



## Energy Reader

**ROMEU MANUEL PEREIRA DA COSTA**

novembro de 2019

# ENERGY READER

Romeu Manuel Pereira da Costa



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

**2019**

Relatório de dissertação de Mestrado elaborado para satisfação parcial dos requisitos da  
Unidade Curricular de DSEE - Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica –  
Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Romeu Manuel Pereira da Costa, Nº 1170251, 1170251@isep.ipp.pt

Orientação científica: Professor Doutor Rui Brito, rmb@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2019**

Dedicado ao brilho dos olhos da Lara e ao sorriso da Íris



## *Agradecimentos*

Atingi um objetivo de aprendizagem e muitas foram as pessoas que estiveram ao meu lado, por vezes sem imaginar, a remover obstáculos. Esta é provavelmente a parte mais simples do meu documento, os agradecimentos.

Começo com o colega de trabalho que, inesperadamente, me deu um apoio técnico incansável. Não tinhas de o fazer. Obrigado João.

A minha turma, do Mestrado de Engenharia Eletrotécnica de Sistemas Elétricos de Energia do período entre 2017 e 2019, com personalidades tão distintas na idade, na língua, na experiência, na formação, foi um prazer ter tido tudo isso na mesma sala. Destaco aqui o Frederico, o Tiago Mendes e o Dominic, os que me estiveram mais próximos. Obrigado pela vossa camaradagem.

Aos amigos de longa data, porque me proporcionaram momentos de descontração, diversão, foram uma presença diária neste percurso. Obrigado Adelino, António, Eduardo, Filipe e Sérgio.

Ao Professor Doutor Rui Brito, que surpresa positiva, que sorte que tive, aliou conhecimento com motivação, disponibilidade e respeitou o termo “orientador”. Obrigado.

À minha família, porque estiveram em todos os momentos, desde os primos, tios e avó até aos meus muito amados pais, irmão e cunhada. Incrível ter-vos comigo, incrível o que fizeram por mim, este resultado é muito vosso. Obrigado.

E termino com a Lara e a Íris. As minhas lindas filhas. Foram 2 anos intensos e por mais que tenha tentado evitar, acabou sempre por haver menos paciência, cansaço meu, momentos perdidos, menos tempo para vós. A tudo isso, vós deste carinho, compreensão e sorrisos. Sentir o vosso orgulho por eu estar a terminar um percurso difícil foi o que me moveu, o que me obrigou a terminar. Quis dar-vos o exemplo, indicar-vos que na vossa formação terão perdas de momentos em companhias dos que vos são mais queridos, haverá suor, sentimento de incapacidade, frustração, mas no final de toda a luta, poderão olhar para o lado e verem que cresceram com o desafio e que tudo isso serviu para vos tornar mais capazes para fazerem o que escolheram. Obrigado pelo vosso amor. Amo-vos.



## *Resumo*

A energia elétrica é um dos bens de primeira necessidade a que todos os portugueses têm direito e que a qualquer aumento nos tarifários corresponde sempre alguma apreensão na gestão orçamental das famílias (e das empresas). A gestão dos contínuos *déficits* tarifários elétricos por parte dos governos não tem conseguido reduzir o peso desta componente nos orçamentos e assim a sociedade tem procurado soluções para controlar o custo.

Um dos primeiros passos para reduzir consumos é ter informação acerca do que está a consumir energia em casa. A solução descrita neste documento tem por objetivo fornecer informação sobre o consumo do equipamento que lhe esteja ligado. A publicação da informação através da WEB fazia parte dos objetivos iniciais da solução e era desta forma que o utilizador tomaria conhecimento dos consumos dos seus equipamentos.

A solução dividiu-se em dois principais blocos de trabalho:

1. Montar uma solução WEB capaz de receber a informação enviada pelos equipamentos e disponibilizá-la aos utilizadores a quem eles pertencem
2. Montar um dispositivo eletrónico, que se pudesse ligar à rede elétrica de casa, obtivesse variáveis elétricas como a tensão e a corrente, potência ativa e aparente, fator de potência e calculasse a energia consumida instantaneamente, devendo ligar-se à rede *wireless* da casa para comunicar essa informação para o *site* criado para esse efeito.

Partindo de uma base profissional assente na Informática e com a experiência de alguns anos em programação WEB, definiu-se iniciar o desenvolvimento por este primeiro bloco. Uma vez que o principal objetivo do mestrado foi adquirir conhecimento, decidiu-se por uma linguagem de programação (PHP) que permitisse aumentar o leque de conhecimentos em linguagens de programação. Foi usado o PHP sem recurso a qualquer *framework*. A base de dados de suporte escolhida, o MariaDB, é bastante utilizada para protótipos (e não só), tendo boas capacidades de gerir grandes quantidades de dados.

O WEB *design* construiu-se a partir de um *bootstrap* existente na Internet assim como a gestão de utilizadores tendo aplicado uma solução gratuita e disponível para estes efeitos e foi integrada no protótipo. O modelo de dados foi desenhado com o objetivo de registar os dados enviados pelo equipamento e com a possibilidade de posteriormente serem associados a um utilizador. O *site* permite ao utilizador associar um equipamento doméstico ao equipamento de medição podendo visualizar em gráfico o consumo do dia, da semana, do mês e ano.

O segundo bloco de trabalho, a conceção do dispositivo eletrónico, começou por uma fase maior de estudo de conceitos e descobrir quais os componentes necessários para construir um protótipo seguro para utilizar nas instalações domésticas.

Nesta fase, começou-se por encontrar um microcontrolador com capacidade de processamento, com pelo menos duas portas de leitura analógicas e de preferência com capacidade de comunicações WIFI já integradas. O microcontrolador ESP32 WROVER-B foi o escolhido. O primeiro passo foi programá-lo para que enviasse dados de teste para o *site* desenvolvido. Para que esse passo fosse conseguido, foi necessário incluir configurações que permitam ao utilizador indicar qual o utilizador e a *password* do WIFI de casa (neste momento o protótipo só tem utilidade com internet incluída).

