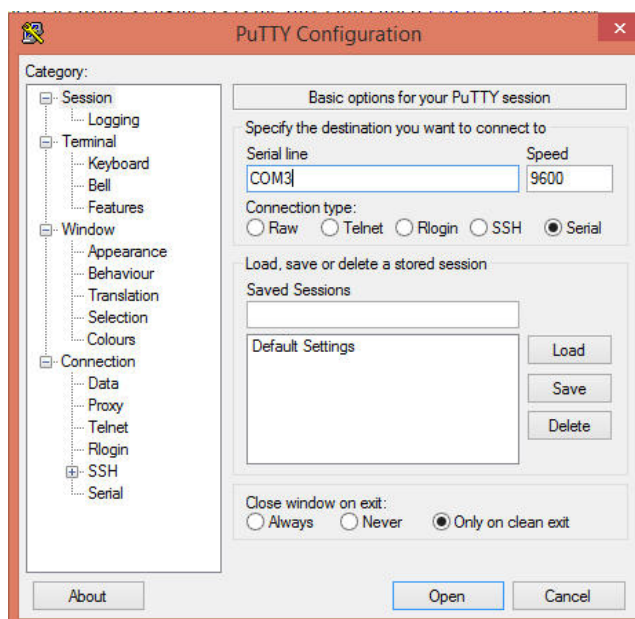


Figura 18 - Configuração do Putty

Logo após alimentarmos o ESP8266 a seguinte frase é mostrada no terminal, confirmando o sucesso da comunicação:

```
[Vendor:www.ai-thinker.com Version:0.9.2.4]
```

```
ready
```

O ESP8266 cria automaticamente uma rede Wi-Fi como o nome ESP_XXXXX. No anexo A.5 são referidos os testes de funcionamento com comandos AT realizados de forma a compreender o funcionamento do módulo Wi-Fi. Devido ao fato deste módulo estar em constante evolução e sendo lançadas regularmente novas versões de firmware é necessário saber atualizar o módulo. O processo de atualização do módulo é referido no anexo A.6.

3.3 Sensor de Corrente ACS712

Nesta seção é analisado o chip ACS712 que é utilizado no iPlug para medir a corrente consumida pelo(s) dispositivo(s) a ele ligado(s). O ACS712 é um circuito integrado desenvolvido pela Allegro MicroSystems que permite medir corrente e pode ser utilizado em diversas aplicações. Para o iPlug foi utilizado um módulo ACS712 que incorpora esse chip assim como toda a lógica necessária para o ligar diretamente a um microcontrolador (figura 19) [28]. As características técnicas do circuito integrado são descritas ao pormenor no anexo B.

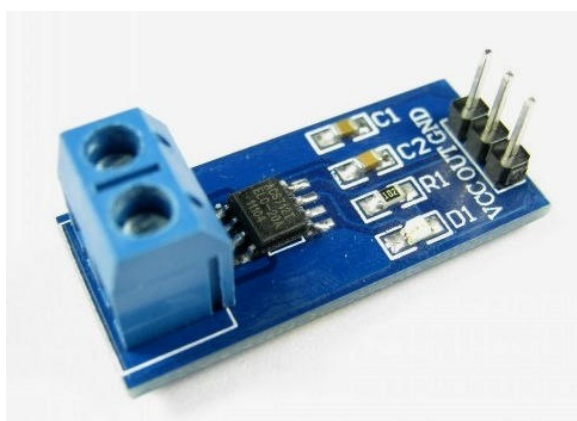


Figura 19 - ACS712 retirada de Sparkfun

O ACS712 apresenta muitas qualidades das quais se destacam o fato de ser económico, preciso e medir em AC (Corrente alternada) e DC (Corrente contínua) segundo o princípio de Efeito de Hall.

O Efeito de Hall, descoberto em 1889 por Edwin Hall, é uma propriedade que se manifesta num condutor quando é aplicado sobre ele um campo magnético perpendicular ao fluxo da corrente produzindo uma diferença de potencial no condutor denominada de Tensão de Hall. Esta diferença de potencial tem direção perpendicular ao campo magnético e à corrente, e é proporcional à densidade de fluxo magnético e à corrente (figura 20) [29].

A tensão de Hall pode ser medida por um circuito externo como o ACS712 e através dela calcular o valor da intensidade da corrente.

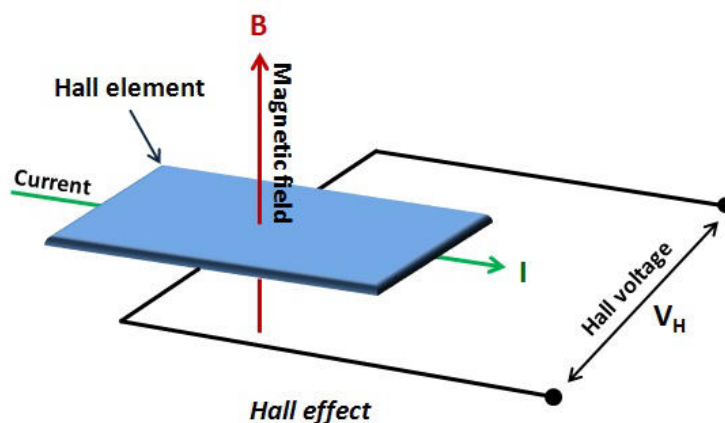
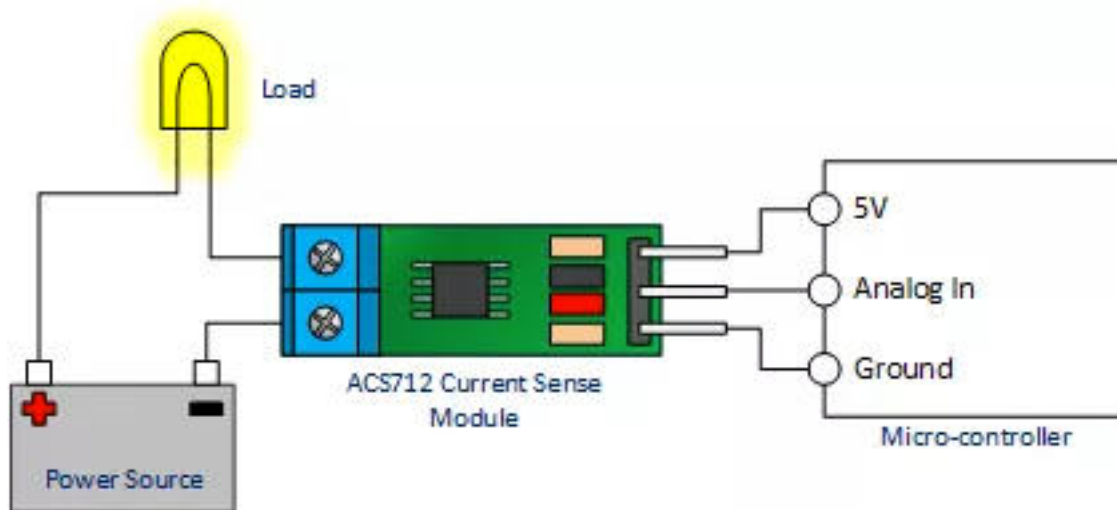


Figura 20 - Efeito de Hall retirada de [29]

Quando é aplicada corrente através do condutor de cobre, um campo magnético é gerado e é detetado pelo elemento de Hall incorporado no módulo ACS712. A força do campo magnético é proporcional à intensidade da corrente, havendo uma relação linear entre a saída da tensão de Hall e da corrente de entrada de condução. O circuito condicionador e filtro on-chip do módulo ACS712 estabiliza o sinal e induz a tensão de Hall para um nível adequado.

A figura 21 exemplifica como se liga o módulo ACS712 ao microcontrolador Arduino e se procede à medição de corrente.

Figura 21 - Ligação ACS712 - Arduino retirada de <http://henrysbench.capnfatz.com/henrysbench/acs712-current-sensor-user-manual/>

Existem três variantes do chip ACS712: ACS712-05B: $\pm 5A$, ACS712-20B: $\pm 20A$, ACS712-30A: $\pm 30A$. As sensibilidades das versões 5A, 20A e 30A são 185mV/A, 100 mV/A e 66 mV/A respetivamente. A versão utilizada para a construção do protótipo iPlug foi a ACS712-20B que permite medir $\pm 20A$ e fornece uma sensibilidade de saída de 66mV/A. Assim, cada aumento 1A na corrente provoca um aumento de tensão de saída de 66 mV. Quando a corrente é nula a tensão de saída é a metade da tensão de alimentação porque a saída do módulo ACS712 é ratiométrica, o que significa que o output e a sensibilidade do chip são proporcionais à tensão de alimentação (VCC).

O fato do módulo possuir uma saída ratiométrica é de grande relevância sendo que a precisão de qualquer conversão analógica para digital (A/D) depende da estabilidade da tensão de referência. A maioria dos microcontroladores possui a tensão de referência para a conversão A/D igual à tensão de alimentação de tal forma que se esta não for estável prejudica a precisão das operações A/D. Contudo se a tensão de referência da porta analógica for igual à do ACS712 então como este chip possui saída ratiométrica este compensa os erros da conversão A/D.

Se a tensão de referência da porta analógica do microcontrolador é 5,0V, o ACS712 é alimentado com 5,0V e a corrente é zero, a saída é $VCC/2 = 2,5V$. Contudo se a tensão de alimentação não for estável e for por exemplo 4,5V, a saída do sensor ACS712 será $4,5/2 = 2,25V$. Podemos concluir que qualquer instabilidade na tensão de referência não afeta as leituras efetuadas na saída do ACS712.

O sistema iPlug irá medir corrente alternada pelo que existem algumas considerações a ter de forma a obter valores corretos de corrente.

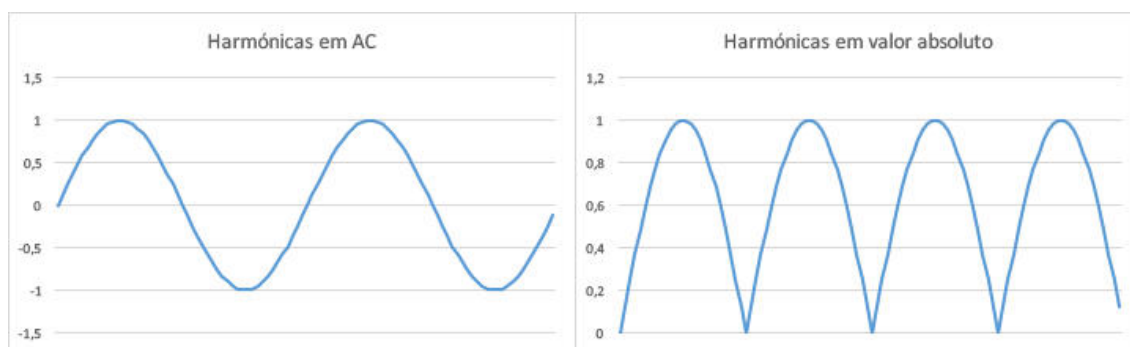


Figura 22 – Harmónicas de corrente contínua em AC e em valor absoluto

De forma a medir corrente alternada com o ACS712 é necessário que o programador tenha atenção de considerar o valor de corrente obtido como valor absoluto.

O valor de corrente em AC é determinado pela seguinte formula:

$$Cac = \frac{\sum_0^{499} |ADC - 512|}{500}$$

Cac – valor médio de corrente em AC;

ADC – leitura do valor proveniente do sensor de corrente na porta analógica;

É necessário considerar o valor absoluto de cada amostra devido ao fato de tal como é representado na figura 22 os harmónicos em AC possuem valores positivos e negativos de corrente pelo que é necessário considerar o esse valor em absoluto sendo que o objetivo é determinar o valor de corrente consumida.

No firmware do sistema iPlug é feito o somatório de 500 amostras do valor de corrente em absoluto subtraindo às mesmas o valor 512 que corresponde como já referido anteriormente ao valor de corrente nula. Seguidamente este somatório é dividido pelo número de amostras de forma a obter a média do valor de corrente consumida.

Em AC considerando 50HZ o período das harmónicas é de 20ms. São recolhidas 500 amostras à taxa máxima de processamento do Arduino, estas 500 conversões ADC (Analogic to Digital Conversion) demoram em média 120ms. Assim são analisadas 6 harmónicas e em cada harmónica são tiradas 83,3 amostras.

3.4 Relé para Controlo ON/OFF

Um relé é um interruptor acionado eletricamente. Os relés são usados quando é necessário controlar um circuito por um sinal de baixa potência. Os primeiros relés foram utilizados em telégrafos de longa distância como amplificadores e extensivamente em centrais telefônicas e computadores antigos para realizar operações lógicas [30]. O relé pode ser ativado com correntes muito pequenas, em relação à corrente utilizada pelo circuito controlado, possibilitando assim o controlo de circuitos de altas correntes tais como motores, lâmpadas, máquinas industriais, a partir de dispositivos eletrónicos de baixa potência tais como transístores, circuitos integrados ou microcontroladores pelo que continua atualmente a ser muito utilizado.

De forma a permitir o controlo ON/OFF o sistema iPlug incorpora um relé eletromecânico. A figura 23 pretende mostrar a constituição de um relé eletromecânico:

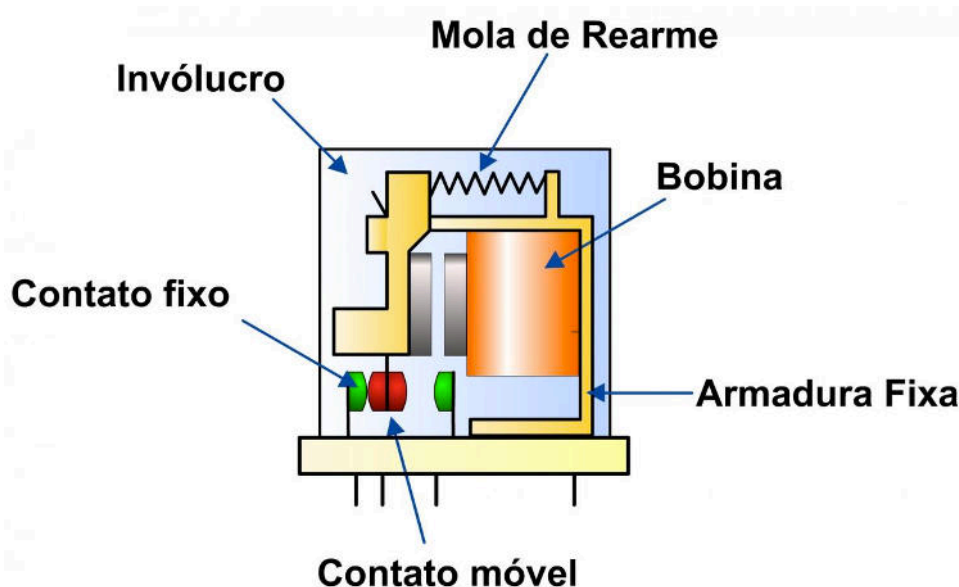


Figura 23 - Constituição de um relé eletromecânico retirado de [23]

A bobina é o principal componente do relé. É em torno dela que é gerado um campo eletromagnético quando o relé é alimentado. Ao receber tensão na bobina o relé altera o seu estado de "ligado" para "desligado" ou vice-versa, permitindo controlar o funcionamento de um outro dispositivo de maior potência.

Este campo eletromagnético gera uma força capaz de movimentar um conjunto mecânico (armadura fixa) com contatos móveis alterando assim seu estado de

normalmente aberto para fechado ou de normalmente fechado para aberto de acordo com o tipo de relé.

As características técnicas de um relé dividem-se em parte mecânica e em parte eletromecânica. Na parte mecânica existem dois modos de funcionamento, Normally Closed (NC) ou Normalmente Fechado (NF) onde os contactos estão fechados enquanto a bobina não está energizada e que abrem quando a bobina recebe corrente e Normally Open (NO) ou Normalmente Aberto (NA) onde os contactos estão abertos enquanto a bobina não está energizada e que fecham, quando a bobina recebe corrente.

A parte eletromagnética possui as seguintes características:

- **Corrente de excitação**- Intensidade, que circula pela bobina, necessária para ativar o relé.
- **Tensão nominal**.- Tensão de trabalho na qual o relé se ativa.
- **Tensão de trabalho**.- Margem entre a tensão mínima e máxima, garantindo o funcionamento correto do dispositivo.
- **Consumo nominal da bobina**.- Potência que consome a bobina quando o relé está excitado com a tensão nominal a 20°C.
- **Tensão de ligação**: Tensão entre contactos antes de fechar e depois de abrir.
- **Intensidade máxima de trabalho**: Intensidade máxima que pode circular pelos contactos quando fechados.

Existem vários tipos de relés, tais como:

1. **Relés de armadura**- Os relés de armadura caracterizam-se pela abertura direta dos contactos quando sujeitos a tensão
2. **Relés núcleo móvel**- Os relés de núcleo móvel têm um êmbolo em vez da armadura, sujeita a tensão movimentam o êmbolo fechando ou abrindo os contactos
3. **Relés Reed**- Reed-switches são interruptores hermeticamente encerrados em ampolas de vidro que quando sujeitos a um campo magnético fecham os contactos
4. **Relés Dip ou SIP**- Relés encapsulados em caixas DIP ou SIP
5. **Relés de Estado Sólido** - Os relés de estado sólido possuem funções similares aos eletromecânicos, contudo sem partes mecânicas em movimento [31].

O iPlug utiliza um relé eletromecânico da marca SONGLE, ilustrado na figura 24 e permite controlar dispositivos com até 10 amperes e 250Volts [32]. De forma a ligar este módulo ao Arduino é apenas necessário alimentá-lo e conectar a porta IN a uma porta digital do microcontrolador Arduino.

Poderia também ter sido utilizado um TRIAC que é um dispositivo semiconductor da família dos Tirístores que permite controlar correntes alternadas intensas a partir de sinais externos relativamente fracos contudo foi utilizado o relé porque possui várias vantagens comparativamente aos TRIAC, tais como:

- os TRIAC são mais sensíveis à sobrecarga e queimam-se mais facilmente que os relés.
- são mais sensíveis a curto-circuito e danificam-se muito facilmente;
- são sensíveis a falsos disparos devido a variações de tensão no circuito;
- podem falhar ao ligar ou desligar sob determinadas condições o que dificilmente ocorre nos relés;
- não há isolamento elétrico entre o circuito de disparo e o circuito controlado.

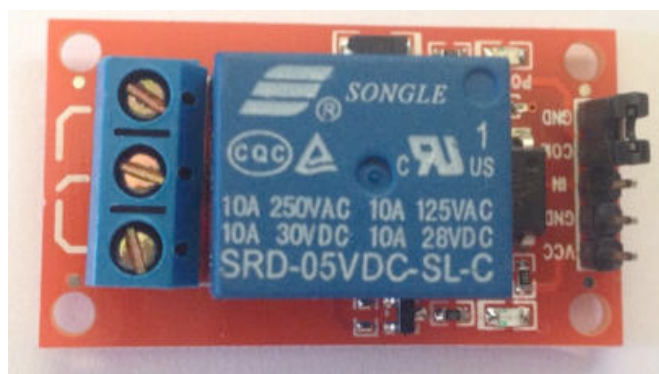


Figura 24 - Relé utilizado no iPlug

3.5 Sensor de tensão

De forma a medir a tensão da rede com o objetivo de calcular, com maior precisão, a energia consumida, foi criado um sensor de tensão. Pelas pesquisas que fiz não existe no mercado nenhum módulo para medir tensão que se possa conectar a um microcontrolador. Assim sendo projetou-se e construiu-se um sensor de tensão para o iPlug.

A forma mais simples e barata de criar um sensor de tensão é através da construção de um divisor resistivo puro. Contudo um divisor resistivo de 230V para 5V nunca poderia ser certificado porque o utilizador pode ficar sujeito a um choque elétrico. É sempre necessário que exista isolamento entre a parte de potência do circuito e a parte de controlo. O divisor resistivo puro também possui outra grande desvantagem sendo que é altamente ineficiente a nível energético. Por consequência utilizou-se um transformador de forma a não haver problemas de risco de choque elétrico isolando-se assim a entrada de 230V com a saída ligada ao microcontrolador.

Um transformador é um dispositivo inventado por Michael Faraday em 1831 que transforma uma corrente e tensão alternada na entrada, numa outra corrente e tensão na saída, sendo esta transformação realizada através da ação de um fluxo magnético (Figura 25) [33]. Como essa transformação de energia é feita de uma bobina para outra, estando isoladas uma da outra, permite manter uma independência elétrica entre a entrada e saída do transformador. Nos transformadores não existe qualquer ponto elétrico comum entre a entrada e a saída, excetuam-se os autotransformadores em que parte do enrolamento primário e secundário são comuns.

Um transformador é constituído por um núcleo, feito de materiais com propriedades magnéticas, e duas bobinas com número diferente de espiras isoladas entre si tal como se representa na figura 25. O primário é a bobina que recebe a tensão da rede e o secundário é a bobina que fornece a tensão transformada à carga.