A fase final deste segundo bloco de trabalho, consistiu em desenhar o circuito elétrico necessário e a montagem dos restantes componentes capazes de adquirir a informação pretendida e transmiti-la ao microcontrolador. Foram utilizados dois sensores isolados oticamente (um para obter as tensões e outro para obter a corrente elétrica) para calcular a informação a transmitir ao microcontrolador.

Foi construído um protótipo que permitiu testar o conceito, tendo sido efetivadas medições para cargas variadas, nomeadamente resistivas, mas sobretudo cargas não lineares.

### ***Palavras-Chave***

ESP32 WROVER-B, ACPL-785J, consumos de energia, WEB, amplificadores, poupar energia.



## *Abstract*

Electricity is one of the primary necessities to which all Portuguese are entitled and with that need in consideration, any increase in tariffs always corresponds to some apprehension in the budgetary management of families (and companies). The management of the continuous electric tariff deficits by governments has not been able to reduce the weight of this component in the budgets and so society has been looking for solutions to control the cost.

One of the first steps to reduce power consumption consists in know what and how is consuming energy at home. The solution described in this document is intended to provide information on the power consumption of the connected equipment. Publishing the information through the web was part of the initial objectives of the solution and this is how the user will know about the consumptions of their equipment.

The solution was divided into two main work blocks:

1. Build a WEB solution capable of receiving the information sent by the equipment and making it available to the users to whom they belong.
2. Set up an electronic device that could be connected to the home's electrical grid, obtain electrical variables such as voltage and current, power, power factor and calculated the energy consumed instantly, and would connect to the home's wireless network to communicate this information to the website, created for this purpose.

With a professional base in Computer Science and big experience in WEB programming it was defined to start by building this first block. Since the main objective of this master's degree was to acquire knowledge, doing it in PHP will increase the knowledge in programming languages. It was used pure PHP, without any framework. The chosen support database, MariaDB, is widely used for prototypes (and not only), having good capabilities for managing large amounts of data.

WEB design was adapted from a bootstrap got from Internet, as well as user management having applied a free and available solution existing for these purposes and integrated it into the prototype. Data model was designed considering be capable of recording the data sent by

the equipment and be capable of later association with an user. The site allows the user to define what equipment is recording and can show in a graph the consumption of the day, month and year.

The second block of work, the design of the electronic device, began with a larger phase of concept study and finding out what components were needed to build a secure prototype for use in home installations.

This phase was started by finding a microprocessor with at least two analog read ports and preferably with an integrated WIFI communications capability. The ESP32 WROVER-B microprocessor was chosen. The first step was to program it to send test data to the website developed. For this step to be achieved, it was necessary to include settings that allow the user to indicate user and the home WIFI password (at this time the prototype is only useful with internet included).

The final phase of this second block of work consisted of designing the necessary electrical circuit and assembling the remaining components capable of acquiring the desired information and transmitting it to the microprocessor. Two optically isolated sensors was used (one to get the voltages and other to get the electric current) to calculate the information to transmit to the microcontroller.

A prototype was built that allows to test the concept, measures was taken from some loads, namely resistive loads, but mainly non-linear loads.

### ***Keywords***

ESP32 WROVER-B, ACPL-785J, Power Consumption, WEB, Optocouplers, save energy.

# Índice

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>ACRÓNIMOS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1.MOTIVAÇÕES PESSOAIS.....	4
1.2.CONTEXTUALIZAÇÃO.....	5
1.3.OBJETIVOS .....	6
1.4.CALENDARIZAÇÃO .....	6
1.5.ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO .....	8
<b>2. ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>11</b>
2.1.ENQUADRAMENTO DA SOLUÇÃO .....	12
2.2.CONTADORES INTELIGENTES .....	13
2.3.SISTEMAS DE MONITORAMENTO DO CONSUMO DA CASA .....	14
2.4.TOMADAS ELÉTRICAS INTELIGENTES .....	15
2.5.APPS ASSOCIADAS A ENERGIA .....	16
<b>3. PROTÓTIPO DESENVOLVIDO .....</b>	<b>17</b>
3.1.DEFINIÇÕES.....	18
3.2.ARQUITETURA CONCEPTUAL DO <i>ENERGY READER</i> .....	22
3.3.MICROCONTROLADOR .....	25
3.4.AMPLIFICADORES OPTOISOLADO .....	30
3.5.OUTROS COMPONENTES .....	33
3.6.ESQUEMA ELÉTRICO .....	35
3.7.AQUISIÇÃO DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS.....	46
<b>4. COMPONENTE WEB DA SOLUÇÃO <i>ENERGY READER</i>.....</b>	<b>50</b>
4.1.LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO .....	51

4.2.SERVIDOR .....	53
4.3.USER SPICE .....	55
4.4.BOOTSTRAP.....	56
4.5.BASE DE DADOS.....	57
4.6.PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO .....	60
4.7.FUNCIONALIDADES .....	61
<b>5. CONCLUSÃO E MELHORIAS FUTURAS.....</b>	<b>67</b>
5.1.CONCLUSÕES.....	67
5.2.MELHORIAS POSSÍVEIS À SOLUÇÃO .....	70
<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS E CONSULTA DE SITES .....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO A. AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO B. SCRIPT DE CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO C. CÓDIGO FONTE DE PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR .....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXO D. CÓDIGO FONTE DO <i>SITE</i> WEB.....</b>	<b>90</b>

## Índice de Figuras

Figura 1	Previsões da evolução demográfica da população mundial [2]	2
Figura 2	Preços de eletricidade nos países da UE Consumidores domésticos (preços com impostos) [3]	3
Figura 3	Exemplo de contador inteligente instalado pela EDP	13
Figura 4	Equipamentos que compõem a solução Neurio Home Energy Monitor	14
Figura 5	Tomada inteligente D-LINK WI-FI Smart Plug.	16
Figura 6	Diagrama da potência, tensão e corrente de cargas resistivas	19
Figura 7	Diagrama da potência, tensão e corrente de cargas parcialmente reativas	20
Figura 8	Arquitetura conceptual da solução <i>Energy Reader</i> desenvolvida	23
Figura 9	Tempo gasto em cada obtenção de medição de corrente e tensão e cálculo de suporte para obtenção das outras grandezas	26
Figura 10	<i>Pinout</i> do microcontrolador	27
Figura 11	Ecrãs de configuração da password de acesso à rede WIFI	29
Figura 12	Sinal de entrada e o sinal amplificado de saída [13]	31
Figura 13	Circuito do sensor de corrente [13]	32
Figura 14	Esquema elétrico da solução <i>Energy Reader</i>	36
Figura 15	Representação do divisor de tensões [14]	38
Figura 16	Forma de onda da tensão na rede/carga	41
Figura 17	Tensão e corrente – Aquecedor elétrico (carga puramente resistiva)	41

Figura 18	Tensão e corrente – Aquecedor elétrico (carga puramente resistiva)	42
Figura 19	Tensão e corrente – Ferro de soldar, controlo por fase com $\alpha=120^\circ$	42
Figura 20	Tensão e corrente – Ferro de soldar, controlo por fase com $\alpha=90^\circ$	43
Figura 21	Tensão e corrente – Ferro de soldar, controlo por fase com $\alpha=30^\circ$	43
Figura 22	Tensão e corrente – Ventoinha de uma UPS	44
Figura 23	Tensão e corrente – Fonte de alimentação linear da marca Kaise a fornecer 5A DC	44
Figura 24	Tensão e corrente – Monitor LCD em <i>standby</i>	45
Figura 25	Tensão e corrente – Monitor LCD ligado	45
Figura 26	Exemplo de uma forma de onda de um computador portátil [8]	46
Figura 27	Tempo consumido por cada medição	47
Figura 28	Tempo aproximado de envio da informação em ambiente de laboratório	48
Figura 29	Distribuição da utilização de linguagens de programação (2018) [15]	52
Figura 30	Relação entre tabelas da solução <i>Energy Reader</i>	58
Figura 31	Autenticação ou pedido de registo de utilizador	61
Figura 32	Painel de controlo da solução <i>Energy Reader</i>	62
Figura 33	Listagem de equipamentos	63
Figura 34	Últimos consumos, em tabela	63
Figura 35	Consumo da última semana	64
Figura 36	Adicionar equipamento	65
Figura 37	Consumo anual de todos os equipamentos	66

## *Índice de Tabelas*

Tabela 1	Calendário de tarefas agrupadas por bloco de trabalhos	7
Tabela 2	Expressões matemáticas das grandezas em tempo contínuo e tempo discreto	21
Tabela 3	Características mais relevantes do microcontrolador ESP32-WROVER-B	25
Tabela 4	Características dos pinos IO32 e IO33	27
Tabela 5	Condições de operação dos amplificadores escolhidos [13]	33
Tabela 6	Resumo dos cálculos matemáticos realizados após cada amostragem de tensão e corrente	48
Tabela 7	Resumo das expressões matemáticas utilizadas no final das 200 medições	49
Tabela 8	Resumo de características do servidor WEB escolhido [18]	54
Tabela 9	Resumo de características da base de dados existente no servidor	57



## Acrónimos

APLIN	Aplicações Informáticas, uma das cadeiras do MEE-SEE do ano letivo 2018-2019
Arduino	É uma placa composta por microcontrolador, circuitos de entrada/saída e que pode ser conectado a um computador e programado através de linguagem C/C++.
ASP	<i>Active Server Pages</i> , linguagem de programação para WEB similar ao PHP mas esta está essencialmente ligada às tecnologias da Microsoft, sendo uma linguagem com execução em servidores Windows.
Bootstrap	Ferramenta de desenvolvimento WEB concebida para estabelecer padrões entre as interfaces gráficas
CSS	<i>Cascading Style Sheet</i> , que em português significa Folha de Estilos em Cascata. Esta tecnologia, utilizada com o HTML, permitem definir o estilo visual dos sites.
DC/DC	Do inglês <i>Direct Current / Direct Current</i> , em português lido como CC/CC (corrente contínua / corrente contínua). Este acrónimo está atribuído ao conversor existente no projeto indicando que a conversão é de corrente contínua para corrente contínua.
GND	Sinalética do microcontrolador ou componente que indica onde deve ser conectada a massa (ou o sinal negativo da energia).
GPIO32 e GPIO33	Nomes das portas do microcontrolador onde se vão ler o output dos amplificadores da corrente e tensão.
HTML	<i>HyperText Markup Language</i> , que em português poderá traduzido para Linguagem de Marcação de Hipertexto, é utilizado para produção de páginas WEB que permite a criação de documentos que podem ser lidos e interpretados por computadores e transmitidos pela WEB.