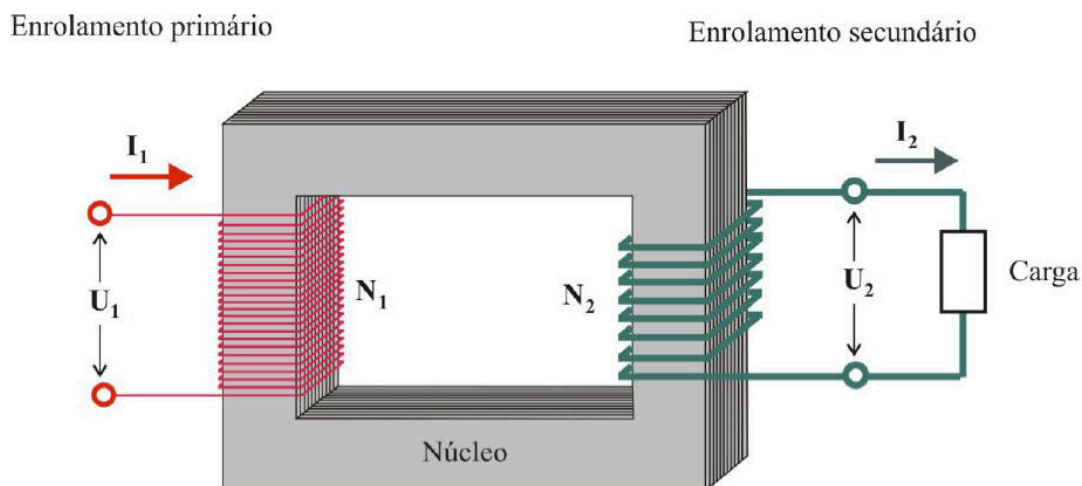


Figura 25 - Componentes de um transformador retirada de [34]

O transformador baseia-se em dois princípios:

- **lei de Biot-Savart** : a corrente elétrica produz campo magnético
- **lei da indução de Faraday**: um campo magnético variável no interior de uma bobina ou enrolamento de fio induz uma tensão elétrica nas extremidades desse enrolamento

Existem vários tipos de transformadores, tais como:

1. **Potência**: transforma potência mantendo-se a frequência. A relação entre a tensão presente num lado e a tensão presente no outro, é chamada a relação de transformação.
2. **Corrente**: reproduzem no secundário uma amostra da corrente que circula no enrolamento primário que tem proporções definidas e conhecidas de acordo com relação específica, sem alterar sua posição vetorial de forma a possibilitar o seu uso por equipamentos de medição, controle e proteção.
3. **Isolamento**: caso particular do transformador de potência, no qual a tensão no secundário é igual à tensão no primário com o objetivo de obter um isolamento elétrico entre o circuito ligado ao primário e o circuito ligado ao secundário.
4. **Autotransformador**: caso particular de transformador de potência, com um único enrolamento, dividido em dois. A tensão de “saída” é obtida à custa da divisão de tensão do enrolamento.

A tensão de entrada e de saída são proporcionais ao número de espiras em cada bobina, sendo [34]:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Onde:

U_p é a tensão no primário;

U_s é a tensão no secundário;

N_p é o número de espiras do primário;

N_s é o número de espiras do secundário.

Esta proporcionalidade infere que um transformador reduz a tensão se o número de espiras do secundário for menor que o número de espiras do primário e vice-versa. Se considerarmos que toda a energia é conservada, a potência no primário deverá ser exatamente igual à potência no secundário.

O transformador de tensão utilizado no iPlug converte corrente alternada em corrente alternada sendo do tipo AC/AC, é da marca Indel e possui a referência TSZZ 0,6/005MP [35]. Este transformador tem as seguintes propriedades:

Tensão no enrolamento primário: 230V

Tensão no enrolamento secundário: 9V

Corrente de saída máxima: 0,07A

Procurou se um transformador com uma corrente de saída máxima baixa pelo fato de o objetivo ser medir a tensão de entrada e para tal necessitamos de correntes quase nulas. O transformador utilizado é AC/AC transforma tensão de 230VAC em 9VAC, mas como o Arduino só trabalha em DC (corrente contínua) é necessário retificar o sinal com recurso a uma ponte retificadora. A ponte retificadora é um dispositivo que permite que uma tensão em corrente alternada (CA) seja transformada em contínua (DC).

As portas analógicas do Arduino trabalham entre 0-5V e o transformador tem no enrolamento secundário 9V pelo que é necessário baixar essa tensão para uma gama que seja compatível com o microcontrolador. Decidiu-se criar um divisor resistivo para diminuir o valor de tensão de 9V para 3,25V, pois desta forma qualquer variação da tensão da rede vai resultar num sinal de saída compatível com a tensão de trabalho da porta analógica do Arduino.

A regra do divisor resistivo é uma técnica utilizada para criar uma tensão elétrica de saída (V_{out}) inferior e proporcional à tensão de entrada (V_{in}). É normalmente utilizada para criar uma tensão de referência, e pode ser também utilizada como um sinal atenuador em baixas frequências [36].

Na figura 26 mostra-se o exemplo de um divisor resistivo:

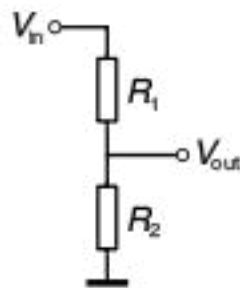


Figura 26 - Divisor resistivo

A tensão de saída, V_{out} , é dada pela fórmula abaixo, em que V_{in} é a saída do transformador que é 9V e o valor de V_{out} é 3,25 Volts porque é o valor de saída pretendido com o divisor resistivo.:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

É necessário definir um valor de uma das resistências por forma a calcular a outra pelo se decidiu optar por uma resistência de 82K Ω . A resistência escolhida não é maior pois se a resistência utilizada for demasiado elevada o processo de leitura da ADC vai interferir com o valor que se quer ler. Por outro se o valor das resistências for demasiado baixo aumenta-se desnecessariamente o consumo do circuito.

Logo considerando $R_1 = 82\text{K}\Omega$ temos que:

$$3,25 = \frac{R_2}{82\text{K} + R_2} \times 9 \quad (=) \quad R_2 = 46,35\text{K}\Omega,$$

Assim sendo utilizou-se uma resistência $47\text{K}\Omega$, considerando $R_1 = 82\text{K}\Omega$ e $R_2 = 47\text{K}\Omega$ temos que:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \quad (=) \quad V_{out} = \frac{47}{82 + 47} \times 9 = 0,36 \times V_{in} = 3,27$$

Assim, para uma tensão de entrada (V_{in}) de 9V então a tensão de saída (V_{out}) será 3,27V.

Seguidamente de forma a criar um filtro passa baixo com o objetivo de estabilizar o sinal de saída é adicionado um condensador. Este irá permitir a passagem de baixas frequências sem dificuldades e atenua (ou reduz) a amplitude das frequências maiores que a frequência de corte.

A frequência de corte tem de ser substancialmente mais baixa que os 100Hz da onda retificada para garantir que durante um período não há qualquer oscilação do sinal. Pelo que se decidiu criar um filtro com cerca de 1,7Hz que é cerca de 59 vezes mais baixa que os 100Hz do onda retificada. Estes dados foram confirmados com o osciloscópio e são demonstrados na figura 27.

A frequência de corte do filtro passa baixo é dada pela seguinte formula:

$$f = \frac{1}{2 \times \pi \times R \times C}$$

Em que $R=47\text{K}\Omega$, assim sendo:

$$1,7 = \frac{1}{2 \times \pi \times 47 \times 10^3 \times C} \quad (=) \quad C = \frac{1}{2 \times \pi \times 47 \times 10^3 \times 1,7} \quad (=) \quad C \cong 2 \times 10^{-6}$$

Assim o filtro passa baixo utilizado é constituído por 2 condensadores de $1\ \mu\text{F}$ e uma resistência de 47K.

A constante de tempo, que é o tempo de carregamento do condensador e consequente estabilização do sinal, é dada pela seguinte formula:

$$t = R \times C$$

Em que t é a constante de tempo, R é a resistência que no caso é $47K\Omega$ e C é o valor do condensador.

$$t = R \times C (=) t = 47 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-6} (=) t = 0.094$$

Assim a constante de tempo do filtro passa baixo é 94 milissegundos.

Na figura 27 é possível visualizar a verde a arcada até 22Volts que é transformada numa tensão continua, de 3,64 Volts, sinalizada a amarelo, através do filtro passa baixo construído para o efeito. A arcada a verde corresponde ao valor de tensão à saída da ponte retificadora. O arcada a verde foi medida nos pontos assinalados pela seta verde e o sinal a amarelo foi medido nos pontos assinalados pela seta amarela na figura 28.

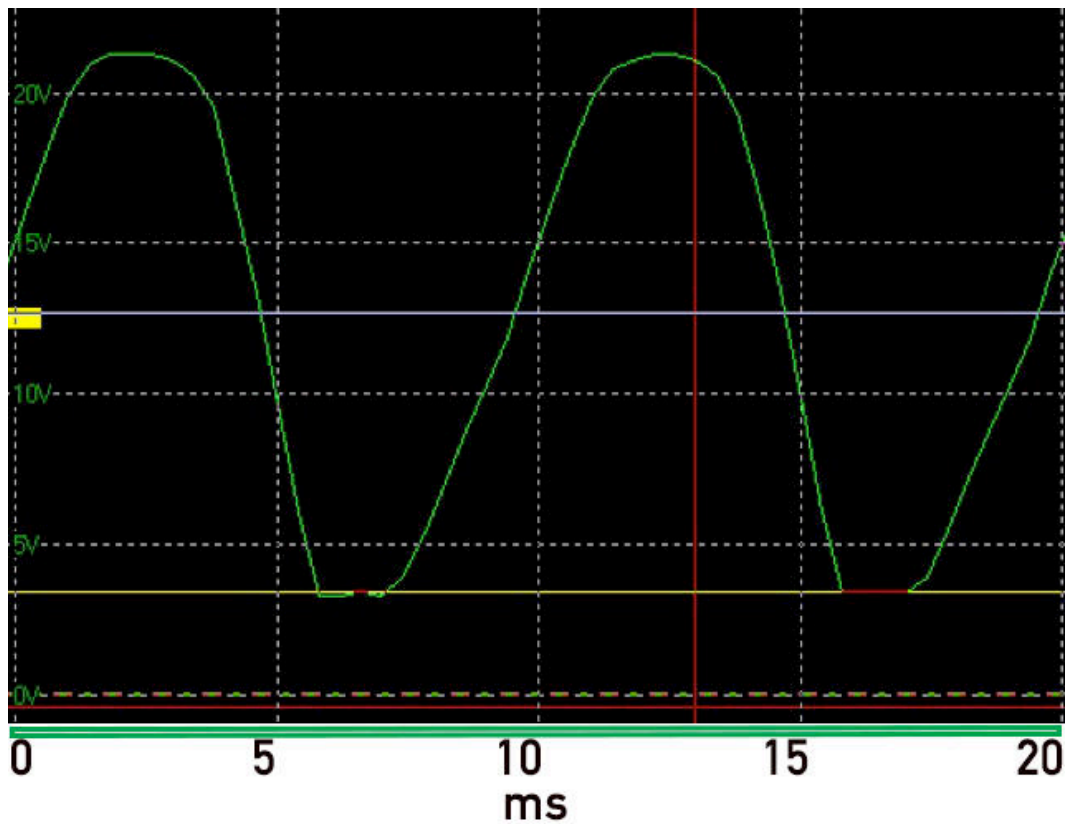


Figura 27 - Sinal de saída do sensor de tensão antes e depois do filtro passa baixo

De forma a garantir que a tensão na porta analógica a que se liga o sensor de tensão nunca seja superior a 5.1V com o objetivo de proteger o microcontrolador é usado um díodo Zener de 5.1V.

Depois de se idealizar o circuito representado na figura 28, o mesmo foi testado numa breadboard (placa de ensaio de circuitos). Seguidamente foi construída a placa em PCB no Eagle, ferramenta para desenho de circuitos, a fim de ser impressa numa impressora de circuitos com computer numerical control (CNC) para posteriormente se soldarem os componentes do circuito. A figura 29 mostra o desenho da PCB criado com recurso à aplicação EAGLE e a figura 30 mostra o sensor de tensão finalizado.

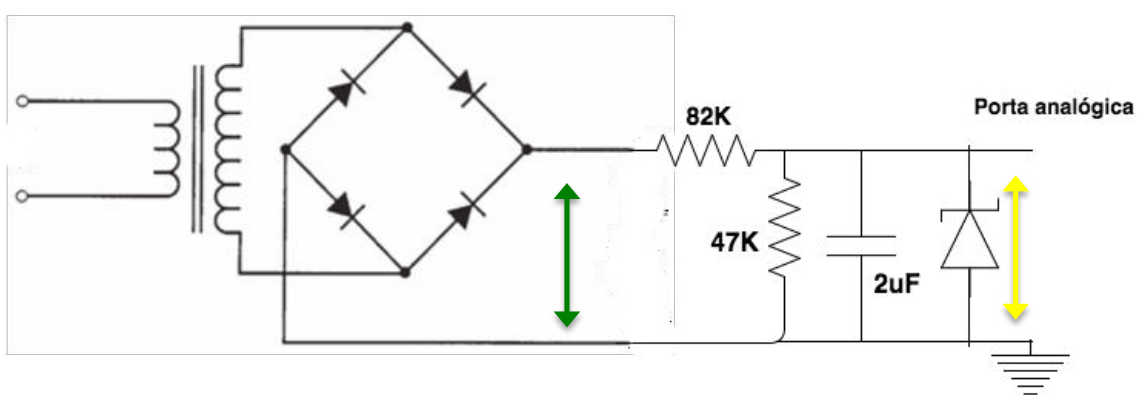


Figura 28 - Circuito do sensor de tensão

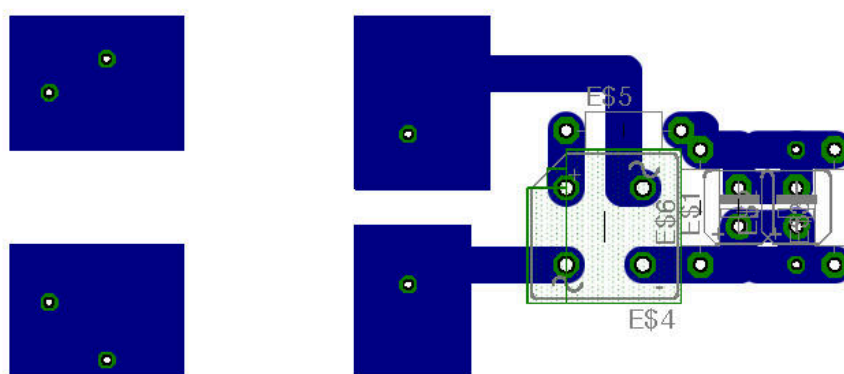


Figura 29 - Desenho PCB no EAGLE



Figura 30 - Sensor de tensão Final

De forma a testar o sistema e verificar qual a relação de transformação mediu-se com um multímetro a tensão na rede e a tensão de saída do sistema. Foram realizados os testes representados na tabela 11 na gama de valores de trabalho que são entre 180Volts e 240 Volts.

Tensão de Entrada (V)	Tensão de saída (V)	Relação de transformação
182	2.83	64,31
201	3.12	64,42
219	3.38	64,79
237	3.64	65,11

Tabela 8- Testes do sensor de tensão



Figura 31 - Tensão de Saída

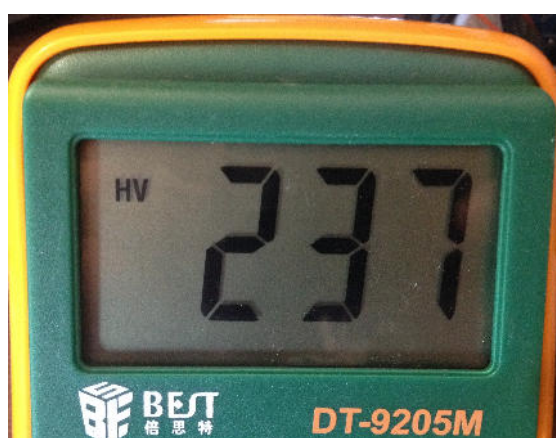


Figura 32 - Tensão de entrada

Em média o valor da relação de transformação na gama de valores de interesse (180-240V) é 64,66 e a variação máxima entre as relações de transformação é de 1% (65,11-64,31/64,66) pelo que podemos concluir que o sensor de tensão é fiável. As figuras 31 e 32 pretendem ilustrar o teste de 237V.

CAPÍTULO 4. IMPLEMENTAÇÃO

O sistema iPlug é constituído por três elementos essenciais: o hardware da tomada inteligente denominado iPlug, o software do portal web denominado por iPlugWeb e aplicação móvel denominada por iPlugMobile. Este capítulo foca os diversos aspetos de desenho e implementação do iPlug. É inicialmente referida a metodologia de trabalho e o seu planeamento. Seguidamente é abordado o sistema de monitorização iPlug desde o seu projeto até à construção do protótipo. Por fim define-se a arquitetura do sistema, especificando quais as funcionalidades e descrevendo as aplicações que lhe servem de interface: o portal web e a aplicação móvel.

4.1 Metodologia

Existem várias metodologias de desenvolvimento de Software, dividindo-se essencialmente em dois grandes grupos: as metodologias clássicas e as metodologias ágeis. Muito resumidamente, podemos dizer que o método clássico está mais centrado na documentação ao passo que o ágil está centrado no software executável, isto é, na aplicação.

Para documentar os princípios do método ágil foi criada a Aliança Ágil e o estabelecimento do “Manifesto Ágil”, na qual se define que a produção de software se centra na satisfação do cliente através da produção de software executável invés de documentação e que o cliente participa ativamente na definição do software [37].

Devido à grande vantagem da adaptabilidade às mudanças para a elaboração deste projeto foi adotado o método ágil, dando prioridade à produção de software, ficando a documentação para o final.

Um processo de desenvolvimento de software é um conjunto de atividades que auxiliam a produção de software. Apesar das diferenças os vários métodos de desenvolvimento de software possuem um conjunto de atividades fundamentais comuns a todos eles:

- **Especificação de software:** definição das funcionalidades (requisitos) e das restrições do software.
- **Desenho e Implementação de software:** o software é produzido de acordo com as especificações. Nesta fase são propostos modelos através de diagramas, e estes modelos são implementados em alguma linguagem de programação.
- **Validação de software:** o software é validado de forma a garantir que todas as funcionalidades especificadas foram implementadas.
- **Manutenção do software:** o software necessita de constante manutenção de forma a serem implementadas novas funcionalidades e assim o software continuar a ser útil ao cliente.

Na fase inicial do trabalho foi realizada a especificação de software ficando definido que o objetivo era criar uma tomada inteligente que permitisse ao utilizador saber qual o consumo do dispositivo ligado à mesma e controlar esse dispositivo ligando-o ou desligando-o.

Seguidamente foi executado o desenho da arquitetura da solução e o estudo de quais os componentes necessários para construir o sistema, analisando os componentes existentes no mercado de forma a utilizar os que possuem melhor relação qualidade/preço. Foram também definidas as tecnologias a utilizar para criar o software e lógica para o correto funcionamento do sistema.

Por último procedeu-se à implementação das aplicações necessárias com a consequente realização da validação do software.

4.2 Planeamento

Seguindo a metodologia ágil na realização deste trabalho deu-se prioridade à realização de software executável invés da documentação, começando-se pela especificação de software através da análise de requisitos do projeto. Seguidamente procedeu-se a implementação e desenvolvimento de software executável com a criação do protótipo iPlug e das aplicações iPlugMobile e iPlugWeb. Por último foram realizados testes às aplicações com consequente elaboração do relatório. As etapas do presente trabalho são descritas seguidamente e foram realizadas consecutivamente:

- 1) Análise dos requisitos do projeto; - 4 semanas
- 2) Estudo do estado da arte; - 3 semanas
- 3) Definição dos componentes do sistema; - 3 semanas
- 4) Estudo das especificações dos componentes; - 3 semanas
- 5) Construção do sensor de tensão; - 2 semanas
- 6) Criação do protótipo; - 4 semanas
- 7) Desenvolvimento da aplicação Web; - 5 semanas
- 8) Desenvolvimento da aplicação Móvel; - 5 semanas
- 9) Testes – 2 semanas
- 10) Elaboração do relatório – 8 semanas

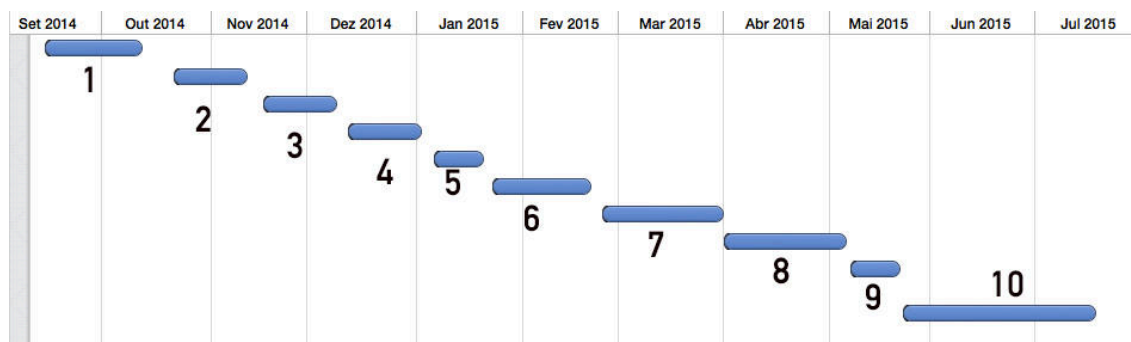


Figura 33 - Mapa de Gant

A figura 33 mostra a distribuição real das tarefas ao longo do tempo.

4.3 “iPlug”

A componente de hardware que permite a monitorização de energia elétrica e controlo designa-se por iPlug e corresponde a uma tomada inteligente, que em inglês se denomina “intelligent plug”. O iPlug encaixa numa tomada genérica e permite obter informações do consumo de energia elétrica do(s) equipamento(s) a ela ligado(s) através do cálculo da corrente e da tensão da rede elétrica. Estas informações são colocadas numa base de dados e o acesso aos dados de consumo através de duas aplicações, um portal Web denominada por iPlugWeb e uma aplicação para iOS denominada iPlugMobile.