IoT	<i>Internet of Things</i> , ou em português, a Internet das Coisas, refere-se à capacidade que está a ser criada dos dispositivos eletrónicos comunicarem entre si e reagirem a essas comunicações.
Javascript	É uma linguagem de programação com maior objetivo de ser executado no browser de internet do lado do utilizador (mas não exclusivamente). Permite criar algum dinamismo nos sites e gerir a interação com o utilizador, entre outras.
MEREN	Mercados de Energia, uma das cadeiras do MEE-SEE do ano letivo 2018-2019
MySQL ou MariaDB	Sistema de gestão de bases de dados (SGBD), que utiliza a linguagem SQL (Linguagem de Consulta Estruturada, do inglês <i>Structured Query Language</i> ) como interface. Embora sejam bases de dados diferentes, têm a mesma base. A que é utilizada neste projeto é o MariaDB
PDO	<i>PHP Data Objects</i> , é uma extensão ao PHP que permite simplificar o acesso aos dados das bases de dados, abstraindo a gestão das conexões à base de dados uma vez que as funcionalidades disponibilizadas são executadas do mesmo modo.
PHP	Acrónimo recursivo para <i>PHP: Hypertext Preprocessor</i> . Linguagem comumente utilizada para o desenvolvimento de <i>sites</i> de internet
SQL	Provém do inglês <i>Structured Query Language</i> e é a linguagem definida para “questionar” bases de dados relacionais.
UKDALE	<i>UK Domestic Appliance-Level Electricity</i> , solução de recolha de informação de 5 casas, implementado em Inglaterra
WEB	Sistema de interligação de documentos e recursos através da Internet.
WIFI	Abreviação de “ <i>Wireless Fidelity</i> ”, que significa fidelidade sem fio, em português. WIFI, ou <i>wireless</i> é uma tecnologia de comunicação que não faz uso de cabos, e geralmente é transmitida através de frequências de rádio, infravermelhos.



# 1. INTRODUÇÃO

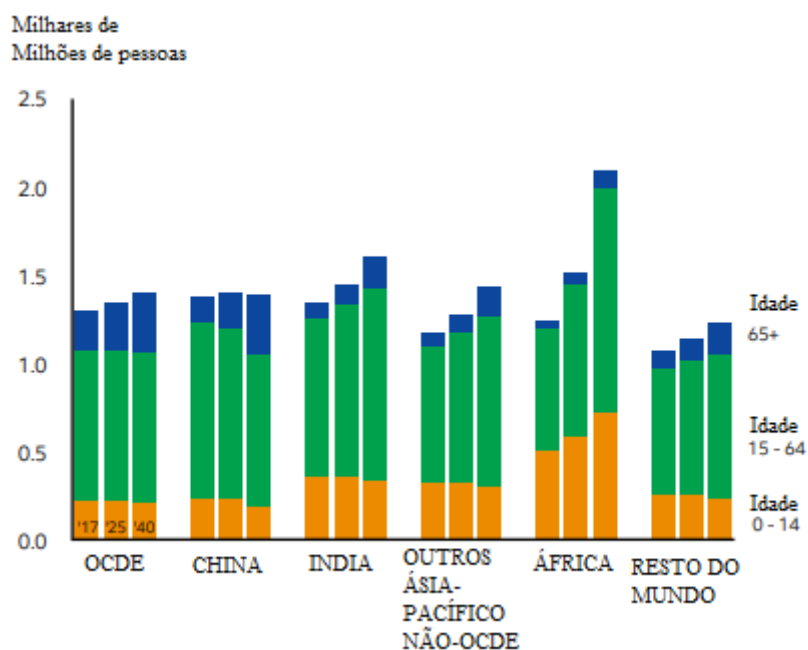
“Conhecimento é Poder”[1] é uma citação que permite introduzir o conceito base desta dissertação realizada para o curso do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia (MEE-SEE) que agora finda com este documento.

O sector energético passa por um momento de grande dinamismo considerando que está a existir um esforço mundial de direccionar os consumos para tecnologias de fontes renováveis. O sector eléctrico, além do desafio de se tornar “mais verde”, sendo uma utilidade de necessidade primária encontra também o desafio de reduzir o peso na fatura energética dos consumidores.

O sector energético fornece aos clientes/consumidores soluções de primeira necessidade, soluções de conforto ou de mobilidade, entre outras.

Trata-se, no entanto, de um sector sob pressão social, ambiental e económica.

A população mundial está a crescer e prevê-se o continuar dessa evolução.



**Figura 1 Previsões da evolução demográfica da população mundial [2]**

A população atual são cerca de 7,5 mil milhões e estima-se que em 2040 este valor atinja os 9 mil milhões. A este aumento da população está associado um aumento da procura uma vez que fazem parte do sector energético bens de primeira necessidade como por exemplo a energia elétrica.

Estando previsto aumento da procura para o futuro, há, no entanto, pressão ambiental nos dias de hoje para que a oferta seja proveniente de fontes renováveis, sendo um desses exemplos de pressão o Tratado do Clima de Paris que define metas nesse critério: por exemplo, a União Europeia ratificou esse tratado e definiu uma meta de pelo menos 27% do consumo total energético proveniente de fontes renováveis.

Contextualizando para Portugal, no nível de preço, temos que o país neste momento suporta um nível tarifário aos níveis dos países mais ricos da União Europeia, em linha com a média da União Europeia (28 países) e bem acima da média dos países da Zona Euro (19 países).