4.3.1. Funcionalidades e arquitetura

As principais funcionalidades do iPlug são:

1. Recolha de dados de consumo e controlo ON/OFF:
2. Registo de dados de consumo numa base de dados e visualização da informação de forma ubíqua;
3. Sistema de baixo custo, assente no paradigma da Internet das Coisas:

Para conseguir estas funcionalidades foi usada a seguinte arquitetura de sistema:

- o iPlug está conectado à rede de internet;
- obtêm informações do consumo de energia elétrica do(s) equipamento(s) a ele ligado(s) através do cálculo da corrente e da tensão da rede elétrica,
- utiliza Web services, como cliente, para colocar os valores de energia monitorizada ao mesmo tempo que verifica se existe alguma ordem pendente de ser executada;
- se existirem ordens pendentes executa-as;
- o utilizador utiliza o portal e a aplicação móvel para aceder aos dados de monitorização e para criar ordens de controlo ON/OFF.

A figura 34 visa representar graficamente a arquitetura do sistema.

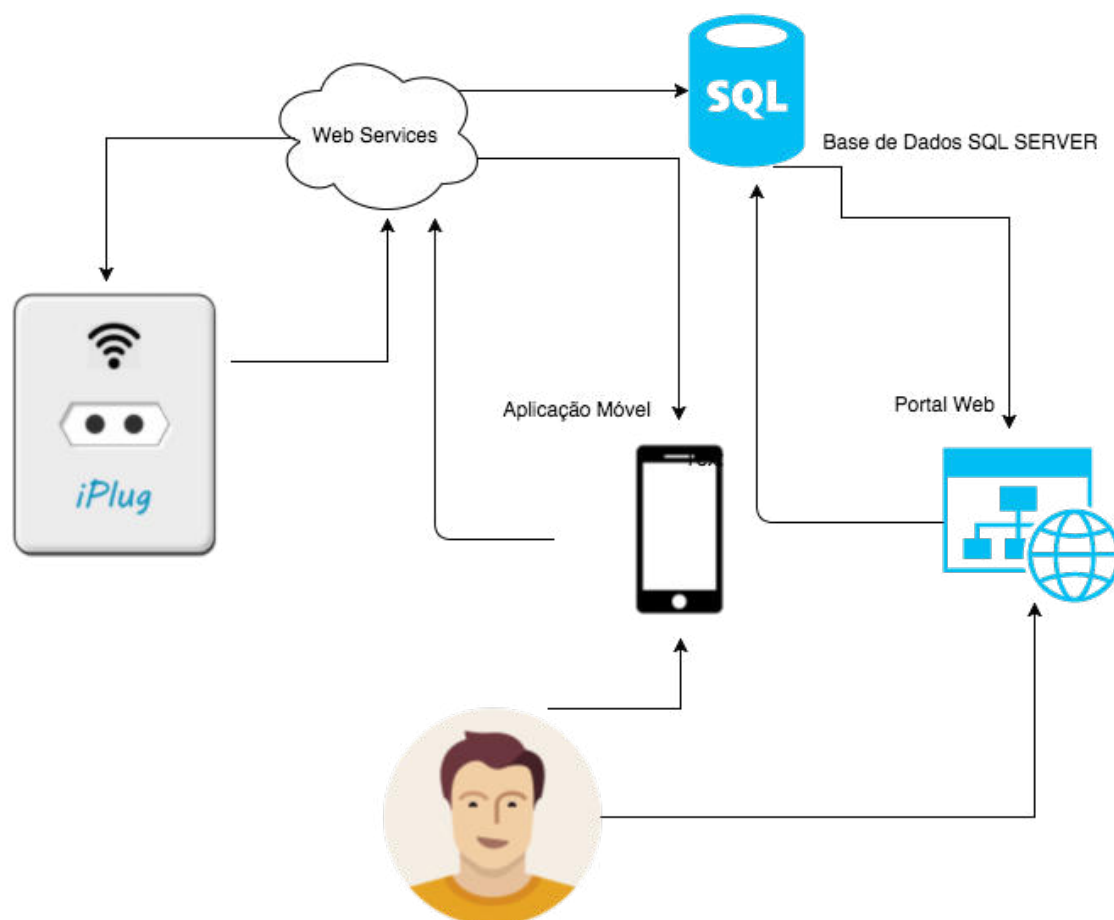


Figura 34 - Arquitetura do Sistema iPlug

4.3.2. Componentes constituintes e esquema de ligação

De forma a criar um sistema de fácil instalação e compatível como todo o tipo de edifícios o iPlug tem como interface de entrada uma ficha de tomada europeia macho que se conecta diretamente à tomada de qualquer edifício e tem como interface de saída uma ficha de tomada europeia fêmea à qual o utilizador pode ligar o que necessitar.

A tomada inteligente iPlug tem na sua constituição os seguintes componentes:

- Placa de desenvolvimento Arduino UNO
- Relé
- Sensor de corrente - ACS712
- Sensor de tensão
- Ligação à Internet sem fios – ESP8266
- Transformador 230V – 5V para alimentação do Arduino
- Conversor de lógica 5V para 3.3V.
- Ecrã 4 linhas e 20 colunas I2C

A nível lógico podemos dizer, tal como se representa na figura 35, que o iPlug é constituído por 5 blocos lógicos, o bloco de processamento que corresponde à placa de desenvolvimento Arduino, ao qual são ligados os restantes blocos.

Estes blocos são o bloco de sensor de tensão, sensor de corrente, bloco de controlo ON/OFF que corresponde ao relé, o bloco de ligação à internet que corresponde ao módulo ESP8266 e o bloco de visualização que corresponde ao LCD.

As saídas do sensor de tensão criado são ligadas à terra e à porta analógica número 2, e as entradas são ligadas à fase e ao neutro de forma a ser calculado o valor da tensão da rede elétrica.

O sensor de corrente por sua vez tem as suas entradas ligadas em série na fase de forma a medir a corrente que passa no condutor elétrico, as suas entradas são ligadas correspondentemente à terra, a 5 Volts e à porta analógica número 0.

O relé tem as suas entradas ligadas em série na fase no estado de normalmente aberto, as suas saídas estão ligadas à terra, 5 Volts e à porta digital número 7.

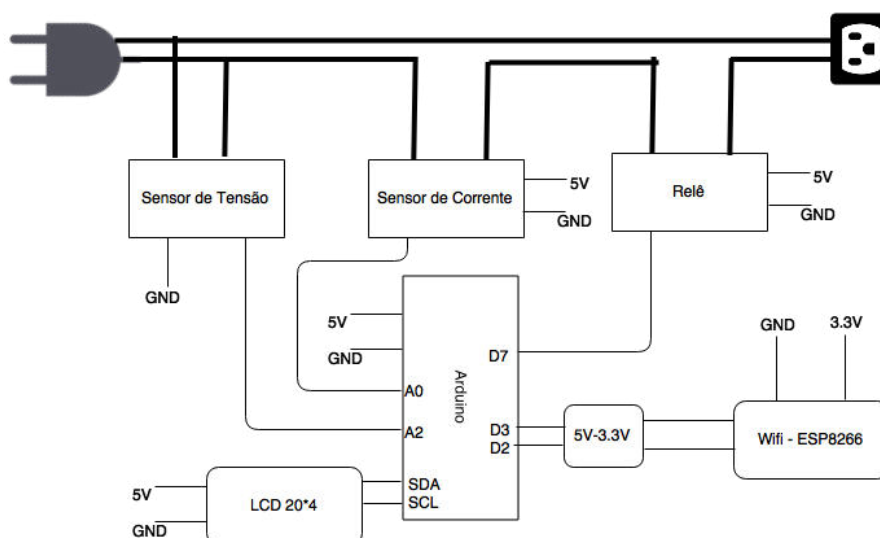


Figura 35 - Esquema de ligação dos sensores e actuadores ao microcontrolador

O ESP8266 não é tolerante a 5 Volts, assim sendo para ligar o mesmo via porta série virtual ao Arduino é necessário transformar a lógica de 5V para 3,3V. Para tal as portas digitais número 2 e 3 que funcionam como RX e TX respetivamente do Arduino não são ligadas à porta de comunicação série do ESP8266 mas a um circuito integrado, AMS1117CD-3.3, que desce o nível de 5V para 3,3V, e por sua vez é ligado às portas de comunicação série do ESP8266. Assim não há qualquer probabilidade de danificar o ESP8266 [38](ver anexo A.3). O ESP8266 devido ao seu consumo tem de ser alimentado externamente e não pode ser alimentado através do Arduino.

O ecrã LCD é ligado à terra e a 5 Volts e como comunica com o microcontrolador via I2C e, portanto, a sua porta de SDA é ligada à porta analógica A4 e a SCL é ligada à porta analógica A5.

A figura 36 pretende mostrar o aspecto do protótipo do sistema iPlug bem como as suas dimensões.

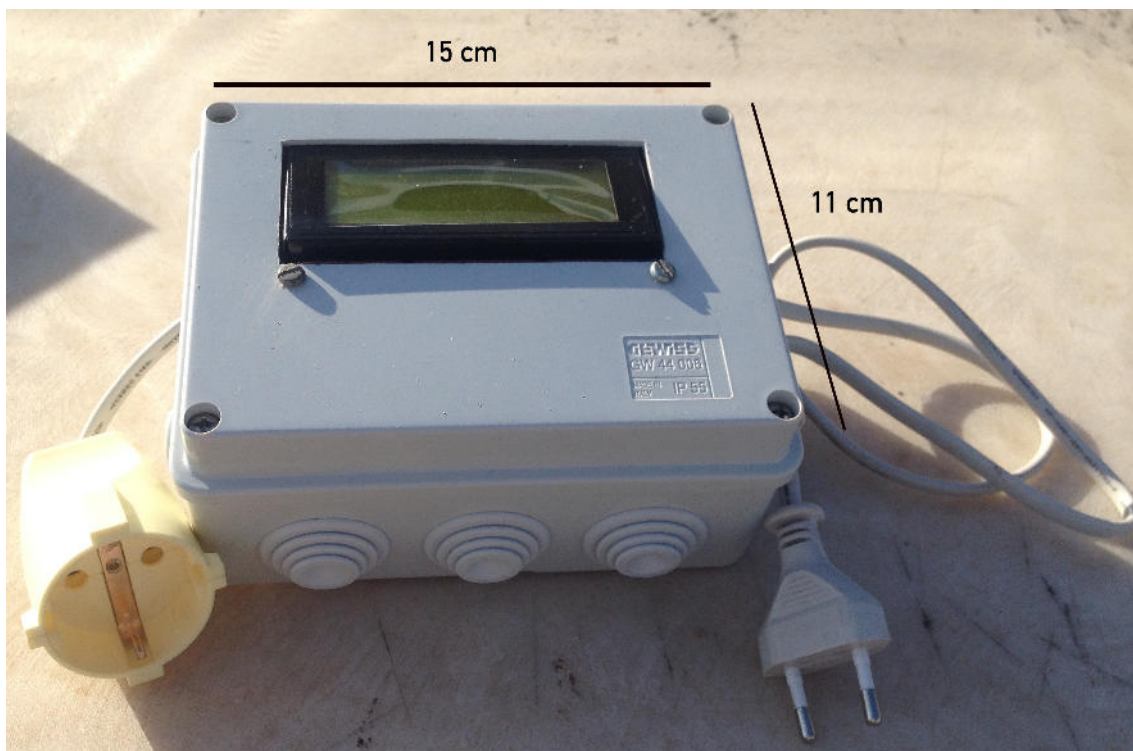


Figura 36 - Protótipo iPlug

4.3.3. Custo do iPlug e especificação energética

Há que analisar também o custo de cada sistema iPlug, seguidamente é descrito o preço por cada componente do sistema.

- Placa de desenvolvimento Arduino UNO – 10€
- Relé – 3€
- Sensor de corrente - ACS712 – 3€
- Sensor de tensão – 20€
- Ligação à Internet sem fios – ESP8266 – 5€
- Transformador 230V – 5V para alimentação do sistema – 3€
- Conversor de lógica 5V para 3.3V – 1€
- Ecrã 4 linhas e 20 colunas I2C – 5€
- Cabos e restante material consumível – 5€
- Caixa exterior do sistema – 5€

Assim o preço total do protótipo iPlug é 60€. É também de citar que o preço para produção em série do sistema é consideravelmente mais baixo.

Um ponto negativo de qualquer componente de monitorização de energia centra-se sempre no fato de este componente também tem obviamente um consumo energético, no caso do iPlug o consumo é em média 0.0025KWh. O iPlug é alimentado através de um transformador 5V com um consumo de corrente na ordem dos 500mA. Assim sendo o consumo instantâneo é de 2.5W, o consumo médio por dia, mês e ano é respetivamente 0.06KW, 1.8KW e 15.9KW. Considerando o preço médio de 0.20€ por KWh, representa o montante de 0.012€, 0.36€ e 3.18€ por dia, mês e ano respetivamente.

Assim sendo há que estabelecer uma relação de análise sobre a compensação do uso do sistema, e apenas utilizar o mesmo em componentes com consumo superior a 2.5W pois caso contrário ou invés de haver uma poupança de energia vai se ainda potenciar o seu consumo. Em termos práticos há também que referir que equipamentos com consumo inferior a 2.5W são praticamente inexistentes no nosso quotidiano contudo poderá corresponder a consumos de equipamentos em standby.

4.3.4. Máquina de Estados

Para a programação do microcontrolador foi utilizada uma máquina de estados finitos. Uma máquina de estado é composta por estados, transições e saídas.

- **Estado:** comporta-se como uma memória, ou seja, armazena todas as informações sobre as saídas num determinado momento. Um estado define um período de tempo durante o qual o sistema exhibe um dado comportamento, é uma condição ontológica que persiste por um período de tempo onde aguarda a transição para outro estado. Uma máquina estados num determinado instante de tempo apenas está num único estado, quer isto dizer que num determinado instante o sistema não pode estar em dois estados. Nada impede, porém, que haja o processamento de mais de uma máquina de estados no mesmo processador ou microcontrolador, sendo que cada uma dessas máquinas de estado tem o seu próprio estado.
- **Transição:** é a condição para que ocorre e provoca a mudança de um estado para outro.
- **Saída:** descreve a atividade que deve ser realizada num determinado estado.

A modelação do comportamento dum sistema embebido com recurso uma máquina de estados possui a vantagem da redução da complexidade. O sistema só pode assumir um número finito de condições de existência, chamadas estados, permitindo o programador dividir o grande problema em pequenos problemas. O sistema é mantido num determinado estado por um tempo não nulo e o período de tempo de transição entre estados é considerado nulo. Além disso a implementação de máquinas de estados em ambientes de sistemas embebidos desde logo apresenta duas vantagens nítidas: eficiência e otimização.

Existe ainda uma vantagem significativa, na minha opinião, neste tipo de abordagem que é a adaptabilidade do código. Facilmente são validadas mais entradas e saídas e também são adicionados novos estados que surgem com novas funcionalidades.

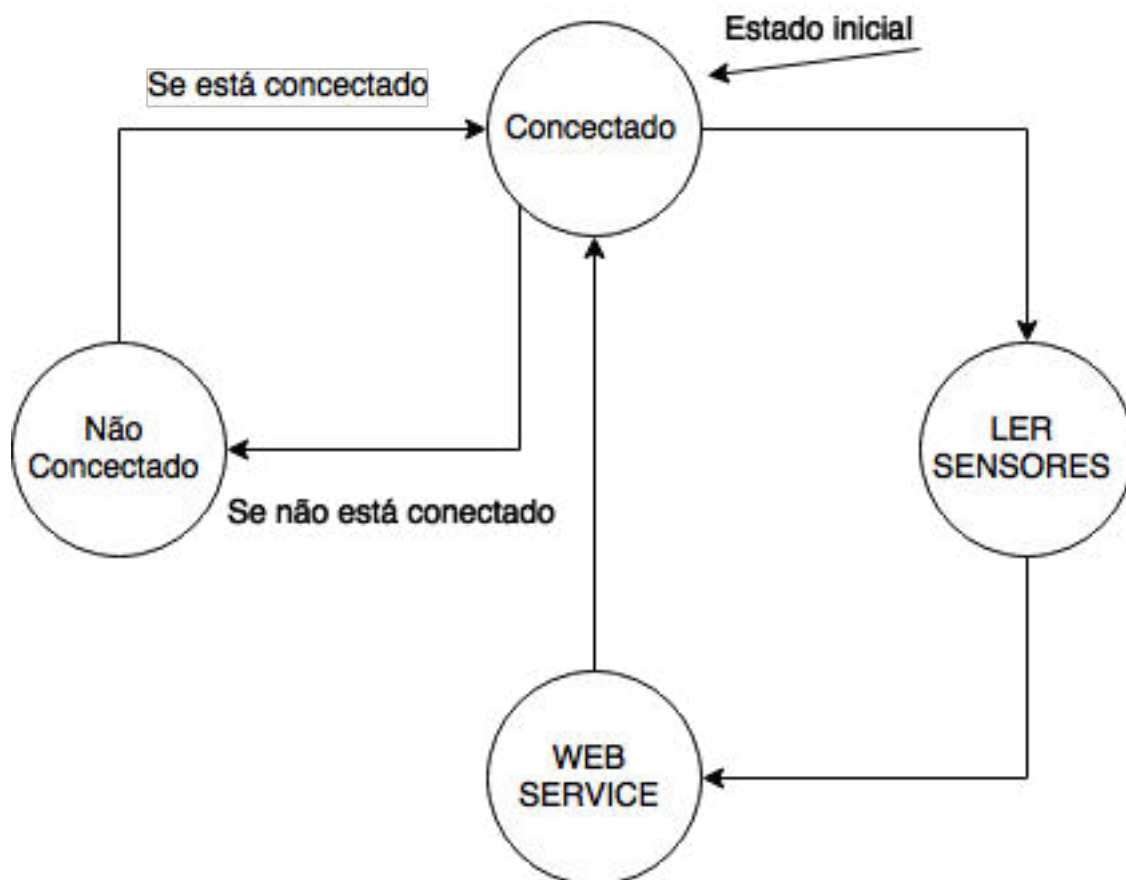


Figura 37 - Máquina de estados do iPlug

O sistema iPlug possui 4 estados: conectado, não conectado, ler sensores, web service, a figura 37 representa a máquina de estados do firmware do iPlug.

Em síntese, a máquina de estados possui como estado inicial o estado “Conectado” onde é testado o acesso à rede de internet, em caso afirmativo a verifica-se a transição para o estado “Ler Sensores” no qual se calcula o consumo de energia elétrica. Seguidamente ocorre transição para o estado “Web Service” onde se executa o registo da base de dados e se verifica se existem ordens de controlo pendente. Caso o sistema não esteja conectado à rede de internet há transição para o estado “Não Conectado” onde só se transita para o estado “Conectado” quando existir ligação à rede de Internet.

Seguidamente explica-se em detalhe toda a lógica do funcionamento da máquina de estados, começando por referir a lógica do método de configuração setup().

Neste método é inicializado o ecrã LCD, é definido a porta digital 7 como sendo de saída para comandar o relé, inicia-se a porta série virtual para comunicação com o chip ESP8266 para ligação à Internet sem fios, o sistema é conectado à Internet sem fios e inicia-se a máquina de estado que entra no estado inicial.

No estado “Não Conectado” o sistema tenta-se conectar à rede de Internet sem fios até que a ligação seja bem sucedida transitando seguidamente para o estado “Conectado”.

O estado “Conectado” é o estado onde é testada a conexão à rede sem fios, se o sistema não estiver ligado à Internet sem fios há transição para o estado “Não Conectado” caso contrário transita para o estado “Ler Sensores”.

No estado “Ler Sensores” é obtido o valor da corrente e da tensão de forma a calcular o valor médio logo que decorram 15 segundos desde a última inserção de dados. O valor médio é escrito no ecrã LCD para visualização do utilizador e o sistema transita para o estado Web service.

No estado Web service é onde se consome um Web service para introduzir os valores de consumo médio na base de dados e ao mesmo tempo se verifica se existem ordens de ON/OFF a fim de serem executadas. Se existirem ordens pendentes o sistema irá executá-las e seguidamente o sistema transita para o estado “Conectado”.

O recurso a uma máquina de estados permite tornar o Arduino num sistema multitarefa pois se a mudança de tarefa for realizada de forma extremamente rápida, o efeito resultante, para o ser humano, é de que todas as tarefas estão sendo executadas simultaneamente. Na presente máquina de estado enquanto se aguardar pela passagem de 15 segundos desde a última inserção de dados é calculado o valor médio de energia elétrica consumida. A utilização desta máquina de estados permitiu também que o sistema não ficasse bloqueado e executar uma melhor validação das entradas e saídas antes das transições entre estados.

4.3.5. Comportamento Síncrono no Arduino

No sistema iPlug é necessário registar, com um período de 15 segundos, os dados de consumo de energia elétrica na base de dados e verificar a existência de ordens de controlo ON/OFF pendentes. É necessário portanto contar o tempo desde o último registo enviado para a base de dados. Para tal foi criada a seguinte macro, em que t_i é o tempo inicial e t_f o tempo final:

```
#define diftime(ti,tf) tf>ti?tf-ti:0xFFFFFFFF-ti+1+tf
```

Esta macro retorna o valor correspondente à diferente entre o tempo inicial e o tempo final. A função **millis()** devolve o número de milissegundos decorridos desde que o Arduino foi iniciado.

A variável que armazena o valor retornado pela função **millis()** deve ser declarada como unsigned long que apenas sofre overflow aproximadamente depois de 50 dias de execução.

A macro **diftime** trata o possível overflow porque quando o mesmo ocorre o tempo final é menor que o tempo inicial e de forma a calcular a diferença de tempo tem que se calcular a diferença entre o tempo inicial e o valor máximo da varivel unsigned long e somar o valor do tempo final mais 1 que corresponde ao ciclo de reset do contador. (**0xFFFFFFFF-ti+1+tf**).

Assim é guardado o tempo inicial em milissegundos de quando é realizada a inserção de dados na base de dados e compara-se sucessivamente esse valor com o tempo atual. Quando a diferença entre esses dois tempos é igual ou superior a 15000 milissegundos volta-se a registar novos dados de consumo na base de dados. Enquanto não for são realizadas outras atividades como o cálculo do valor de energia elétrica consumida.

Isto permite-nos obter, de modo eficiente, os benefícios de uma multitarefa virtual num sistema embebido. Tal não seria possível se fosse utilizada a função **Delay()** uma vez que esta função torna inoperacional o Arduino durante o tempo especificado.

4.4 Web Services

Os Web services permitem a comunicação entre aplicações diferentes, tornando as aplicações existentes e desenvolvidas em plataformas distintas compatíveis [39].

Os Web services tornaram-se uma tecnologia emergente em 2002, mas foram apresentados pela Microsoft, em 2000, como um dos maiores componentes da sua tecnologia .NET, com o objetivo de revolucionar a computação distribuída.

Um Web service é um grupo de funções, empacotadas para uso de uma plataforma comum através de uma rede. As suas grandes vantagens são:

- **Neutralidade** - Não depende de nenhum formato, descrição ou standard estabelecido;
- **Ubiquidade** - Todo e qualquer serviço que seja compatível com os standards é compatível com o Web service.
- **Simplicidade** - A criação de um Web service é muito simples através da IDE do Visual Studio.
- **Redução de custos** - Automatizando a interação entre aplicações e processos de negócio, reduzem-se os custos de transação e minimiza-se o erro humano;
- **Flexibilidade, escalabilidade e reutilização** - os Web services podem ser registados para que potenciais utilizadores possam localizá-los com maior facilidade.
- **Interoperabilidade** - são baseados nos standards, eles podem comunicar entre si sem quaisquer problemas.

Por outro lado, toda a transição entre o servidor e o cliente é feita por XML através de SOAP (Simple Object Access Protocol). Assim qualquer cliente que comunique com XML através de SOAP pode aceder ao seu serviço sem necessidade de configuração da firewall.

4.4.1. Atores principais em web services

Os atores principais em web services são HTTP, XML, SOAP, DISCO e UDDI, estão são abordados abaixo explicando sucintamente o que são e qual o seu papel.

O HTTP é independente e suportado em todas as plataformas e sistemas operativos, suporta diferentes cabeçalhos, especificando diferentes necessidades das aplicações.

O XML é suportado em todas as plataformas e possui uma grande vantagem quanto ao poder de descrição e de transporte de dados bem como proporciona um formato universal para os dados de sistema para sistema.

O SOAP que usa o HTTP para empacotar mensagens de serviço para serviço, de uma forma que a lógica pode suportar um sistema de pedido/resposta, permite-lhe enviar/receber ficheiros XML ao mesmo tempo que invoca métodos remotos.

O DISCO (Web Services Discovery) é o processo de localizar o ficheiro WSDL associado a um Web service.

O UDDI (Universal Description Discovery) é uma tecnologia elaborada para com facilidade e dinamicamente encontrar Web services e interagir com outros serviços.

4.4.2. Web Services em .NET com Visual Studio

Para criar um Web Service em .NET é necessário adicionar em qualquer projeto um objeto que se denomina por Web service e que possui uma extensão do tipo .asmx. Este ficheiro possui uma única linha com o seguinte código:

```
<%@ Web Service Language="C#" CodeBehind="~/App_Code/Web  
Service.cs" Class="Web Service" %>
```

Esta linha irá instruir o compilador para ser executado em modo de Web Service e o nome da classe C#. Para aceder via navegador aos métodos do Web service é necessário aceder ao caminho do ficheiro asmx. Este ao ser criado é criada também uma pasta denominada por “AppCode” onde é colocada a classe que possui a lógica do Web service.

Essa classe possui por defeito o seguinte método web:

```
[WebMethod]
public string HelloWorld() {
    return "Hello World";
}
```

Este método apenas retorna a string “Hello World”. Os métodos do Web Service são chamados por GET e por POST, sendo que para tal é necessário definir no ficheiro de configuração da aplicação ASP.NET, no ficheiro web.config esta permissão adicionando o seguinte nó ao ficheiro:

```
<Web Services>
  <protocols>
    <add name="HttpGet"/>
  </protocols>
</Web Services>
```

A figura 38 pretende demonstrar o recurso a Web Services no sistema iPlug.

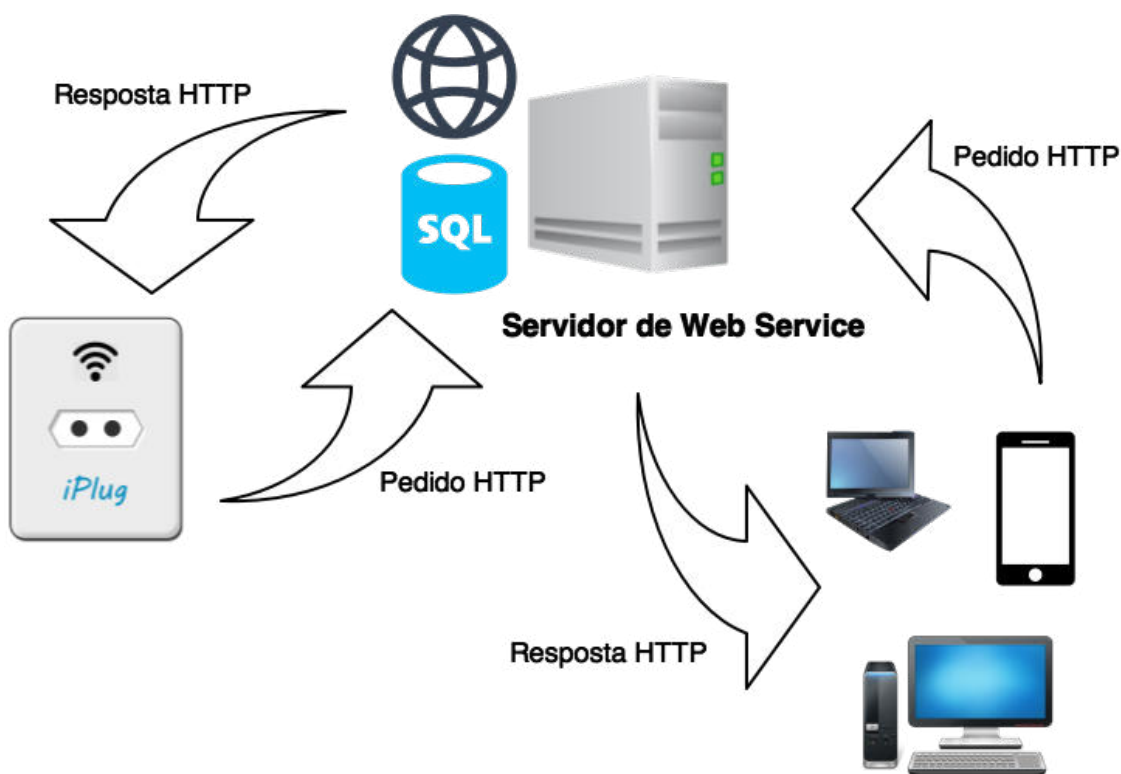


Figura 38 - Uso dos Web Services pelo iPlug e dispositivos clientes

4.4.3. Web Service Arduino – Base de dados

De forma a colocar os dados de monitorização na base de dados e verificar se existem ordens pendentes é usado apenas um Web Service. Este Web service designa-se por “webservice_s” e tem como parâmetros de entrada o id do sistema, o valor de monitorização a registar na base de dados bem como o nome de utilizador e palavra passe do proprietário do sistema.

Procedeu-se à autenticação do Web service de forma a introduzir mais segurança no sistema com o objetivo de não permitir que alguém com acesso ao endereço do Web service coloca-se dados no sistema. Assim é verificado se o utilizador é válido e se o mesmo é proprietário do sistema com o id enviado e só em caso afirmativo poderá registar os dados no sistema.

Este Web service retorna uma das três strings “***”, “###” e “%%%” se existir uma ordem pendente de comando ON o Web Service retorna a string “***” (três asteriscos), se a ordem pendente for OFF retorna “###” (três cardinais) e se não existir nenhuma ordem pendente devolve “%%%”.

Usou-se um único método de comunicação com o sistema de forma a simplificar o sistema, mas também com o objetivo de primar pela eficiência e rapidez.

Há apenas algumas considerações a fazer relativamente ao consumo de Web Services em Arduino com o chip Wi-Fi ESP8266. É necessário que o chip esteja no modo de conexão única e é necessário referir que o pedido é feito por GET.

4.4.4. Web Services na Aplicação móvel – Base de dados

Na aplicação móvel são utilizados vários Web services para assegurar as várias funcionalidades da aplicação, os mesmos são descritos na tabela 9.

Web Service	Parâmetros de entrada	Parâmetros de saída	Funcionalidade
validate_user	Nome de utilizador e password	Verdadeiro ou falso	Autenticar o utilizador
user_nodes	Nome de utilizador e password	Lista de strings	Devolve uma lista de sistemas iPlug para um determinado utilizador
last_readings	Id do sistema iPlug, nome de utilizador e password	Lista de strings	Devolve uma lista com as ultimas dez registos de monitorização para um determinado sistema iPlug
state_lastReading	Id do sistema iPlug, nome de utilizador e password	String	Devolve o último registo de monitorização e o estado de funcionamento (ON/OFF) para um determinado sistema iPlug
insert_control	Id do sistema iPlug, nome de utilizar, password e ordem a executar (0 – OFF; 1- ON)	String	Regista um comando ON ou OFF para um determinado sistema iPlug

Tabela 9 - Web Services usadas na aplicação iPlugMobile

Todos os Web Services são autenticados, isto é para aceder a informação do sistema iPlug ou para enviar comandos ON/OFF é verificada a autenticidade do utilizador e seguidamente verificado se o sistema pertence a esse utilizador.

É utilizado um Web Service denominado validate_user para executar a validação do utilizador ao aceder à aplicação e executar o processo de login, apenas se o utilizador estiver válido é que pode aceder aos dados do sistema.

Após a autenticação do utilizador é consumido o Web Service user_nodes de forma a mostrar ao utilizador todos os sistemas que lhe pertencem.

Seguidamente o utilizador pode também selecionar um sistema e obter logo a informação da última ordem executada mas também do último registo de consumo com recurso ao Web service denominado por `state_lastReading`.

Na aplicação `iPlugMobile` é também possível aceder a uma lista com os últimos 10 registos de consumo através do Web Service `last_readings` ou navegar para a área de envio de comandos com recurso ao Web Service `insert_control`.

4.4.5. Segurança

A aplicação Web no momento não implementa nenhum certificado SSL por motivos de custos a nível económicos de implementação mas no futuro está prevista a instalação de um certificado SSL. A comunicação entre o dispositivo móvel e o Web service é no momento altamente insegura sendo que na autenticação sem o certificado SSL as credências são transferidas como um texto completamente legível e existindo alguém na rede a escutar os pacotes de tráfego facilmente consegue aceder às mesmas.

Com a implementação de um certificado SSL associado isto já não acontece porque as credências são transferidas não como texto legível mas sim encriptadas e mesmo que existisse alguém na rede a escutar os pacotes de tráfego esse alguém não conseguiria obter as credências dos utilizadores.

As credências dos utilizadores são armazenadas numa classe denominada por `Membership` fornecida pelo ASP.NET, assim as palavras passe são armazenados não na base de dados de desenvolvimento mas sim numa base de dados criada automaticamente para o efeito e denominada por `ASPNETDB`. Desta forma as palavras passe são armazenadas com encriptação utilizando o algoritmo de hash SHA1.

Com o objetivo de validar os utilizadores o ASP.NET fornece o método denominado `ValidateUser` que é utilizado para validar os utilizadores. Este método tem como parâmetros de entrada o nome de utilizador e palavra passe e retorna um valor booleano indicando se é ou não um utilizador válido.

4.5 Aplicação web - iPlugWeb

Seguidamente é analisada a aplicação web, iPlugMobile, sendo sucintamente explicadas quais as suas funcionalidades. Esta aplicação é construída em ASP.NET C# no IDE Visual Studio Web Developer. A nível de design foi utilizado um template responsivo de forma a que o mesmo se adapte aos diversos tipos de ecrãs.

A aplicação web possui dois tipos de utilizadores, administradores e proprietários do sistema iPlug. Assim sendo a aplicação web também se divide em duas partes: backoffice para gestão de sistemas iPlug e a frontoffice que permite aos proprietários do iPlug visualizem e interagem com os seus sistemas.

4.5.1. Base de dados

A base de dados do sistema é construída com a tecnologia de SQL SERVER e foi idealizada com o objetivo de ser o mais simples possível, armazenando unicamente os dados necessários e imprescindíveis para o correto funcionamento das aplicações.

Antes de analisar a base de dados é necessário definir e explicar dois conceitos:

- **Node** (Nó) – cada sistema iPlug corresponde a um registo na tabela Node.
- **Base** – cada base corresponde a uma associação ou um conjunto de nós.

Um utilizador pode possuir várias bases à qual estão a associados vários nós. Essencialmente a base é uma forma de associar vários nós. Conceptualmente por exemplo num edifício existe uma base que possui um nó por cada tomada.

A figura 39 pretende mostrar o relacionamento entre utilizador, base e nó.

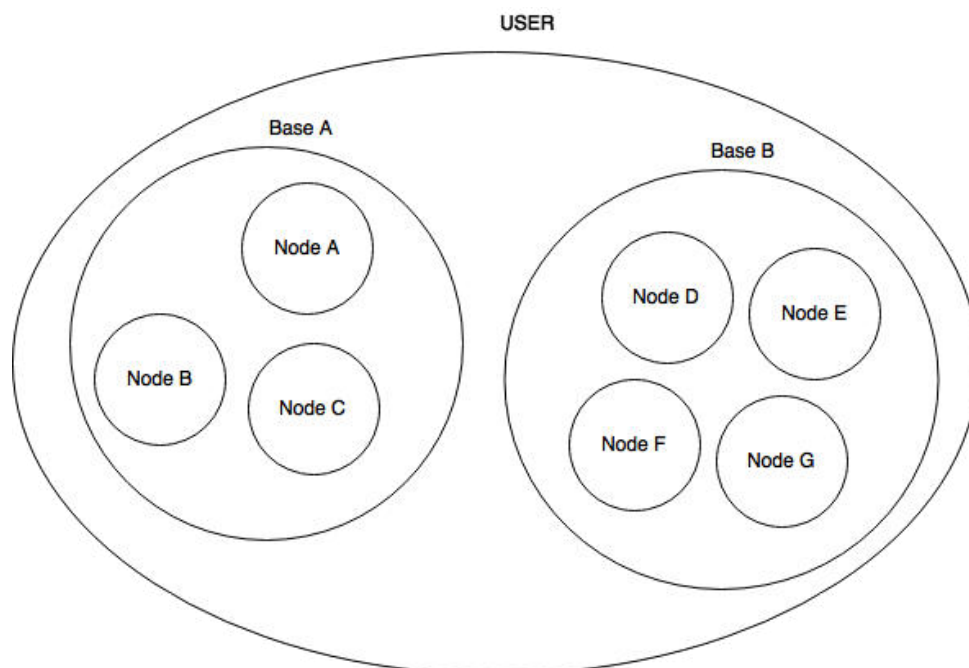


Figura 39 - Relação entre Utilizador, base e nó

A Base de dados é constituída por 5 tabelas sendo elas (figura 40):

- **USER_Table** – tabela onde são armazenados os dados de utilizador, nomeadamente o nome de utilizador e correio eletrónico.
- **Base** – tabela onde são guardadas informações da base nomeadamente o utilizador a que pertence, a data de criação e a sua localização.
- **Node** – tabela onde são armazenados os dados de cada nó (sistema iPlug), nomeadamente a base a que estão associados, a zona, uma denominação e a data de criação.
- **Data** – tabela onde são armazenados os dados da monitorização de consumo energético, o valor de consumo, a data do mesmo e o nó correspondente;
- **Control** – tabela onde são armazenadas os dados dos comandos de controlo ON/OFF acionados pelo utilizador, nomeadamente é guardado o nó (sistema iPlug) sobre o qual é feita a intervenção, o tipo de comando (ON/OFF), a data e o estado que codifica se o comando foi ou não executado.

A figura 40 corresponde ao diagrama da base de dados do sistema.

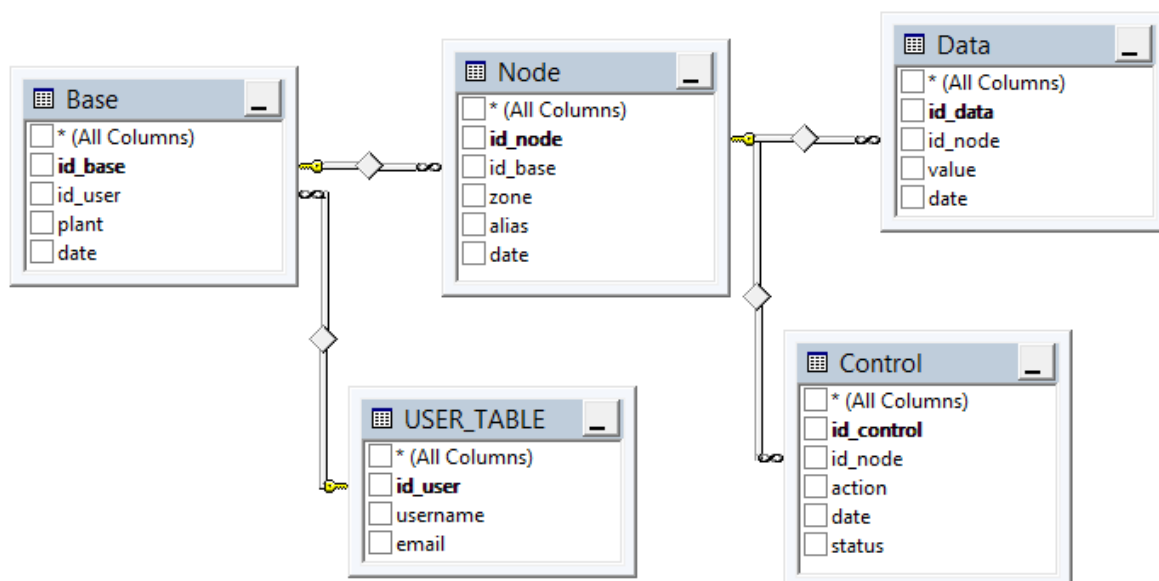


Figura 40 - Diagrama de base de dados

4.5.2. Backoffice

A área de backoffice é reservada a administradores do iPlugWeb, e é constituída por três módulos, módulo de criação de bases (figura 41), módulo de criação de nós (figura 42) e um módulo para visualizar os sistemas registados (figura 43).

Estes módulos permitem a atribuição de sistemas a utilizadores já registados de forma a possibilitar que o utilizador tenha acesso aos seus sistemas iPlug na aplicação Frontend.

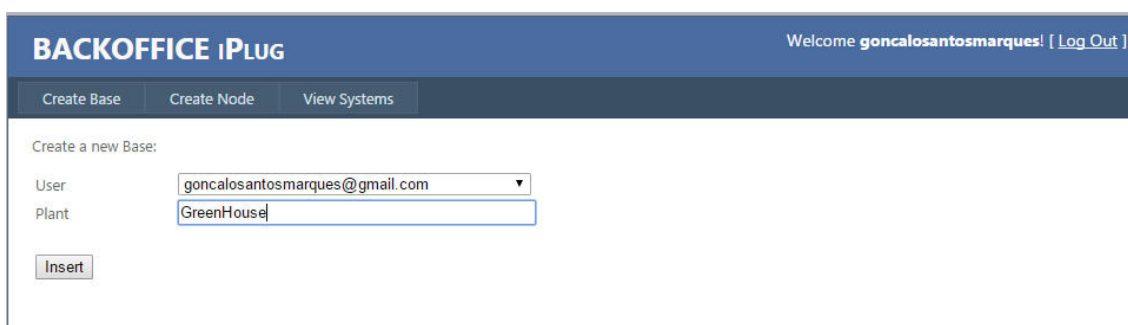


Figura 41 - Módulo de criação de bases

BACKOFFICE iPLUG Welcome **goncalosantosmarques!** [[Log Out](#)]

Create Base Create Node View Systems

Create a new Node:

Base:

Zone:

Alias:

Figura 42 - Módulo de criação de nós

BACKOFFICE iPLUG Welcome **goncalosantosmarques!** [[Log Out](#)]

Create Base Create Node View Systems

ID	USER	PLANT	DATE	
Selecionar	1	goncalosantosmarques@gmail.com	GreenHouse	02/05/2015 00:00:00

ID	ZONE	ALIAS	DATE
1	A	East_Node	02/05/2015 00:00:00

Figura 43 - Módulo de visualização dos sistemas existentes

4.5.3. Frontoffice

A aplicação frontoffice permite ao proprietário aceder à informação dos seus sistemas iPlug e controlar o mesmo. Primeiramente o utilizador terá de se registar no sistema com recurso ao formulário da figura 44.

iPLUG [Log In](#)

MAIN MENU

- Dashboard
- Data
- Control
- Charts

Create a New Account

Use the form below to create a new account.
 Passwords are required to be a minimum of 8 characters in length.

User Name:

Password:

Confirm Password:

E-mail:

© iPlug 2014 - 2015 Powered by: [Charisma](#)

Figura 44 - Formulário de registo

Na página principal podemos seleccionar a base e são listados os sistemas iPlug associados à mesma, como se mostra na figura 45.