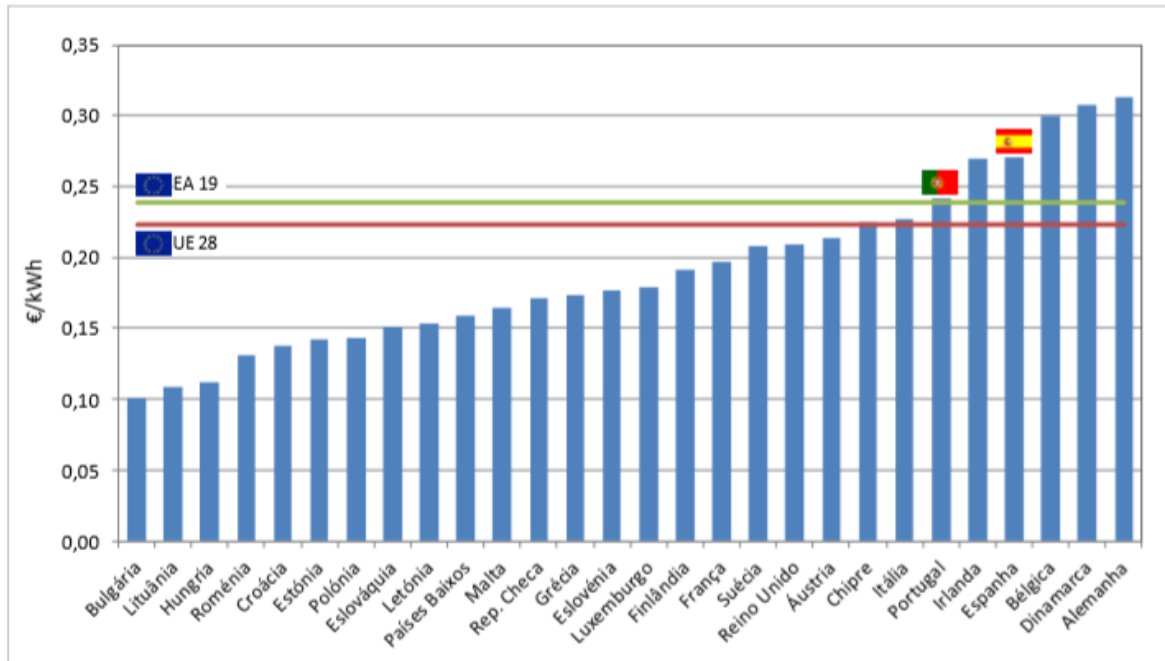


Figura 2 Preços de eletricidade nos países da UE Consumidores domésticos (preços com impostos)  
[3]

No nosso país, como pode ser percebido na Figura 2, no sector eléctrico, justifica-se a existência da pressão económica para que haja uma descida dos preços uma vez que estes se encontram próximos dos valores dos países mais ricos, acima da média da União Europeia.

A ideia deste projeto vem no seguimento de dar capacidade de decisão para quem procure diminuir os consumos.

A redução dos consumos, quando falamos de uma utilidade de primeira necessidade, pode interferir no bem-estar dos residentes da habitação (mercado alvo a quem se dedica a solução *Energy Reader*). No entanto, se se souber quanto consome cada equipamento instalado em casa, a interferência no conforto consegue ser menorizado, pois reduz-se cortando naquilo que está a consumir desnecessariamente.

Assim, partindo do pressuposto que “Conhecimento é Poder”, o **poder** de redução de consumo de energia eléctrica ocorre quando se adquire o **conhecimento** mais aproximado do real consumo de cada equipamento.

Existem já algumas soluções no mercado que permitem fornecer esta informação de um ponto de vista do consumo geral da casa e soluções adequadas à medição de determinado equipamento, na sua generalidade, com apresentação da informação no local.

Esta dissertação tem por objetivo desenvolver uma solução capaz de medir a Tensão, Corrente, Potência, Potência aparente, Fator de Potência e a Energia consumida e enviá-la para a WEB, para estar acessível ao consumidor de uma forma mais persistente.

Este documento tem por objetivo descrever as ações, os componentes, cálculos e as tecnologias necessárias para reproduzir uma solução similar.

## **1.1. MOTIVAÇÕES PESSOAIS**

Sou Licenciado em Informática de Gestão, revelo a minha formação base com o intuito de evidenciar a diferença de conceitos que tinha e os que tive de adquirir, mas também para evidenciar a ligação que os meus conhecimentos anteriores foram úteis para a concretização deste protótipo.

A escolha desta dissertação teve por base, não só os conhecimentos da minha experiência profissional e pessoal, mas também por me permitir colocar em prática conhecimentos adquiridos no curso e procurar assimilar outros que não ficaram claros na parte teórica.

Sou consumidor de notícias relacionadas com energias renováveis e com o objetivo de reduzir a fatura elétrica da minha casa, tenho painéis solares fotovoltaicos e termoacumuladores. Assim, de um modo geral, esse foi um dos motivos que me levou a interessar por este mestrado.

A *Internet of Things* (IoT) é outro dos assuntos pelo qual tenho algum interesse e em duas cadeiras do curso, Aplicações Informáticas (APLIN) e Mercados de Energia (MEREN) percebi que é possível juntar estes dois interesses, criando uma solução de IoT capaz de adquirir informação e disponibilizá-la ao consumidor, a custos baixos. Em APLIN adquiri conhecimentos técnicos, em MEREN estudei um caso nesta matéria que me permitiu perceber que além de dar informação ao consumidor, a recolha massiva de informação poderá permitir aos fornecedores de equipamentos elétricos melhorarem as performances energéticas de uma casa, se os equipamentos comunicarem entre si.

O tema desta dissertação foi proposto pelo meu orientador e reunia o peso certo no que eu considerava essencial para obter com sucesso uma solução: tinha uma componente onde eu tinha conhecimentos sólidos (WEB), uma componente para pôr na prática novos conhecimentos obtidos no mestrado, uma componente para pôr na prática conceitos ainda não totalmente assimilados (circuitos elétricos) e por fim o facto de ser um assunto interessante para mim.

## **1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO**

O sector energético está sob observação da comunidade mundial e é um sector que nos próximos anos sofrerá grandes mudanças. As questões ambientais pressionam para que essas mudanças ocorram e também as questões económicas, onde Portugal é um dos países onde esse efeito de redução das tarifas, mais se deveria fazer sentir.

A União Europeia ratificou o Tratado do Clima de Paris a 5 de outubro de 2016 tendo este entrado em vigor, a nível mundial, a 4 de novembro de 2016 [4].

A ratificação deste tratado definiu alguns objetivos e metas do ponto de vista energético, para a década 2020-2030[5], sendo alguns dos mais específicos para o sector energético os seguintes:

- meta de pelo menos 27% de fonte renovável do consumo energético;
- melhorar a eficiência energética;
- criação de indicadores para o preço da energia, diversificação de fornecedores e interconexões energéticas entre estados membros e para o desenvolvimento tecnológico.

Ao nível do sector automóvel, são sabidas as decisões políticas definidas para esse sector: trocar os motores com combustíveis de origem fóssil para motores elétricos. A redução do preço da energia será um estímulo para a concretização deste objetivo. Por sua vez, a conseguir-se mais carros elétricos, exigirá que haja uma maior eficiência energética que permita que com o mesmo volume de energia se consiga fazer mais.

A solução final obtida nesta dissertação enquadra-se numa tecnologia com o objetivo de ajudar na eficiência energética através do fornecimento de conhecimento ao consumidor sobre os consumos de cada um dos seus equipamentos.

A dissertação foi desenvolvida em ambiente laboratorial tendo o tema partido de uma sugestão do orientador. O tema consiste em desenvolver uma solução técnica capaz de obter medição da

Tensão eficaz, Corrente eficaz, Potência ativa, Potência aparente, Fator de Potência e Energia de um equipamento elétrico que lhe esteja ligado. Essas medições devem ser transmitidas para a WEB para posterior consulta pelo utilizador/consumidor.

### **1.3. OBJETIVOS**

No início da Dissertação estes eram os objetivos a atingir:

- projetar um sistema de medição de Tensão eficaz, Corrente eficaz, Potência ativa e aparente, Fator de Potência e Energia, baseado em microcontrolador, a ser instalado no Quadro Geral de uma habitação ou empresa;
- o sistema deverá estar permanentemente ligado à Internet, por forma a que as grandezas medidas sejam acedidas online, em tempo real, e ainda sejam disponibilizados os históricos diários, semanais, mensais e anuais do consumo de energia.

Este protótipo tem como objetivo final fornecer informação ao detentor do equipamento de forma a que possa gerir os seus consumos. Com conhecimento sobre a performance de determinado equipamento poderá decidir pela aquisição de um novo mais eficiente ou adotar medidas para contenção dos seus consumos.

### **1.4. CALENDARIZAÇÃO**

Para desenvolver a dissertação e levar a um bom fim, foi feito um planeamento muito macro com as principais tarefas a implementar.

A Tabela 1 descreve a repartição de trabalhos feitos no desenvolvimento desta dissertação.

Tabela 1 Calendário de tarefas agrupadas por bloco de trabalhos

Tarefas	set/18	out/18	fev/19	mar/19	abr/19
	Escolha do tema da tese	17	30	1	
Análise de requisitos			1	28	1
Desenvolvimento solução WEB				1	31
Aquisição de componentes					1
Programação do microprocessador					1
Construção do circuito elétrico					1
Testes finais					1
Elaboração e validação da dissertação					1

Tarefas	mai/19		jun/19		jul/19		ago/19	
	Escolha do tema da tese	1	31	1	30	1	31	1
Análise de requisitos								
Desenvolvimento solução WEB								
Aquisição de componentes								
Programação do microprocessador								
Construção do circuito elétrico								
Testes finais								
Elaboração e validação da dissertação								

Tarefas	set/19		out/19	
	Escolha do tema da tese	1	30	1
Análise de requisitos				
Desenvolvimento solução WEB				
Aquisição de componentes				
Programação do microprocessador				
Construção do circuito elétrico				
Testes finais				
Elaboração e validação da dissertação				

A **escolha do tema da dissertação** ocorreu até meados de outubro de 2018. Consistiu em análise dos temas propostos pelos docentes e interação com eles para melhor perceber o pretendido e se encaixava nas motivações pessoais. No dia 15 de outubro foi aprovada a atribuição da dissertação escolhida.

Depois de escolhida a dissertação houve um interregno nos trabalhos até fevereiro de 2019.

A **análise de requisitos** consistiu em perceber bem o pretendido para avançar com a organização e planificação dos trabalhos técnicos a implementar. Esta tarefa durou cerca de 15 dias.

**Desenvolvimento da solução WEB** consistiu nas tarefas de escolha do servidor onde iria ser alocada a solução, desenho do modelo de dados implementado em MariaDB, escolha do Web design e da solução de gestão de utilizadores e desenvolvimento das funcionalidades requeridas com integração no Web design e da gestão de utilizadores escolhidos. Esta tarefa teve uma primeira fase de cerca de 1 mês de trabalho e uma segunda fase de cerca 1 semana para ajuste

de algumas funcionalidades para que fossem adaptadas à programação feita no microcontrolador.

A tarefa de **aquisição de componentes** consistiu em pequenas tarefas de procura de componentes que reuniam as condições pretendidas, comparação e aquisição. Esta tarefa ocorreu 3 vezes: compra do microcontrolador e dos amplificadores, compra de material para montar a prancheta e uma terceira compra de resistências necessárias para terminar o circuito elétrico.

A **programação do microcontrolador** foi a tarefa mais demorada, requereu mais aprendizagem. Esta parte consistiu numa primeira fase no desenvolvimento num microcontrolador similar, enquanto não chegava o microcontrolador final. Depois teve de ser feita alguma adaptação ao código para que funcionasse corretamente no microcontrolador final.

A **construção do circuito elétrico** correspondeu a cerca de 3 semanas de trabalho e correspondeu à fase de maior assimilação de novos conceitos. Consistiu em analisar os *datasheets* dos vários componentes e desenhar as ligações entre eles.

A tarefa de **testes finais** consistiu em rever a solução montada e verificar os resultados obtidos, se são consistentes com os esperados. Esta tarefa demorou 2 dias.

Por fim, a **elaboração e validação da dissertação** foi a última tarefa a tornar-se materializada, apesar de ser aquela que teve mais persistência no pensamento pois sem ela todo o restante esforço tornar-se-ia inútil. Demorou cerca de 3 semanas, acumulando com o período da tarefa de testes. Foi reservado um período para validação por parte do orientador.