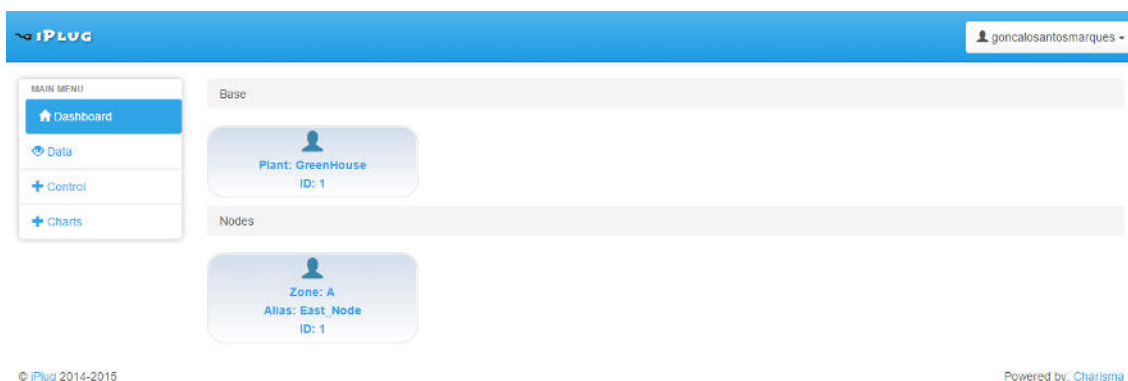


Figura 45 - HomePage utilizador autenticado

Ao seleccionar o sistema iPlug pretendido somos encaminhados para a página da figura 46 onde são listadas três tabelas que pretendem fornecer as informações mais recentes e importantes do sistema iPlug.

À esquerda são listados os últimos 10 registos de monitorização, ao centro são exibidas todas as informações do sistema iPlug nomeadamente a base a que pertence, a zona, a denominação e a data de criação e à direita são listados os pedidos de controlo ON/OFF juntamente com as datas dos mesmos e o seu estado.

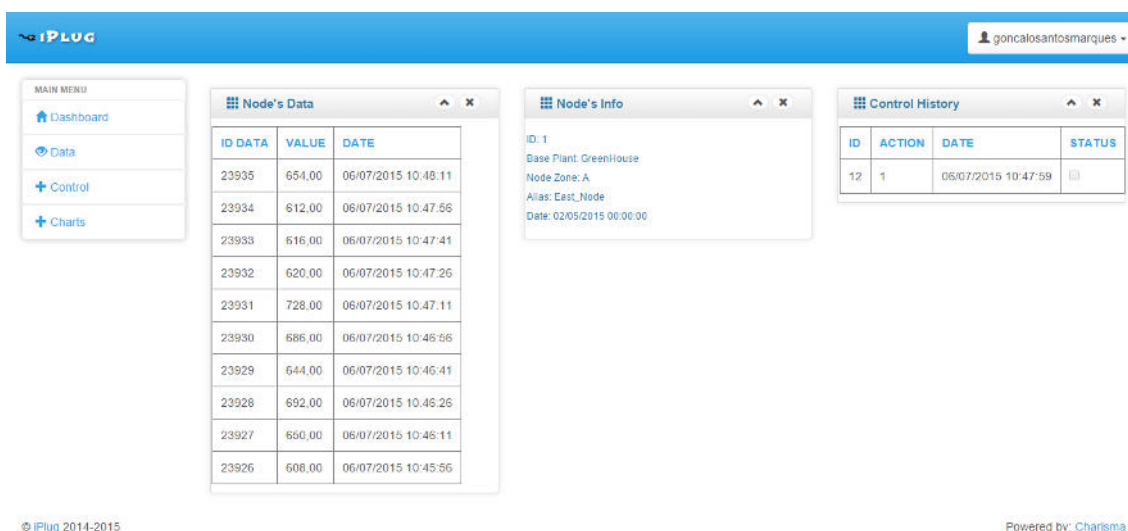
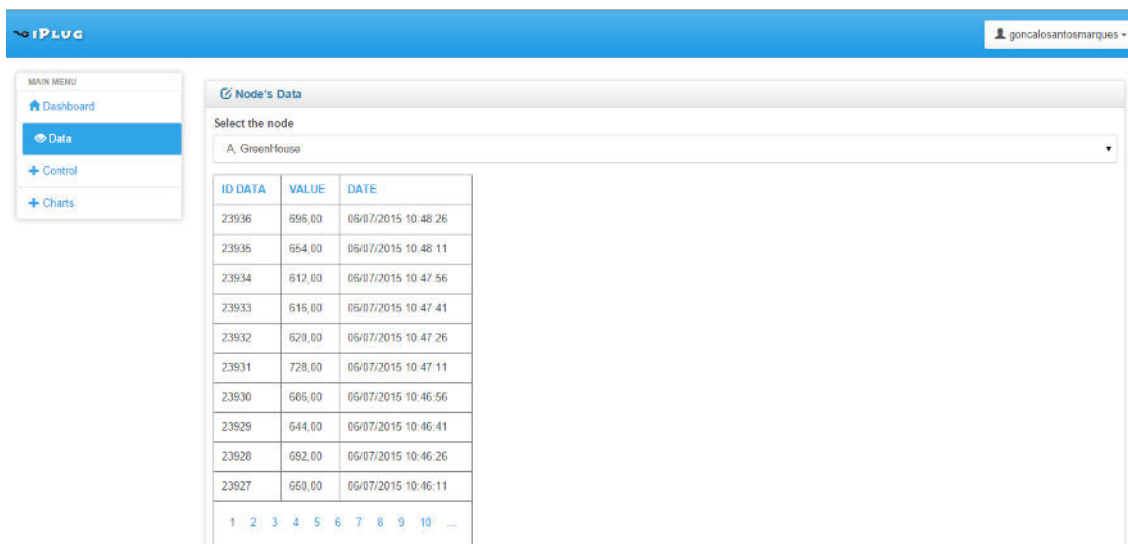


Figura 46 - Informação do nó, últimos dados de consumos e de controlo

Na página “Data” o utilizador pode seleccionar o sistema iPlug pretendido e é listada toda a informação de monitorização existente para o mesmo, ordenada de forma decrescente. É exibido o ID do registo, o valor do mesmo bem como a data a que se refere (figura 47).



The screenshot shows the 'Node's Data' page in the iPlug interface. The page title is 'Node's Data' and it includes a dropdown menu to 'Select the node' with 'A, GreenHouse' selected. Below this is a table with three columns: 'ID DATA', 'VALUE', and 'DATE'. The table contains 10 rows of data, sorted in descending order of value. At the bottom of the table, there is a pagination control showing '1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...'.

ID DATA	VALUE	DATE
23936	698,00	06/07/2015 10:48:26
23936	654,00	06/07/2015 10:48:11
23934	612,00	06/07/2015 10:47:56
23933	616,00	06/07/2015 10:47:41
23932	620,00	06/07/2015 10:47:26
23931	728,00	06/07/2015 10:47:11
23930	686,00	06/07/2015 10:46:56
23929	644,00	06/07/2015 10:46:41
23928	692,00	06/07/2015 10:46:26
23927	660,00	06/07/2015 10:46:11

Figura 47 - Dados de monitorização de consumo de cada nó

A página “Insert Control” possui a funcionalidade de executar comandos ON/OFF. Para a utilização da mesma é necessário seleccionar o sistema iPlug e o comando ON ou OFF e de seguida clicar no botão execute, tal como se representa na figura 48.



The screenshot shows the 'Node's Control' page in the iPlug interface. The page title is 'Node's Control' and it includes a dropdown menu to 'Select the node' with 'A, GreenHouse' selected. Below this is another dropdown menu to 'Select the Control Type: ON or OFF' with 'ON' selected. At the bottom, there is an 'Execute' button. The page also includes a main menu on the left with 'Insert Control' highlighted, and a footer with '© iPlug 2014-2015' and 'Powered by: Charisma'.

Figura 48 - Envio de comandos de controlo

Na página “History” é possível visualizar o histórico dos pedidos de controlo efetuados bem como o estado dos mesmos, podendo o utilizador verificar se o seu pedido já foi ou não executado (figura 49).

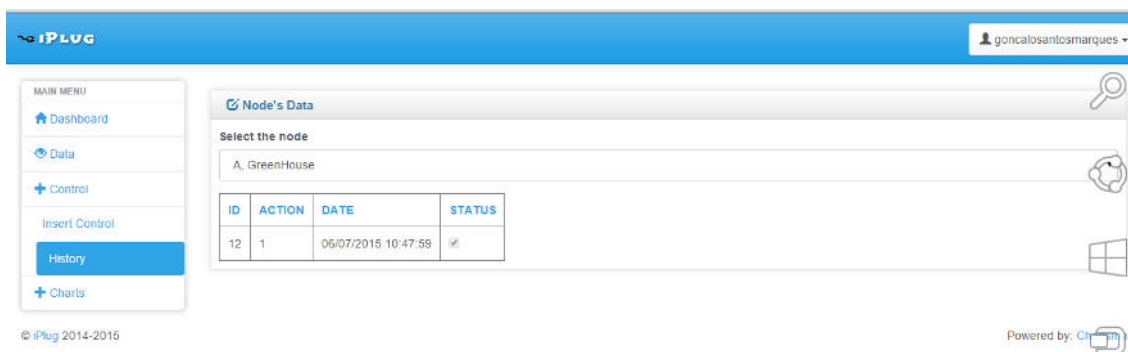


Figura 49 - Dados de controlo enviados

De forma a permitir ao utilizador uma melhor experiência de visualização da informação dos seus sistemas foram criadas várias páginas de listagem gráfica de dados.

Os gráficos são construídos com recurso ao controlo “Chart” da framework 4.0 que permite gerar vários tipos de gráficos com dados estáticos ou dinâmicos.

Na página “Last Data Charts” são exibidos gráficos com os últimos dados de monitorização de consumo energético em KWh.

Na figura 50 podemos visualizar os últimos 10 registos de monitorização.

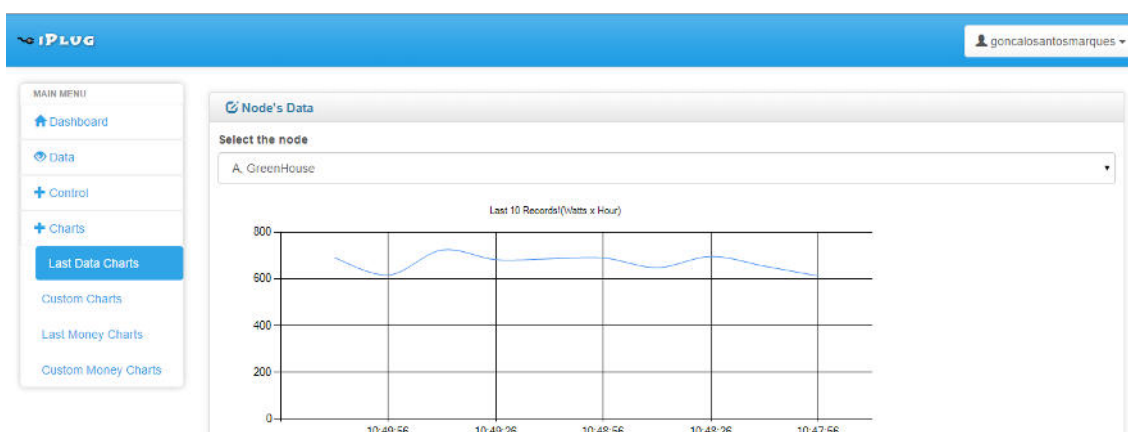


Figura 50 - Gráficos com os últimos 10 dados de monitorização

Na figura 51 é representado o consumo energético dos últimos dias, que permite, de uma forma simples, dar a informação dos dias em que é consumida mais ou menos energia.

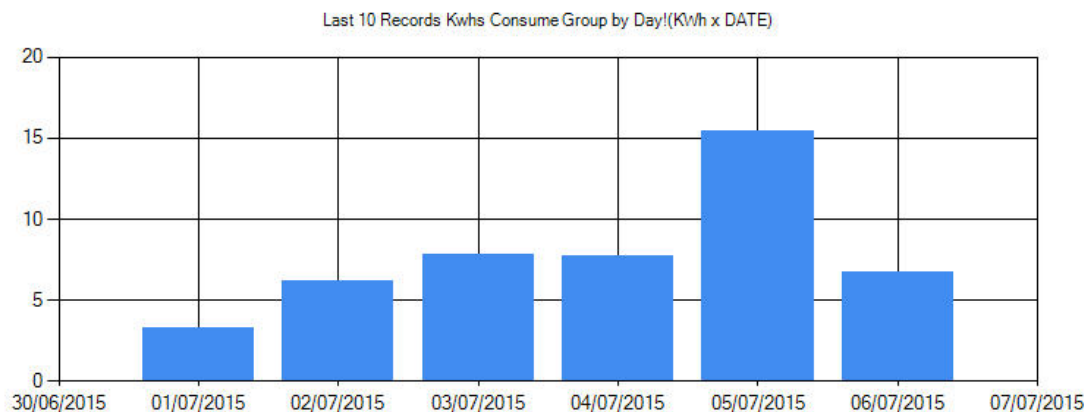


Figura 51 - Gráfico de consumo por dia em KWh

É também representado graficamente o consumo de energia por mês. Desta forma o utilizador pode facilmente comparar a variação de consumo ao longo do ano (figura 52).

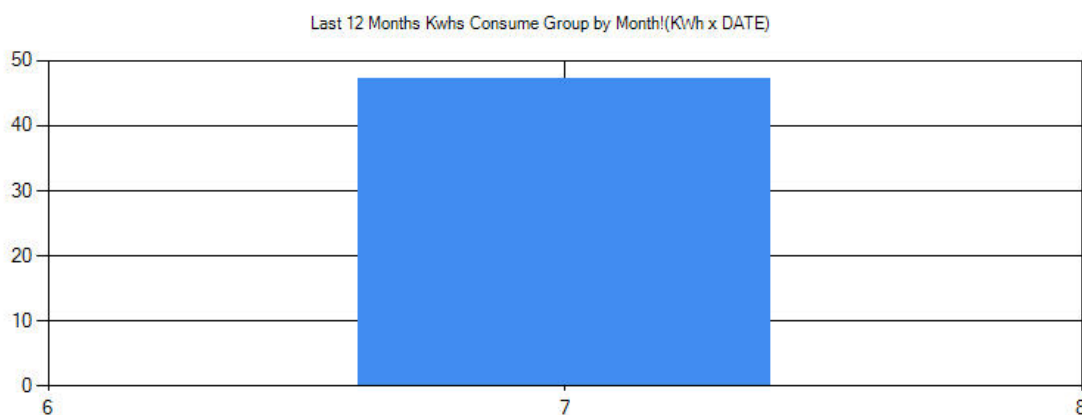


Figura 52 - Gráfico de consumo por mês em KWh

É ainda representado a variação do consumo energético nas últimas 10 horas, de forma ao utilizador perceber a variação dos seus consumos que ocorrem recentemente. Esse gráfico exibido na figura 53.

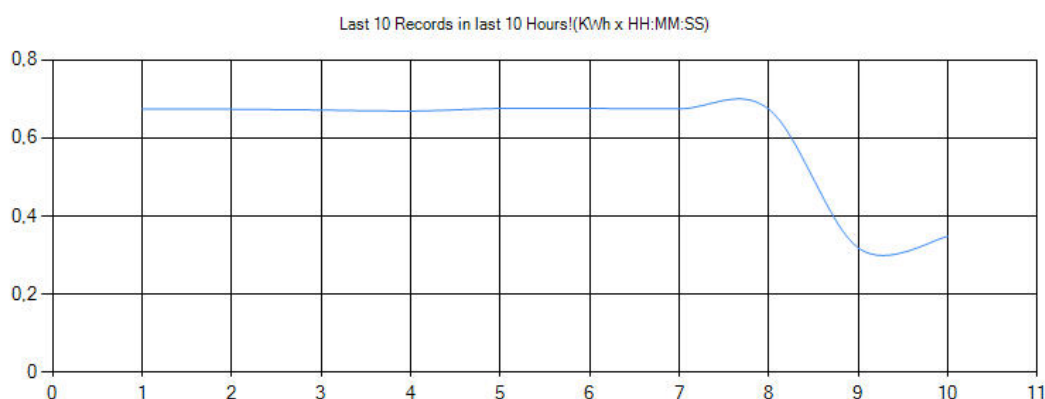


Figura 53 - Gráfico de consumos por hora em KWh

Na página “Custom Charts” são exibidos gráficos que podem ser filtrados de acordo com as preferências do utilizador. Na figura 54 é representado um gráfico de consumo de energia agrupado por dia e para o qual o utilizador pode seleccionar a data inicial e a data final.

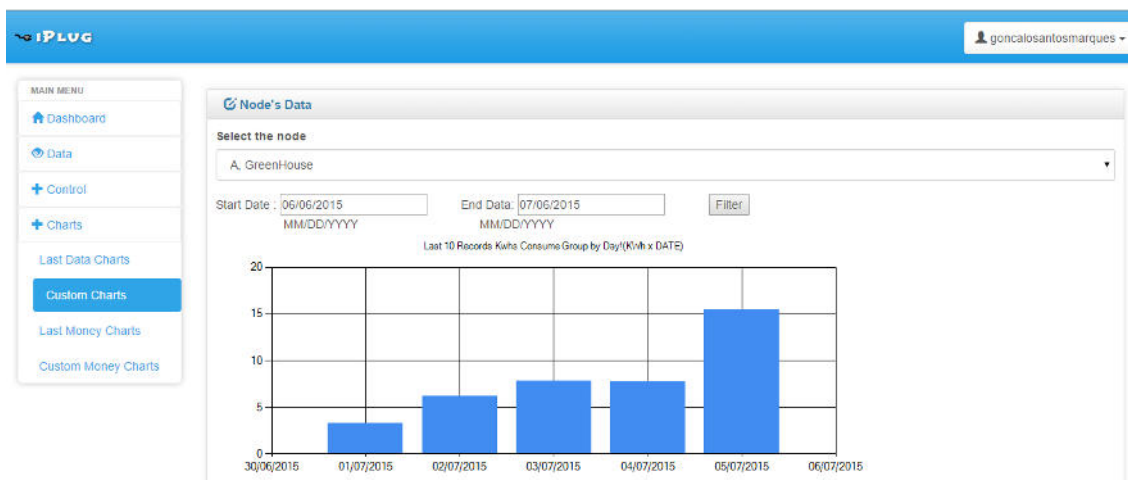


Figura 54 - Dados de consumo em KWh por dia filtrados pelo utilizador

Na figura 55 é exibido o gráfico de consumos de energias agrupado por mês e onde o utilizador pode iniciar a data inicial e final desejada.

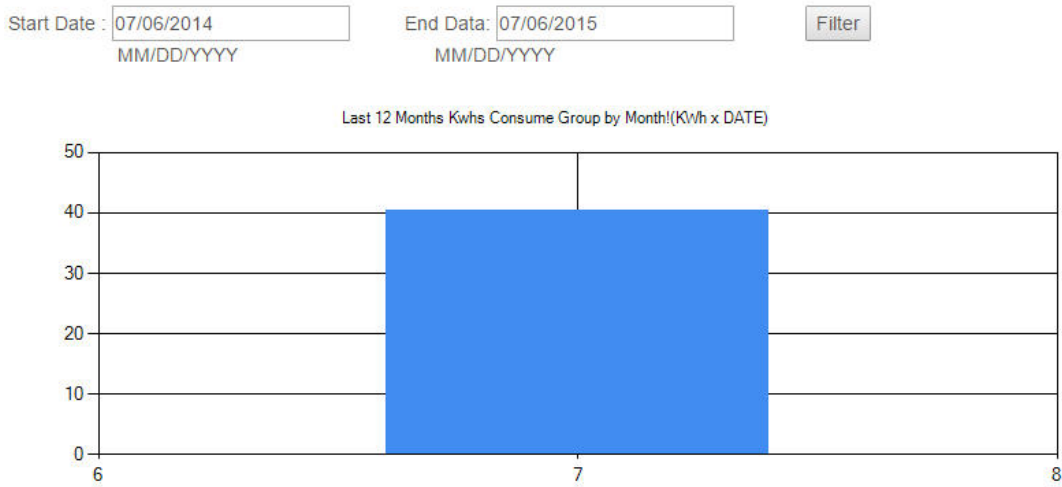


Figura 55 - Dados de consumo em KWh por mês filtrados pelo utilizador

Na figura 56 é representado o consumo de energia por hora filtrado de acordo com as preferências do utilizador.

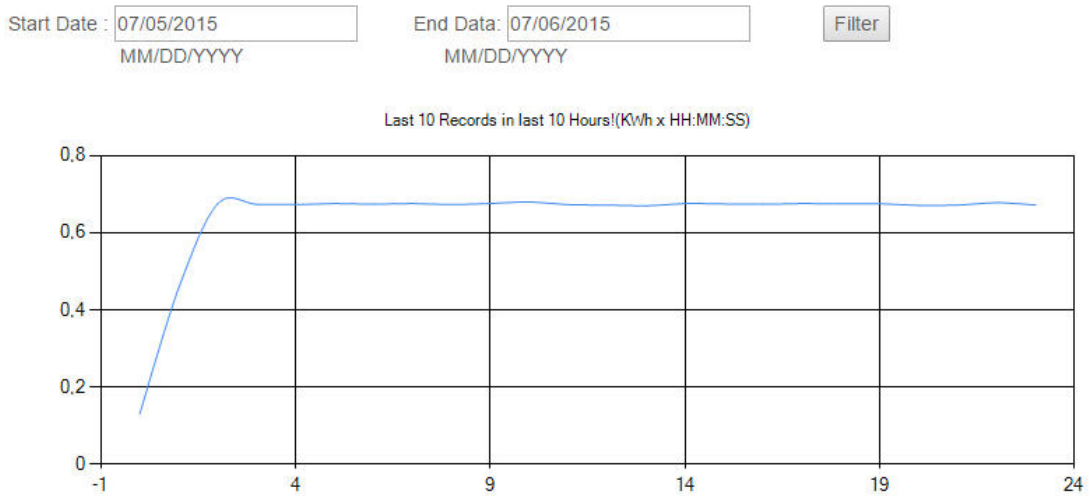


Figura 56 - Dados de consumo em KWh por hora filtrados pelo utilizador

Na página “Last Money Charts” podemos visualizar graficamente o valor em € de consumo energético de agrupado por dia (figura 57) e por mês (figura 58).