## **1.5. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO**

Este documento está organizado em 5 capítulos. Cada capítulo tem vários subcapítulos, sendo que alguns desses tiveram uma subdivisão.

O primeiro capítulo faz uma introdução à dissertação dizendo o que vai ser tratado, indicando as motivações pessoais do autor, é feita uma contextualização que ajude a entender o impacto desta solução. Um outro subcapítulo identifica os objetivos propostos e no subcapítulo seguinte

há uma calendarização das tarefas, terminando o primeiro capítulo com a indicação de como está organizado o relatório.

No 2º capítulo é descrito o estado da arte de soluções deste género. São descritas várias características de soluções existentes distribuídas por 4 grupos, sendo um subcapítulo para cada grupo.

No capítulo 3 começa-se a detalhar toda a solução *Energy Reader*, sendo este capítulo dedicado à construção do equipamento em si. O capítulo subdivide-se em 7 subcapítulos. No primeiro apresentam-se definições importantes no âmbito da dissertação. No segundo subcapítulo é apresentada a arquitetura conceptual de toda solução. Os 3 subcapítulos seguintes, descrevem os componentes presentes na solução *Energy Reader*, dando maior destaque ao microcontrolador e aos amplificadores, identificando características e qual a função na solução. De seguida, é descrito o desenho do esquema elétrico e por fim é descrito como foram adquiridas as grandezas elétricas, evidenciando medições feitas para validar o correto funcionamento do esquema elétrico.

No capítulo 4 são descritas as ações realizadas para construir a solução WEB. O capítulo divide-se em 7 subcapítulo, sendo o primeiro aquele que indica a linguagem de programação escolhida. De seguida é descrito o servidor onde foi instalada a solução e algumas das características que este deve ter. O 3º subcapítulo, descreve qual a ferramenta de gestão de utilizadores que foi utilizada e de seguida, qual a forma (*bootstrap*) utilizada para implementar o *webdesign* do *site*. No subcapítulo da Base de dados, descreve-se, além de algumas características do motor da base de dados em si, as tabelas e, respetivas estruturas, criadas para a solução. De forma a permitir a interação entre microcontrolador e a base de dados, criou-se um protocolo de comunicação e um subcapítulo para o descrever. Por fim, são descritas as funcionalidades WEB que foram implementadas.

O 5º capítulo e último, são apresentadas as conclusões finais, começando nos objetivos iniciais até aos trabalhos finais atingidos, procurando evidenciar os trabalhos que foram realizados.

O documento tem de seguida as referências bibliográficas utilizadas para apoio ao desenvolvimento deste documento.

O documento termina com os anexos, contendo 4 anexos. O primeiro descreve o ambiente de desenvolvimento do software da solução. O segundo anexo, contém o script de construção da base de dados, o terceiro contém o código fonte do microcontrolador e o último indica como aceder ao código fonte do código WEB (anexado em ficheiro comprimido).

## 2. ESTADO DA ARTE

O mercado apresenta já algumas soluções de monitoramento dos consumos energéticos, podendo estas soluções serem agrupadas em 4 grupos [6]:

1. contadores inteligentes – sistemas digitais de medição e *report* automático utilizados essencialmente pelas empresas de distribuição da energia elétrica;
2. sistema de monitoramento energético da casa – requerem bastante configuração, conhecimentos técnicos, aquisição de equipamentos vários e tem um custo bem acima dos 100€;
3. tomadas inteligentes – categoria onde se encontra esta solução descrita nesta dissertação. Equipamentos com capacidade de leitura de consumo, podendo ter capacidade de monitoramento de histórico, podendo ter outras funcionalidades como, por exemplo, a definição de calendarização de ligar/desligar. São necessários tantos dispositivos quantos os equipamentos que se quer monitorar;
4. *apps* inteligentes de monitoramento energético – não necessita de equipamentos adicionais, baseando a sua informação em dados recolhidos pelos utilizadores, são exigentes na quantidade de informação a ser fornecida e mesmo assim a informação não

tem resultados tão exatos como os outros sistemas, apresentando, no entanto, um custo mais baixo.

Um caso prático de utilização de soluções de tomadas inteligentes é o UKDALE (*UK Domestic Appliance-Level Electricity*) [7]. Este projeto consistiu em associar uma tomada inteligente a cada um dos equipamentos elétricos existentes das 5 casas escolhidas para o projeto, no Reino Unido. Estas tomadas elétricas medem e reportam, numa frequência de 10 em 10 segundos, os consumos do equipamento que lhe está ligado. O interessante deste estudo é o volume de dados que foram recolhidos: 3,5Gb de dados e 4,3 anos de informação de uma das casas.

Para a disciplina de MEREN foi feita uma análise a estes dados e foi possível perceber que há equipamentos que se conseguem comunicar com outros equipamentos da mesma casa, poderá ser conseguida alguma harmonização na potência requerida. Por exemplo, o micro-ondas tem um tempo de utilização relativamente curto. Se ao micro-ondas aplicarmos uma funcionalidade que dê ordens para o frigorífico e/ou arca congeladora se desligar até que ele termine, consegue-se assim reduzir a necessidade de potência para aquele momento.

É neste contexto, de recolha de informação, que para além de permitir ao consumidor perceber onde poderá estar a desperdiçar energia, acumula informação de utilidade para produtores de equipamentos elétricos que assim poderão desenvolver funcionalidades que ajudem também eles a conseguirem a eficiência energética.

De seguida, é feito um enquadramento relativo a algumas soluções já existentes e capazes de serem aplicadas em Portugal, destacando as diferenças entre as soluções. Este capítulo não tem por ambição ser exaustivo na descrição das soluções nem referir todas as soluções, pretende apenas evidenciar outras opções capazes de cumprir um fim semelhante.

## **2.1. ENQUADRAMENTO DA SOLUÇÃO**

A solução *Energy Reader* tem por objetivo medir o consumo de determinado equipamento, podendo, juntando um conjunto de equipamentos igual ao número de aparelhos elétricos instalados em casa, saber qual o consumo total da casa. Esta solução só lê o consumo do equipamento que lhe está conexo e reporta-o para a *internet*.

Saber o consumo total da casa de forma automatizada, tem várias formas possíveis de fazer. De seguida vão ser descritas algumas soluções, não pretendendo que estas sejam exaustivamente detalhadas.

Há quatro grandes tipos de soluções: contadores inteligentes, sistemas de monitoramento do consumo da casa, tomadas elétricas inteligentes e *apps* associadas a energia.

## 2.2. CONTADORES INTELIGENTES

Este tipo de solução é altamente preciso, mas está fora do controlo do utilizador comum. Estas soluções são instaladas pelos fornecedores de energia. Estes contadores enviam o consumo para os servidores do fornecedor de energia elétrica para efeitos de faturação e controlo da energia consumida por cada casa.

A forma de se conseguir obter os consumos automáticos passa por questionar o fornecedor pela disponibilização dessa informação, ficando dependente da sua aceitação e dificilmente se conseguirá a configuração de como essa informação será cedida.

De notar ainda que nem todas as casas têm ainda esta solução instalada pelos fornecedores de energia elétrica.



Figura 3 Exemplo de contador inteligente instalado pela EDP

### 2.3. SISTEMAS DE MONITORAMENTO DO CONSUMO DA CASA

Os sistemas de monitoramento do consumo da casa são uma alternativa que consiste em ligar o equipamento ao quadro da luz da casa.

O passo de ligar o equipamento ao quadro da luz já indicia requerer conhecimentos mais técnicos e cuidado na aquisição deste tipo de solução. Estas soluções têm um preço na ordem das centenas de Euro e fornecem o consumo total da casa.

Há algumas soluções no mercado que além do consumo total da casa poderão medir algumas seções da casa, outras enviam a informação para a WEB, uns através de wireless outras permitindo ligação por cabo. No entanto, a solução **Neurio Home Energy Monitor** destaca-se como aquela que apresenta uma funcionalidade mais interessante: consegue identificar grandes equipamentos que estão ligados à rede elétrica da casa. Tem algum erro nesta identificação, mas acaba por ser uma solução muito interessante, para quem tem mais capacidade de investimento. De referir, que não consegue distinguir os pequenos equipamentos.

O facto de fornecer valores totais de consumos não permite identificar quais os equipamentos que estão a ser pouco eficientes nem permite interagir com os equipamentos, ao ponto de ligar/desligar de forma remota.



Figura 4 Equipamentos que compõem a solução Neurio Home Energy Monitor

## 2.4. TOMADAS ELÉTRICAS INTELIGENTES

Das pesquisas feitas, identificou-se dois tipos de tomadas elétricas inteligentes:

- as que são utilizadas para controlar o funcionamento do equipamento (por exemplo, as que desligam o próprio equipamento e outros quando o equipamento principal está desligado) ou as usadas como um relógio, permitindo calendarizar a utilização do equipamento;
- e as que monitorizam o consumo do equipamento que lhe está ligado.

É assim já visível onde se enquadra a solução *Energy Reader*, precisamente nesta última referida.

No âmbito desta dissertação interessa falar sobre as de monitoramento do consumo. Estas são de mais simples utilização bastando conectar o equipamento elétrico à tomada inteligente, são mais baratas que as anteriormente referidas e algumas permitem, inclusive, a possibilidade de ligar/desligar à distância.

As tomadas inteligentes que desligam outros equipamentos quando o equipamento principal se desliga, permitem o seguinte exemplo, o ato de desligar a TV tem por efeito desligar a box dos canais digitais, evitando-se assim que haja consumos desnecessários quando o utilizador já não está a usar o equipamento principal.

As tomadas com relógio poderão servir para definir que certos equipamentos só funcionem em horários com preços de energia mais baixos, por exemplo as máquinas de lavar loiça são bons candidatos a estas tomadas.

Os preços destes produtos encontram-se entre os 20€ e os 40€ e uma das soluções já existentes no mercado é a D-LINK WI-FI Smart Plug.



**Figura 5 Tomada inteligente D-LINK WI-FI Smart Plug.**

## **2.5. APPS ASSOCIADAS A ENERGIA**

Estas são as soluções mais baratas, algumas até gratuitas. Não necessitam de qualquer *hardware*, mas são também aquelas mais trabalhosas e menos fidedignas.

São menos fidedignas porque baseiam o seu funcionamento em informação introduzida manualmente e deles dependendo para produzirem algum resultado.

O interesse destas aplicações poderá residir nas estimativas de custos que elas apresentam.

A título de exemplo, a *app* em <https://poupaenergia.pt/simulador-simples/> é disponibilizada pelo governo e é uma das que se enquadra nesta tipificação.

### 3. PROTÓTIPO DESENVOLVIDO

O objetivo desta dissertação é criar um sistema de medição de grandezas elétricas, nomeadamente Tensão eficaz, Corrente eficaz, Potência ativa, Potência aparente, Fator de Potência e Energia disponibilizando essa informação numa página WEB. O protótipo foi criado e recebeu o nome de *Energy Reader* (leitor de energia) tornando simples uma referência ao equipamento e, também, pelo facto de ser uma boa prática atribuir um nome relativamente simples para registar nos servidores WEB (visto que esta solução tem uma componente WEB). O nome em inglês deve-se essencialmente a um pensamento de escala mais global para a solução, não se deve daqui inferir qualquer desrespeito pela língua portuguesa.

A solução total será descrita em dois grandes capítulos. Este capítulo descreve a componente elétrica e eletrónica, responsável por interagir com a