A tarifa base é 0.15€ mas a mesmo pode ser alterada pelo utilizador de acordo com a tabela que paga ao seu distribuir de energia.

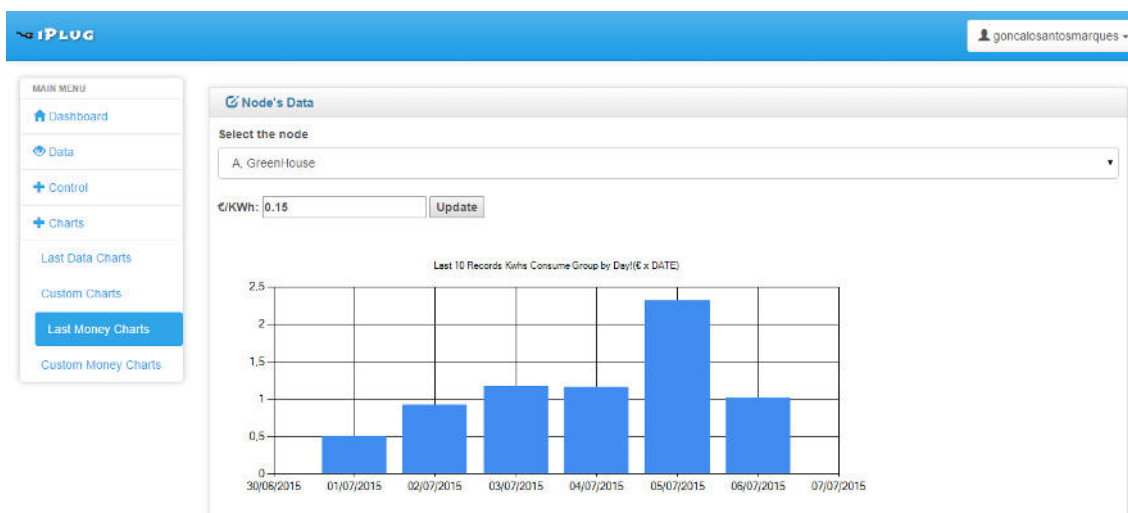


Figura 57 - Dados de consumo em € por dia segundo a tarifa especificada pelo utilizador

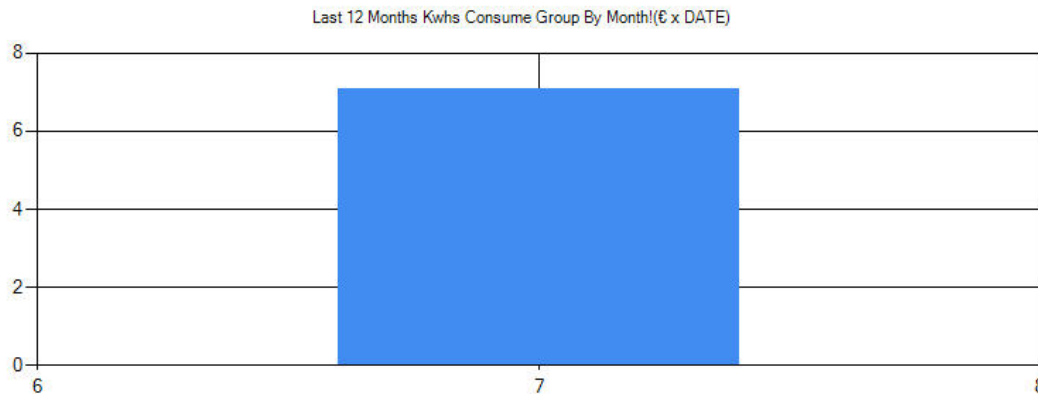


Figura 58 - Dados de consumo em € por mês

Na página “Custom Money Charts” o utilizador pode observar o valor de consumo agrupado por dia (figura 59) e por mês (figura 60) filtrado de acordo com as suas preferências. Para tal o utilizador terá de inserir e alterar se necessário os parâmetros da tarifa e da data de início e de fim.

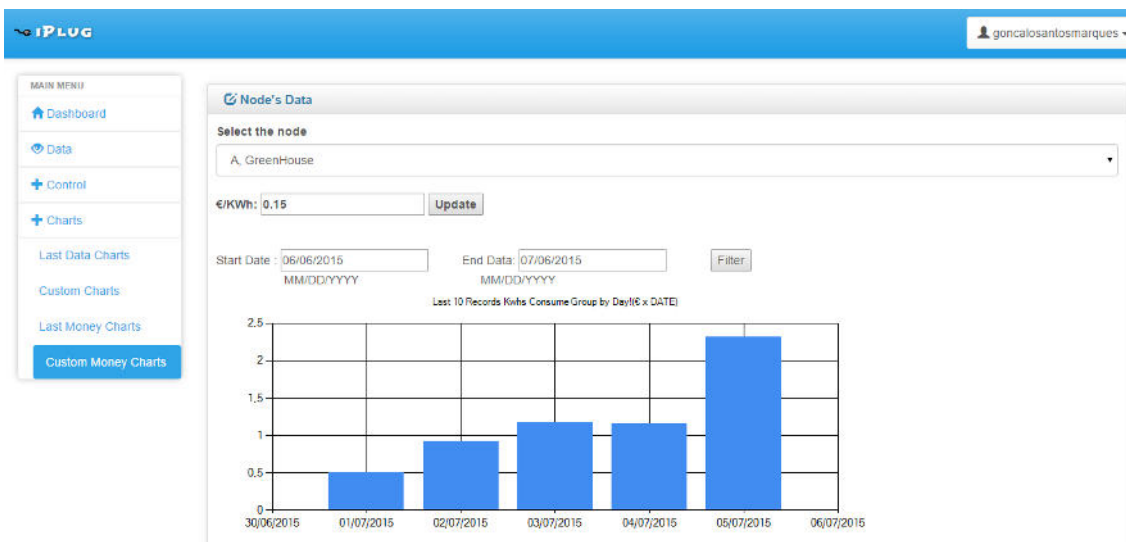


Figura 59 - Dados de consumo em € por dia filtrados pelo utilizador

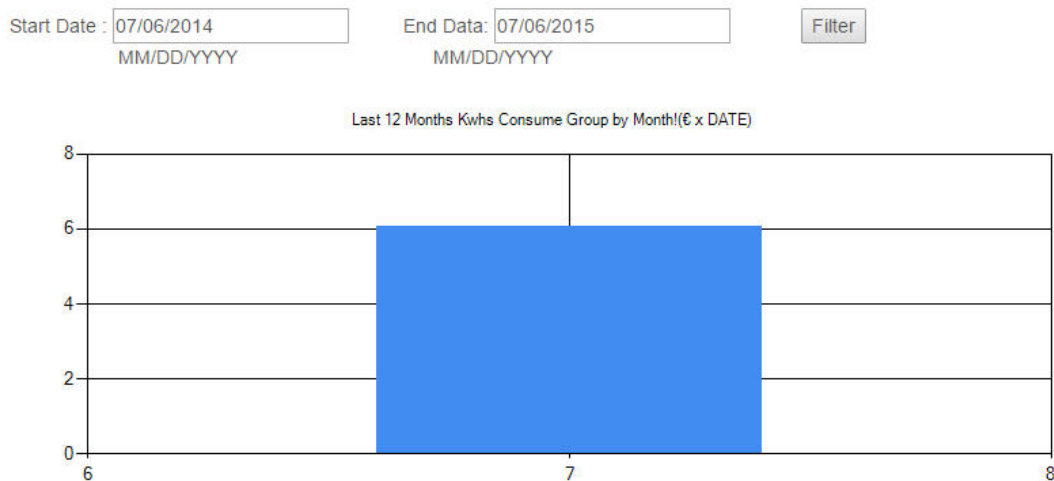


Figura 60 - Dados de consumo em € por mês filtrados pelo utilizador

4.6 Aplicação IOS – iPlugMobile

A aplicação móvel, iPlugMobile, foi desenvolvida para iOS na nova linguagem da apple, Swift no IDE Xcode. Swift é uma linguagem de programação potente e intuitiva para iOS (iPhone e iPad), OSX (Mac) e watchOS (iWatch) [40].

Com recurso à aplicação móvel o utilizador pode aceder a várias funcionalidades, podendo visualizar o estado do seu sistema, visualizar os últimos registos de monitorização de energia, visualizar gráficos e controlar o seu dispositivo.

A figura 61 mostra o ícone da aplicação assinalado com um círculo no menu do iOS.

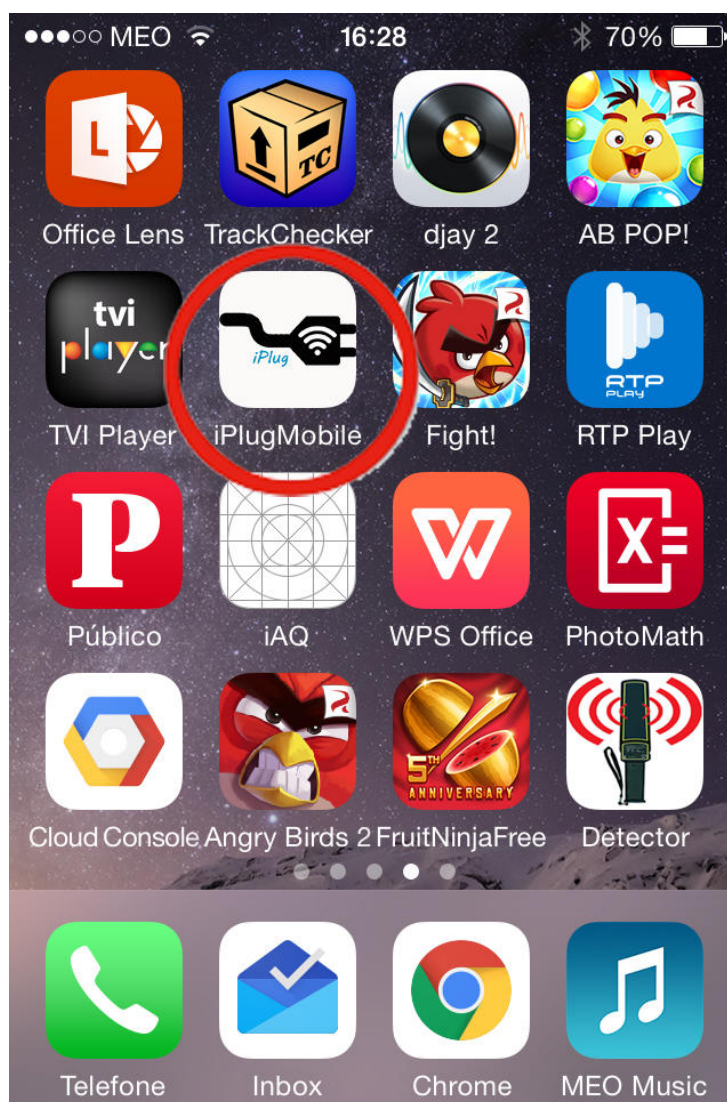


Figura 61 - iPlugMobile

Ao abrir a aplicação iPlugMobile o utilizador tem de se autenticar de forma a poder aceder aos seus sistemas, para isso tem de introduzir o seu nome de utilizador e palavra passe.

A autenticação é realizada através de Web service com recurso ao método web validate_user, o mesmo recebe como parâmetros de entrada o nome de utilizador e a palavra passe e retorna verdadeiro se as mesmas corresponderem. A figura 62 mostra o aspeto da página de autenticação.

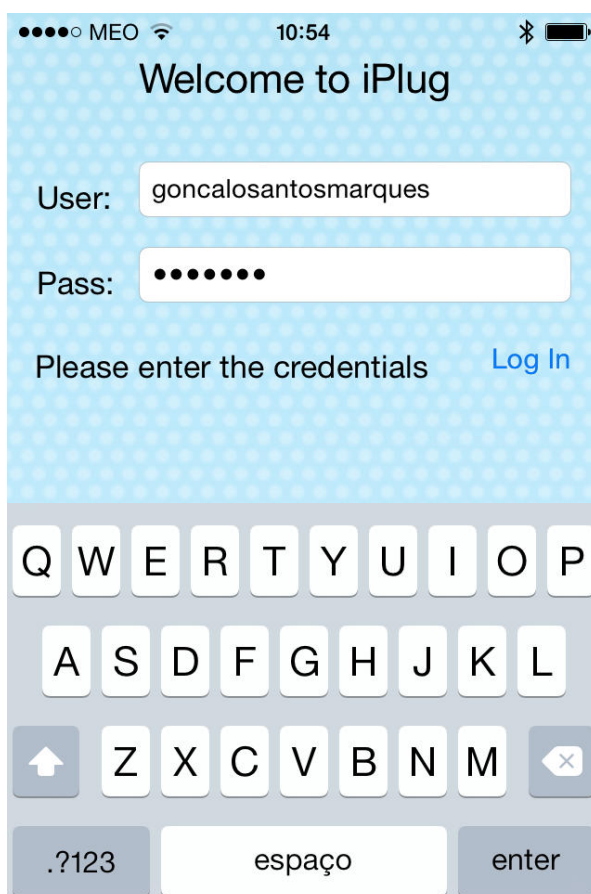


Figura 62 - Página de autenticação

Após autenticação bem-sucedida o utilizador é encaminhado para a página “iPlug Node’s”. Nesta página o utilizador pode visualizar todos os seus sistemas e seleccionar o sistema pretendido. Os sistemas são listados com recurso a um controlo UIPickerView que é utilizado para executar uma seleção entre múltiplas opções, é um controlo semelhante a um dropdownlist que é utilizado em aplicações web. Os dados dos sistemas iPlug são obtidos através do consumo do Web service denominado por user_nodes. Ao seleccionar um sistema o utilizador acede à informação do seu estado, se está ou não em funcionamento e o último registo de consumo executado pelo mesmo. Tal informação é obtida através do Web service denominado por state_lastReading. Assume-se que o sistema não está a funcionar se o mesmo não tem registos de consumo no minuto anterior ao qual é feita a seleção. Nesta página da aplicação representada na figura 63 o utilizador tem acesso às restantes funções de visualização de registos de consumo em tabela, aos gráficos e ao controlo do sistema clicando no botão “Readings”, “Charts” e “Control” respetivamente.

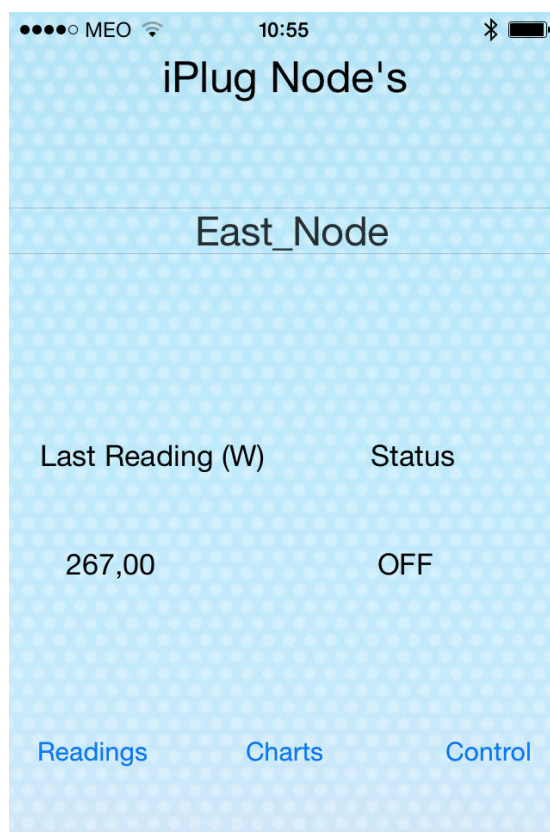


Figura 63 - Página de seleção do nó

A página “Last 10 Records!” (figura 64) permite aceder aos últimos 10 registos do sistema seleccionado, a listagem dos dados é feita com recurso a um controlo denominado por UITableView, este permite a visualização de um conjunto de dados dispostos numa tabela com uma coluna e permite “scrolling” de forma fluida e natural.

Os últimos 10 registos de monitorização são obtidos com o consumo do Web service denominado por last_readings.

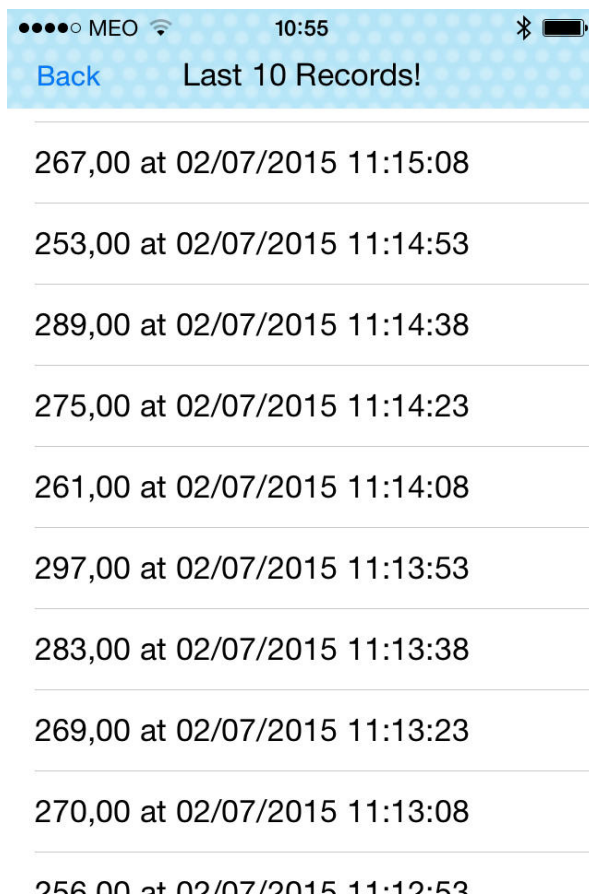


Figura 64 - Últimos 10 registos de consumo energético

Na página “Charts” da aplicação é possível visualizar gráficos onde são representados os consumos de energia constituindo um conjunto de 4 gráficos um que representa os últimos 10 registos, e os restantes com os consumos agrupados por hora, dia e mês.

De forma a mostrar estes gráficos foi usado o controlo UIWebView que permite mostrar uma página web no ecrã da aplicação móvel.

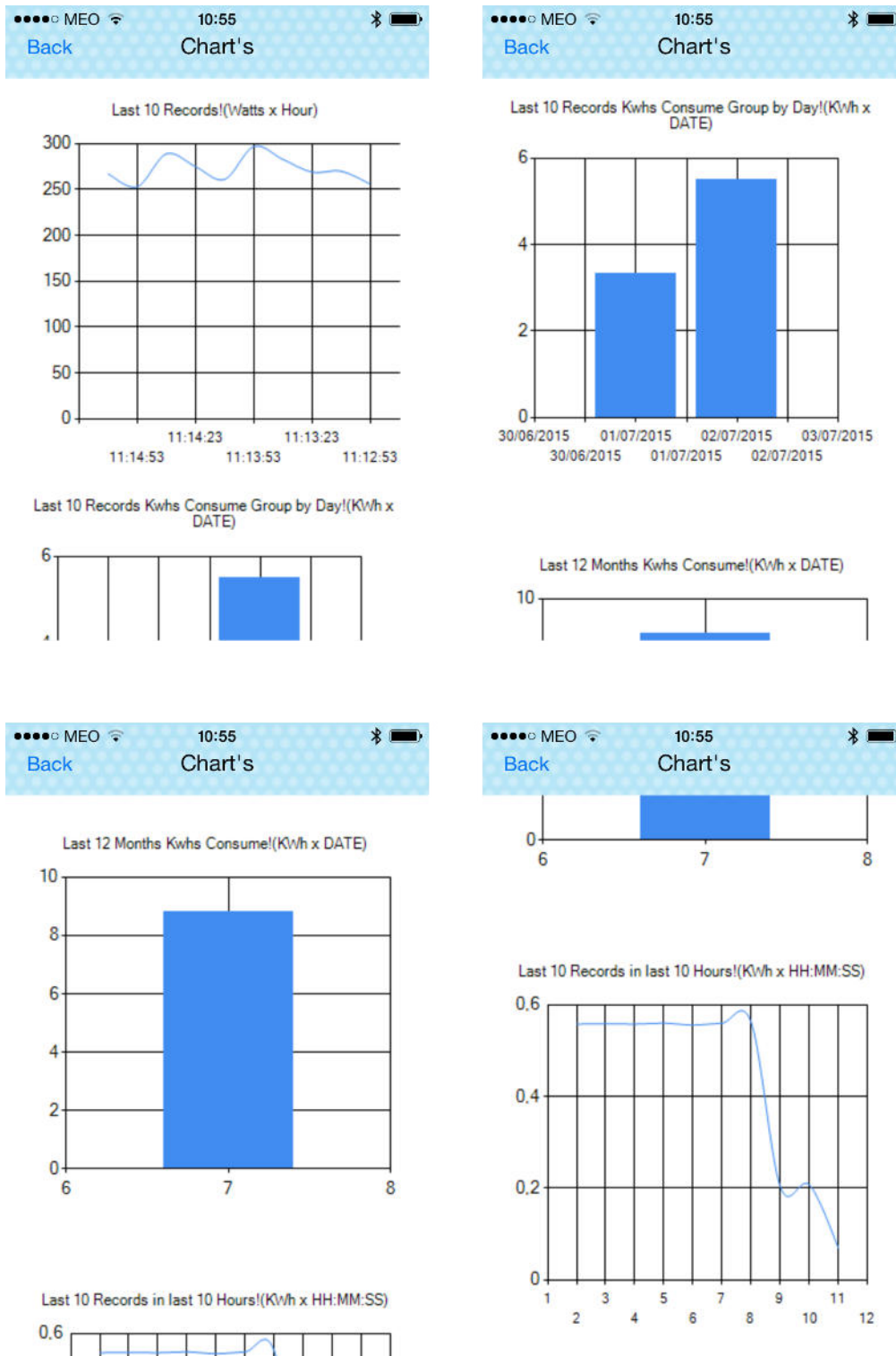


Figura 65 - Gráficos da aplicação móvel

Por último há que referir a página “Send ON/OFF Command” que permite ao utilizador controlar o seu sistema. De forma a enviar comandos ON/OFF é consumido o Web service denominado por insert_control.

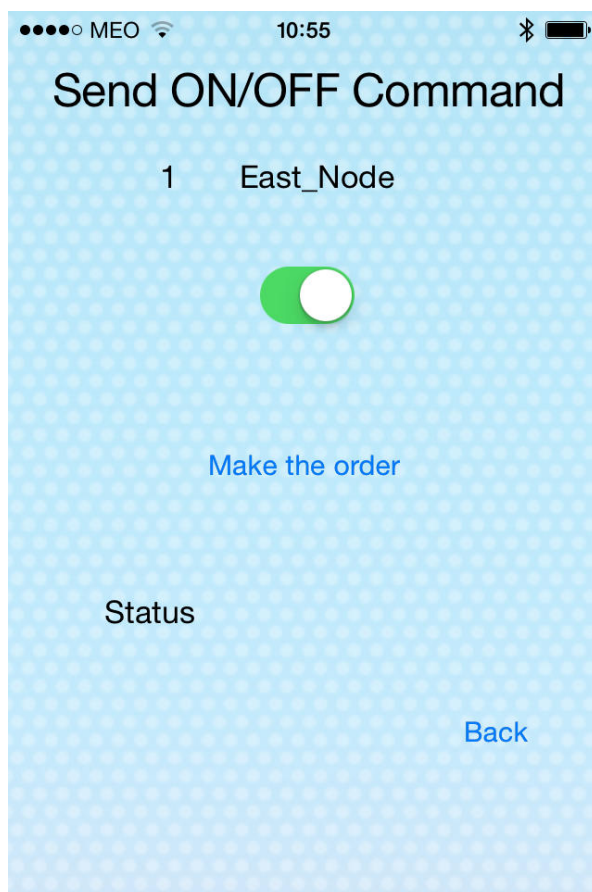


Figura 66 - Página de envio de comandos de controlo

CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

Neste capítulo é feita uma reflexão sobre o trabalho realizado avaliando quais os objetivos que foram atingidos e resumindo as contribuições do presente documento. Seguidamente são abordados os aspectos a melhorar e perspectivas de evolução futura.

5.1 Conclusão

Neste trabalho foi apresentada a construção de um sistema inteligente denominado por iPlug que permite monitorizar e controlar o consumo de energia dos equipamentos a ele ligados considerando a corrente consumida pelo equipamento e a tensão da rede. Este sistema de monitorização do consumo eléctrico de equipamentos permite ser controlado à distância via portal web (iPlugWeb) ou aplicação móvel (iPlugMobile).

No mercado existem várias soluções de monitorização, no entanto o iPlug destaca-se por vários fatores:

1. Recolha de dados de consumo e controlo ON/OFF:
 - a) O sistema iPlug permite fazer a análise em tempo real do consumo de energia, considerando não só a corrente consumida pelo equipamento eléctrico, mas também o valor da tensão da rede visto que a mesma também poderá ter variações significativas.
 - b) O iPlug incorpora controlo de tomadas à distância através do envio de comandos ON/OFF, o que permite ligar e desligar equipamentos possibilitando poupança de energia de forma imediata.
2. Registo de dados de consumo e controlo numa base de dados e visualização da informação de forma ubíqua:
 - a) Os dados recolhidos pelo iPlug são inseridos numa base de dados estruturada de forma a guardar o histórico do consumo dos equipamentos. Estes dados poderão ser acedidos através de uma das aplicações iPlugWeb e iPlugMobile e possibilitando o acesso a informação útil, como por exemplo o consumo instantâneo, por hora, por dia, por mês e

por ano através de gráficos. O sistema guarda também o registo de todas as atividades de controlo

- b) O acesso aos dados pode ser feito a partir da plataforma Web, iPlugWeb, e da aplicação móvel, iPlugMobile, estando os mesmos disponíveis em qualquer lado e a qualquer momento.
3. Sistema de baixo custo:
 - a) O sistema é de baixo custo, a construção do protótipo custa cerca de 60€, que seria muito mais baixo se construído em massa mas é constituído por componentes fiáveis apresentando um bom preço face aos produtos concorrentes.
 4. Sistema centrado no paradigma da Internet das Coisas:
 - a) O sistema transformar equipamentos que não estão abrangidos no paradigma da Internet das Coisas introduzindo-os no mesmo paradigma. Os equipamentos elétricos são desta forma conectados à Internet via Wi-Fi e ser acessível a partir de qualquer lugar e de qualquer equipamento com acesso à Internet.
 5. Compatível com todo o tipo de edifícios:
 - a) O iPlug pode ser instalado em qualquer edifício sendo que o mesmo foi construído de forma a encaixar numa tomada pré-existente.
 6. Sistema all-in-one:
 - a) Todas as soluções analisadas pressupõem vários componentes, um que efetua a monitorização e envia para um dispositivo central. Este dispositivo central faz todo o processamento e pode ou não estar conectado à rede de forma a permitir a atualização de dados em tempo real. O sistema iPlug incorpora todas as funcionalidades num só componente.

O facto de o iPlug apresentar ligação à Internet sem fios dá-lhe muitas vantagens na instalação pois não é necessário fazer instalação de cabos de rede. Acresce ainda que a maior parte dos edifícios apresentam Internet em quase todos os pontos interiores.

As aplicações iPlugWeb e iPlugMobile permitem aceder ao iPlug desde que haja acesso à Internet, apresentam um design simples, intuitivo e amigável para o utilizador permitindo uma leitura de dados simples através de gráficos.

5.2 Propostas de trabalho futuro

Num trabalho deste género há sempre aspetos a melhorar e desenvolver. De entre elas destacam-se os seguintes:

1. Criação de alertas para informar o utilizador do não funcionamento de um determinado dispositivo elétrico:
 - a) Para além do mercado doméstico, existem muitas outras utilizações interessantes para o iPlug. Uma delas centra-se na monitorização de aparelhos de frio e congelação. Existem empresas que possuem arcas frigoríficas e congeladoras onde estão conservados alimentos de alto valor como por exemplo marisco, e na eventualidade de elas deixarem de funcionar por algum motivo todo o seu conteúdo poderá ficar estragado resultando em perdas significativas. Assim o iPlug poderia ser utilizado para a monitorização destes sistemas de forma a permitir ao utilizador saber em tempo real se as suas arcas estão a funcionar corretamente sendo alertado por e-mail em situação anómala.
2. Produção fotovoltaica e deteção de anomalias da estação fotovoltaica em tempo real:
 - a) Outra aplicação interessante deste sistema é na monitorização de produção de energia fotovoltaica. Desta forma o utilizador poderia saber não só o que a sua estação fotovoltaica produz em tempo-real, mas também visualizar se a mesma não está a produzir devido a algum problema no quadro de produção. É de citar que há situações em que as estações fotovoltaicas ficam vários dias sem produzir por falta de monitorização, o que resulta em perdas significativas da receita da venda de energia. Assim o sistema poderia ser atualizado com uma funcionalidade que alerta-se o utilizador se não existisse produção de energia consoante um determinado horário de produção fotovoltaica.
3. Notificações de consumos “anormais” na rede elétrica:
 - a) Seria interessante criar um procedimento que analisasse os dados de monitorização e incorporasse inteligência artificial para detectar consumos anormais na rede elétrica de forma a proceder a alterações técnicas com o intuito de resolver o problema.

4. Diminuição do tamanho, consumo e custo do sistema:
 - a) Tem-se por objetivo reconstruir um sistema com um cuidado especial com o seu tamanho, consumo e custo de forma a torna-lo mais competitivo no mercado.
 - b) Prevê-se uma eventual colaboração com os alunos da licenciatura de Design de Equipamento de forma a criar uma imagem mais apelativa para o sistema.
5. Criar novas formas de controlo à distância:
 - a) No futuro torna-se necessário criar novas formas de controlo à distância, como por exemplo dimmer para controlo de iluminação e comandos para baixar e subir estores, por exemplo, com o intuito de aproximar o sistema iPlug do mercado da domótica residencial.
6. Melhorar a configuração do sistema:
 - a) O iPlug está no momento a ser configurado no hardware, contudo no futuro está prevista a criação de uma aplicação que permita configurar o sistema pelo utilizador através das aplicações iPlugWeb e iPlugMobile.
7. Melhorar a segurança do sistema:
 - a) Prevê-se a implementação de um certificado SSL visando que as credências sejam transferidas não como texto legível mas sim encriptadas de forma a não serem legíveis por alguém que esteja a escutar os pacotes de tráfego na rede.
8. Monitorização de outros parâmetros:
 - a) O sistema iPlug poderia incorporar no futuro novos sensores de forma a obter outras funcionalidades. O sistema iPlug poderia monitorizar a qualidade do ar determinando a presença de gás ou de fumo e assim alertar o utilizador destes acontecimentos. Poderia também incorporar um sensor de temperatura e humidade monitorizando estes dados e usando-os para ligar ou desligar dispositivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] - Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 , Diário da República, 1.ª série — N.º 70 — 10 de abril de 2013, página 2023, disponível online em <https://dre.pt/application/file/260476> consultado em 20/9/2014

[2] - Estratégia para a Eficiência Energética - PNAEE 2016, Diário da República, 1.ª série — N.º 70 — 10 de abril de 2013, página 2027, disponível online em <https://dre.pt/application/file/260476> consultado em 22/9/2014

[3] - Eletricidade aumenta quase cinco vezes mais que a inflação em 2015, Expresso, 15.10.2014 às 18h00, disponível em http://expresso.sapo.pt/economia/economina_energia/eletricidade-aumenta-quase-cinco-vezes-mais-que-a-inflacao-em-2015=f893823 , consultado em 15 de Novembro de 2014

[4] - Relatório da Comissão ao Parlamento Europeu e ao Conselho – Apoio financeiro à eficiência energética dos edifícios. Bruxelas, Comissão Europeia, pág. 3, disponível em https://www.portugal2020.pt/Portal2020/Media/Default/Docs/Legislacao/Nacional/DiretivaUE2012_27.pdf consultado em 30 de Novembro de 2015

[5] - United Nations. "Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment". Em Report of the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm 1972. Disponível em: [http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=97&ArticleID=1503&l=en](http://www.unep.org/Documents/Multilingual/Default.asp?DocumentID=97&ArticleID=1503&l=en).

[6] United Nations. "Report of the World Commission on Environment and Development: Our common future". Relatório técnico, 1987. Disponível em: http://conspect.nl/pdf/Our_Common_Future-Brundtland_Report_1987.pdf. em 21 de Setembro de 2014

[7] - United Nations. "United Nations Conference on Environment and Development". Disponível em http://www.un.org/jsummit/html/basic_info/unced.html, consultado em 21 de Setembro de 2014

[8] -United Nations Framework Convention on Climate Change. "Kyoto Protocol Reference Manual". Disponível em http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf, consultado em 23 de Setembro de 2014.

[9] - Protocolo de Quioto prolongado até 2020, Jornal Sol, 8/12/2012, disponível em <http://www.sol.pt/noticia/64390>, consultado em 10 de Dezembro de 2014

- [10] – O Nosso Clima – Portugal, Ana Rita Antunes
Disponível em <http://www.ourclimate.eu/ourclimate/portugal.aspx>, consultado em 25 de Setembro de 2014
- [11] - Portugal já cumpriu o Protocolo de Quioto, jornal “O Público”, RICARDO GARCIA , 10/05/2014 - 10:13, disponível em <http://www.publico.pt/ecosfera/noticia/portugal-ja-cumpriu-o-protocolo-de-quioto-1635328?page=-1>, consultado em 1 de Novembro de 2015
- [12] - Departamento de Alterações Climáticas (DCLIMA) Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (NIR 2014 – emissões 2012), disponível em http://www.apambiente.pt/_zdata/DPAAC/INERPA/memo_emisses_PT_20140508.pdf, consultado em 10 de Novembro de 2014
- [13] - Consumo de energia eléctrica: total e por tipo de consumo – Portugal, DGEG/MAOTE, PORDATA, disponível em <http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+por+tipo+de+consumo-1124> consultado em 15 de Novembro de 2014
- [14] - Edifícios segundo os Censos: total e por época de construção - Portugal, DGEG/MAOTE, PORDATA, disponível em <http://www.pordata.pt/Portugal/Edif%C3%ADcios+segundo+os+Censos+total+e+por+%C3%A9poca+de+constru%C3%A7%C3%A3o-93>, consultado em 17 de Novembro de 2014
- [15] - The Internet of Things: A survey ARTICLE · OCTOBER 2010 DOI: 10.1016/j.comnet.2010.05.010 · Source: DBLP, página 3, disponível em http://www.researchgate.net/publication/222571757_The_Internet_of_Things_A_survey consultado em 20 de Novembro de 2015
- [16] - The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything, Dave Evans, April 2011, disponível em https://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf consultado em 30 de Novembro de 2014
- [17] - The Internet of Things: Making sense of the next mega-trend, IoT primer , September 3, 2014, disponível em <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/outlook/Internet-of-things/iot-report.pdf>, consultado em 3 de Dezembro de 2014
- [18] - The Internet of Things: A survey ARTICLE · OCTOBER 2010 DOI: 10.1016/j.comnet.2010.05.010 · Source: DBLP, página 8, disponível em http://www.researchgate.net/publication/222571757_The_Internet_of_Things_A_survey, consultado em 5 de Dezembro de 2014

- [19] - Semantics for the Internet of Things: early progress and back to the future
PAYAM BARNAGHI, WEI WANG, CORY HENSON AND KERRY TAYLOR1,
International Journal on Semantic Web & Information Systems archive
Volume 8 Issue 1, January 2012, disponível em
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2441528> consultado em 10 de Dezembro de 2014
- [20] - From the Internet of Computers to the Internet of Things
Friedemann Mattern and Christian Floerkemeier Distributed Systems Group, Institute
for Pervasive Computing, ETH Zurich, disponível em
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1985645>, consultado em 12 de Dezembro de 2014
- [21] – Efergy, <http://efergy.com/eu/products> consultado em 15 de Dezembro de 2014
- [22] – Clogy, <http://www.cloogy.com/pt/> consultado em 16 de Dezembro de 2014
- [23] – EDP READY, <https://energia.edp.pt/particulares/servicos/redy.aspx> consultado em 17 de Dezembro de 2014
- [24] – What is Arduino, <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> consultado em 20 de Dezembro de 2014
- [25] - Arduino UNO, <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, consultado em 22 de Dezembro de 2014
- [26] - Arduino Software, <https://www.arduino.cc/en/main/software> consultado em 23 de Dezembro de 2014
- [27] - ESP8266 Serial WIFI Module,
http://wiki.iteadstudio.com/ESP8266_Serial_WIFI_Module consultado em 20 de Janeiro de 2015
- [28] – ACS712, <http://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS712.aspx> consultado em 5 de Fevereiro de 2015
- [29] - The Hall Effect, http://www.nist.gov/pml/div683/hall_effect.cfm consultado em 9 de Fevereiro de 2015
- [30] - Mechanical Relay Primer,
http://www.phidgets.com/docs/Mechanical_Relay_Primer, consultado em 15 de Fevereiro de 2015
- [31] – Relé, <http://www.electronica-pt.com/rele> consultado em 18 de Fevereiro de 2015
- [32] – SONGLE RELY, disponível em
<https://www.ghielectronics.com/downloads/man/20084141716341001RelayX1.pdf>
consultado em 15 de Março de 2015

- [33] – Transformador, <http://www.electronica-pt.com/transformadores> consultado em 20 de Fevereiro de 2015
- [34] – Transformadores, <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/InducaoMagnetica/transformadores.php>, consultado em 25 de Fevereiro de 2015
- [35] – Indel tszz 0,6/005MP, disponível em http://www.indel.pl/e_tszz_0_3.htm consultado em 10 de Maio de 2015
- [36] - Associação de Resistências, http://lee.ist.utl.pt/realisations/CircuitsElectriques/CircuitsLineaires/Resistivos/2_aula.htm consultado em 1 de Março de 2015
- [37] - The Agile Manifesto , disponível em <http://www.agilealliance.org/the-alliance/the-agile-manifesto/>, consultado em 1 de Janeiro de 2015
- [38] – Advanced Monolithic Systems 1a low dropout voltage regulator, disponível em <http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>, consultado em 5 de Março de 2015.
- [39] - Conceito dos Web Services, <http://www.sinfic.pt/SinficNewsletter/sinfic/Newsletter43/Dossier3.html> consultado em 5 de Março de 2015
- [40] - Swift. A modern programming language that is safe, fast, and interactive, <https://developer.apple.com/swift/> consultado em 10 de Março de 2015
- [41] – ESP8266 Pinout Diagram, <http://www.esp8266.com/wiki/doku.php?id=esp8266-module-family>, consultado em 25 de Janeiro de 2015
- [42] - ESP8266 - Upgrading the Firmware, https://www.ukhas.net/wiki/esp8266_firmware_update, consultado em 2 de Fevereiro de 2015
- [43] - ACS712 Datasheet, <http://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx?la=en> consultado em 10 de Fevereiro de 2015

ANEXO A - ESPECIFICAÇÕES DO ESP8266

O ESP8266 é um chip de ligação à rede de Internet via Wi-Fi de baixo custo, de acordo com o datasheet do módulo ESP8266 as suas especificações são:

- 802.11 b/g/n protocol
- Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP
- Integrated TCP/IP protocol stack
- Integrated TR switch, balun, LNA, power amplifier and matching network
- Integrated PLL, regulators, and power management units
- +19.5dBm output power in 802.11b mode
- Integrated temperature sensor
- Supports antenna diversity
- Power down leakage current of $< 10\mu\text{A}$
- Integrated low power 32-bit CPU could be used as application processor
- SDIO 2.0, SPI, UART
- STBC, 1×1 MIMO, 2×1 MIMO
- A-MPDU & A-MSDU aggregation & 0.4 μs guard interval
- Wake up and transmit packets in $< 2\text{ms}$
- Standby power consumption of $< 1.0\text{mW}$ (DTIM3)

ANEXO A.1 -CONSUMOS ENERGÉTICOS DO ESP8266

Na tabela abaixo é descrito o consumo energético do ESP8266, tendo em conta que o mesmo é alimentado com 3,3V e sendo a temperatura ambiente 25°C. As amostras foram tiradas à saída da antena sem filtro SAW que corresponde a um filtro eletromecânico que se utiliza em aplicações de radiofrequência de forma melhorar o processo de transmissão. E as amostras de transmissão de dados foram executas com 90% de ciclo de trabalho no modo de transmissão contínua.

Modo de funcionamento	Consumo	Un
Transmit 802.11b, CCK 1Mbps, POUT=+19.5dBm	215	mA
Transmit 802.11b, CCK 11Mbps, POUT=+18.5dBm	197	mA
Transmit 802.11g, OFDM 54Mbps, POUT =+16dBm	145	mA
Transmit 802.11n, MCS7, POUT=+14dBm	135	mA
Receive 802.11b, packet length=1024 byte, -80dBm	60	mA
Receive 802.11g, packet length=1024 byte, -70dBm	60	mA
Receive 802.11n, packet length=1024 byte, -65dBm	62	mA
Standby	0.9	mA
Deep sleep	10	uA
Power save mode DTIM 1	1.2	mA
Power save mode DTIM 3	0.86	mA
Total shutdown	0.5	uA

Tabela 10 - Consumo do ESP8266

ANEXO A.2 - PERFORMANCE DE TRANSMISSÃO DE DADOS DO ESP8266

As amostras foram tiradas com a temperatura média de 23°C com tensões de 3.3V e 1.1V e representam o comportamento de transmissão de dados do ESP8266.

Descrição	Min	Média	Max	Un
Input frequency	2412		2484	MHz
Input impedance		50		Ω
Input reflection			-10	dB
Output power of PA for 72.2Mbps	14	15	16	dBm
Output power of PA for 11b mode	17.5	18.5	19.5	dBm
CCK, 1Mbps		-98		dBm
CCK, 11Mbps		-91		dBm
6Mbps (1/2 BPSK)		-93		dBm
54Mbps (3/4 64-QAM)		-75		dBm
HT20, MCS7 (65Mbps, 72.2Mbps)		-71		dBm

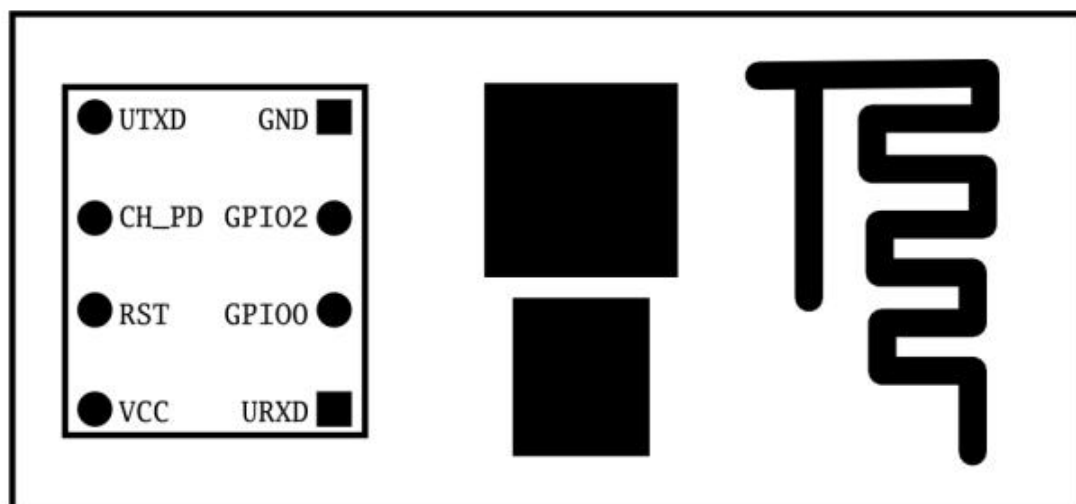
Tabela 11 - Performance canal rádio

ANEXO A.3 - ANÁLISE DO HARDWARE DO ESP8266

Neste anexo é feita uma análise acerca da correta utilização e ligação do módulo ESP8266 ao microcontrolador. Como se pode observar pela figura 67 este módulo possui pinos UTXD e URXD que permitem comunicar com o microcontrolador por porta série [41]:

1. ESP8266 funciona a 3.3V e não tem tolerância a 5V
2. ESP8266 comunica via porta série a 3.3V e o UTXD (porta de transmissão de dados) e URXD (porta de receção dos dados) não são tolerantes a 5V pelo que ao conectar o mesmo a microcontroladores com nível lógico de 5V é necessário utilizar circuitos que transformem 5V em 3.3V.

Embora se possa ignorar a segunda recomendação, isso poderá causar danos ao ESP8266, na figura 68 mostra o esquema de ligação correto no iPlug foi utilizado o chip AMS1117CD-3.3 para transformar 5V em 3,3V [38].



ESP8266 WiFi Pinout

Figura 67 - Descrição dos pinos do ESP8266

Figura 68 - Esquema de ligação recomendado

ANEXO A.4 – COMANDOS AT

Comando	Descr.	Tipo	Executa	Questiona	Testa	Parâmetros
AT	general test	basic	-	-	-	-
AT+RST	restart the module	basic	-	-	-	-
AT+GMR	check firmware version	basic	-	-	-	-
AT+CWMODE	wifi mode	wifi	AT+CWMODE=<m ode>	AT+CWMODE?	AT+CWMODE=?	1= Sta, 2= AP, 3=both, Sta is the default mode of router, AP is a normal mode for devices
AT+CWJAP	join the AP	wifi	AT+ CWJAP =<ssid>,< pwd >	AT+ CWJAP?	-	ssid = ssid, pwd = wifi password
AT+CWLAP	list the AP	wifi	AT+CWLAP			
AT+CWQAP	quit the AP	wifi	AT+CWQAP	-	AT+CWQAP=?	

AT+ CWSAP	set the parameters of AP	wifi	AT+ CWSAP= <ssid>,<pwd>,<chl> , <ecn>	AT+ CWSAP?		ssid, pwd, chl = channel, ecn = encryption; eg. Connect to your router: AT+CWJAP="www.electrodragon.com","helloworld"; and check if connected: AT+CWJAP?
AT+CWLIF	check join devices' IP	wifi	AT+CWLIF	-	-	
AT+ CIPSTATUS	get the connection status	TCP/IP	AT+ CIPSTATUS			<id>,<type>,<addr>,<port>,<tetype>= client or server mode
AT+CIPSTART	set up TCP or UDP connection	TCP/IP	1)single connection (+CIPMUX=0) AT+CIPSTART= <type>,<addr>,<port>; 2) multiple connection (+CIPMUX=1) AT+CIPSTART= <id><type>,<addr>,<port>	-	AT+CIPSTART=?	id = 0-4, type = TCP/UDP, addr = IP address, port= port; eg. Connect to another TCP server, set multiple connection first: AT+CIPMUX=1; connect: AT+CIPSTART=4,"TCP","X1.X2.X3.X4",9999

AT+CIPMODE	set data transmission mode	TCP/IP	AT+CIPMODE=<mode>	AT+CIPSEND?		0 not data mode, 1 data mode; return "Link is builded"
AT+CIPSEND	send data	TCP/IP	1)single connection(+CIPMUX=0) AT+CIPSEND=<length>; 2) multiple connection (+CIPMUX=1) AT+CIPSEND=<id>,<length>		AT+CIPSEND=?	eg. send data: AT+CIPSEND=4,15 and then enter the data.
AT+CIPCLOSE	close TCP or UDP connection	TCP/IP	AT+CIPCLOSE=<id> or AT+CIPCLOSE		AT+CIPCLOSE=?	
AT+CIFSR	Get IP address	TCP/IP	AT+CIFSR		AT+ CIFSR=?	

AT+ CIPMUX	set mutiple connection	TCP/IP	AT+ CIPMUX=<mode>	AT+ CIPMUX?		0 for single connection 1 for multiple connection
AT+ CIPSERVER	set as server	TCP/IP	AT+ CIPSERVER=<mode>[,<port>]			mode 0 to close server mode, mode 1 to open; port = port; eg. turn on as a TCP server: AT+CIPSERVER=1,8888, check the self server IP address: AT+CIFSR=?
AT+ CIPSTO	Set the server timeout	AT+CIPSTO=<time>	AT+CIPSTO?		<time>0~28800 in second	
+IPD	received data					For Single Connection mode(CIPMUX=0): + IPD, <len>: For Multi Connection mode(CIPMUX=1): + IPD, <id>, <len>: <data>

ANEXO A.5 – EXEMPLOS DO USO DE COMANDOS AT COM O ESP8266

Neste anexo são referidos um conjunto de testes efetuados de forma a analisar e compreender o funcionamento e comportamento do ESP8266. Os mesmos foram efetuados de forma a testar a versatilidade do ESP8266 com o objetivo de perceber se o mesmo se enquadrava para o projeto do iPlug. Os resultados foram positivos e permitem conexão Wi-Fi à rede de Internet do sistema iPlug.

1. Teste de funcionamento

AT

Resposta::

OK

Caso não se verifique a resposta OK verificar as ligações e o BAUD RATE.

2. Verificar a versão do firmware do módulo:

AT+GMR

Resposta:

00160901

Esta é a versão do software.

3. Colocar o módulo como “Station e Acess Point”

AT+CWMODE=3

Resposta:

OK

4. Listas as redes Wifi disponíveis

AT+CWJAP?

Se não existirem redes disponíveis a resposta é:

:+CWJAP: ""

Se existirem redes disponíveis a resposta será:

+CWLAP: (0, "", 0)

+CWLAP: (3, "WIFI1", -80)

+CWLAP: (3, "WIFI2", -51)

+CWLAP: (3, "WIFI3", -91)

OK

5. Aceder a uma rede existente:

AT+CWJAP="<SSID>", "<password>"

Resposta em caso favorável:

OK

6. Listar o IP.

AT+CIFSR

Resposta exemplo::

192.168.1.2

7. Ligação a um webservice:

a) Ativar conexões múltiplas

AT+CIPMUX=1

Resposta: OK

b) Especificar o canal de rede (0 - 4), protocolo (TCP/UDP), IP ou DNS e o porto com o comando CIPSTART

AT+CIPSTART=4, "TCP", "google.com", 80

A resposta deve ser "OK" seguida de "Linked" quando a conexão é aberta

OK

Linked

c) Seguidamente temos de especificar o número de bytes a enviar seguido do canal.

No exemplo a seguir vamos enviar “ GET / HTTP/1.0\r\n\r\n ” 18 bytes

```
AT+CIPSEND=4,18
```

A resposta será “>” que indica que o módulo está à espera para enviar os dados quando os mesmos são enviados a resposta será: “SEND OK”. Em seguida o módulo mostra a resposta do servidor WEB:

```
+IPD,4,530:
```

O 4 indica que o canal da ligação é 530 indica que a resposta tem de comprimento 530bytes seguidamente os dados são mostrados:

```
HTTP/1.0 302 Found
```

```
Cache-Control: private
```

```
Content-Type: ...
```

No fim é listado “OK” ou se a conexão foi fechada é mostrado “Unlink”.

8. Configurar o módulo para aceitar ligações TCP configurando como servidor

Ligar a um ponto de acesso WIFI

Ativar várias conexões em simultâneo:

```
AT+CIPMUX=1
```

Obter o IP do módulo:

```
AT+CIFSR
```

```
Resposta: 192.168.1.2
```

Configurar o módulo para ficar à escuta (modo=1) no porto 1336

```
AT+CIPSERVER=1,1336
```

Com recurso a outro dispositivo wifi na mesma rede executar o comando:

```
telnet 192.168.1.2 1336 .
```

```
Resposta: Link
```

Na sessão telnet escrever por exemplo: “testetelnet”. O módulo vai responder o seguinte:

```
+IPD,0,13:testetelnet
```

```
OK
```

Onde 0 é o canal, 13 o número de bytes.

Seguidamente podemos responder no módulo ESP8266 usando o seguinte comando CIPSEND no canal 0 seguido do número de bytes

```
AT+CIPSEND=0,8
```

```
Resposta: >
```

Colocamos o texto a enviar.

```
teste11
```

```
resposta::
```

```
SEND OK
```

Na sessão de telenet é apresentada o texto “teste11”. Ao fechar a sessão de telnet o módulo vai responder:

```
Unlink
```

9. Configurar o módulo como ponto de acesso:

```
AT+CWSAP="SSID_TESTE","password123",3,0
```

O primeiro parâmetro é o nome da rede, o Segundo a palavra-chave, o terceiro o canal e o último define a encriptação como desativa. Seguidamente colocamos o módulo no modo de ponto de acesso:

```
AT+CWMODE=3
```

Podemos utilizar o comando abaixo para listar dos dispositivos conectados.

```
AT+CWLIF
```

```
Resposta: 192.168.4.100, [...]
```

ANEXO A.6 - ATUALIZAÇÃO DO ESP8266

O ESP8266 é um chip de ligação à rede de Internet via Wi-Fi de baixo custo muito recente e está em constante evolução e desenvolvimento assim sendo há que atualizar todos os módulos para a última versão de firmware. Seguidamente é explicado o processo de atualização do ESP8266. Para atualizar ao ESP8266 tem de se usar o software criado para o efeito e que apenas é compatível com plataforma Windows. Seguidamente são listados os passos para atualizar o firmware (figura 69) [42]:

1. Ligar GPIO0 ao GND.
2. Ligar o ESP8266.
3. Fechar todas as aplicações que possam estar a usar o ESP8266
4. Abri o ficheiro esp8266_flasher.exe como administrador
5. Selecionar o ficheiro .BIN do firmware
6. Introduzir o nome da porta a que esta ligado o ESP8266 por exemplo COM3.
7. Clicar em Donwload e aguardar

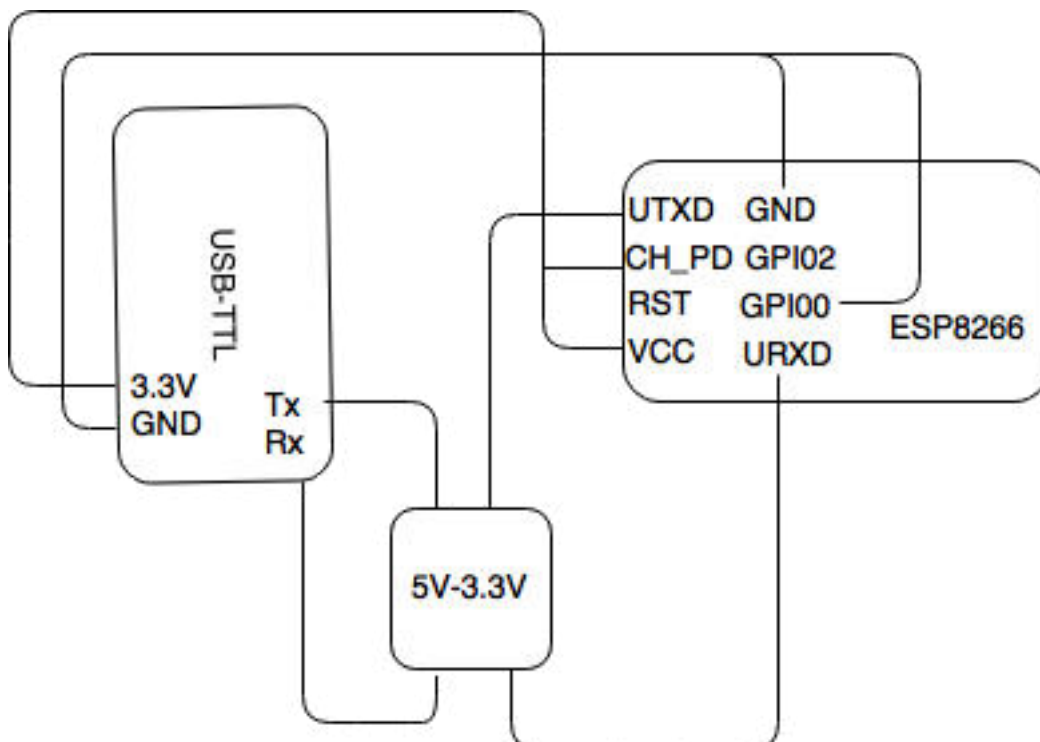


Figura 69 - Esquema de ligação para atualização do firmware

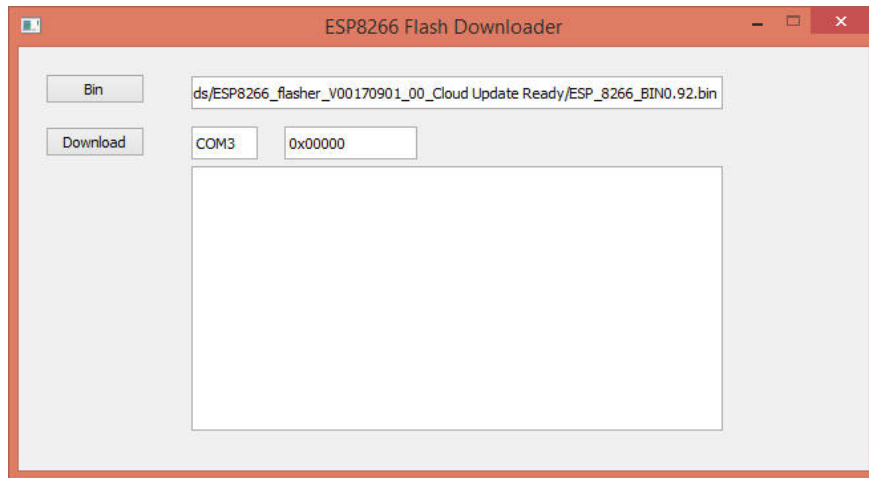


Figura 70 - Aplicação de atualizar do ESP8266

Se iniciarmos o programa sem direitos de administrador ou a porta COM a que o módulo está ligado estiver a ser utilizada o programa dá erro e o ficheiro log é criado com o seguinte texto:

```
Exception in thread Thread-1:  
Traceback (most recent call last):  
  File "threading.py", line 810, in __bootstrap_inner  
  File "esp8266_flasher.py", line 19, in run  
  File "downloader.pyo", line 54, in __init__  
  File "serial\serialwin32.pyo", line 38, in __init__  
  File "serial\serialutil.pyo", line 282, in __init__  
  File "serial\serialwin32.pyo", line 66, in open  
SerialException: could not open port 'COM3': WindowsError(5, 'Access  
is denied.')
```

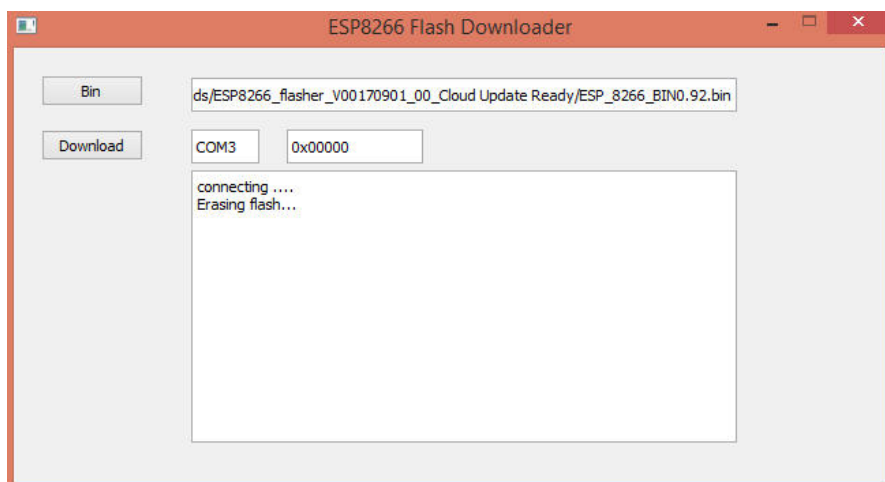


Figura 71 - Processo de atualização iniciado

Em caso de sucesso o programa apresenta-se como na figura 72.

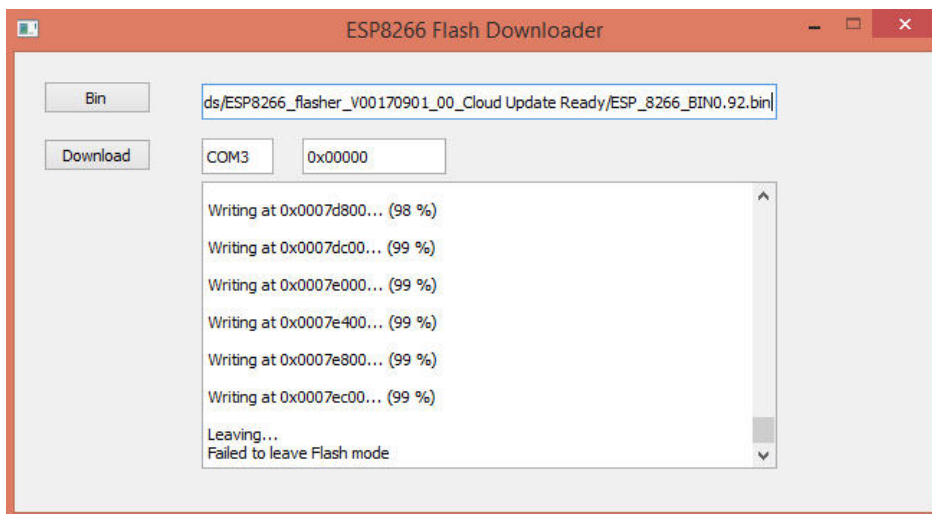


Figura 72 - Processo terminado

A atualização demora cerca de um minuto e no final apresenta um erro que não tem qualquer efeito no processo e pode ser ignorado. Para voltar a utilizar o módulo basta apenas seguir os seguintes passos:

1. Desligar o ESP8266
2. Desconectar o GPIO0 do GND
3. Ligar o ESP8266.

ANEXO B –ESPECIFICAÇÕES DO ACS712

O ACS712 é um circuito integrado desenvolvido pela Allegro MicroSystems que permite medir corrente e pode ser utilizado em diversas aplicações.

Como podemos ver na figura 73, os pinos 1, 2, 3 e 4 são ligados ao cobre ao qual se liga a carga para medir a intensidade. Os terminais deste caminho de condução estão isolados eletricamente dos condutores do sensor (pinos 5 a 8), assim o dispositivo ACS712 elimina o risco de danificar o circuito de monitorização de corrente devido à alta tensão do lado do circuito de potência. O isolamento elétrico entre a corrente de condução e o circuito de sensor também minimiza os problemas de segurança quando se trata de sistemas de alta tensão.

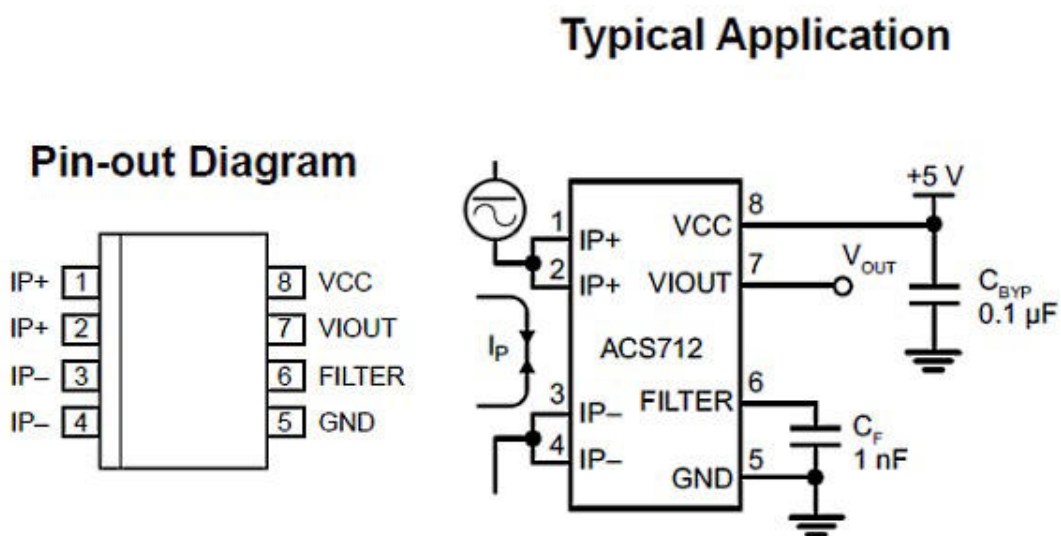


Figura 73 - Diagrama e descrição dos pinos de conexão do ACS712

Segundo a datasheet [43], em aplicações de baixa frequência é aconselhável adicionar um filtro passa baixo na saída a medir para diminuir o ruído.

O ACS712 contém uma resistência interna colocada entre a saída do amplificador de sinal e a entrada do buffer de saída. A outra saída da resistência é acessível através do pino 6. Com esta arquitetura é possível adicionar um filtro passa baixo entre o pino 6 (FILTER) e o pino 5 (GND). Contudo a adição deste filtro vai aumentar o tempo de resposta do sensor. A largura de banda da entrada de sinal é 80Khz sem filtro externo, e

esta diminui com o aumento do filtro. O datasheet recomenda a utilização de um condensador de 1nF que juntamente com a resistência interna do circuito criar um filtro passa baixo [43].

Para a construção do iPlug foi utilizado um módulo ACS712 que já contém toda a lógica necessária referida anteriormente embutida no módulo sendo apenas necessário conectar o módulo ao microcontrolador.

De acordo com o datasheet do ACS712 as suas especificações são:

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage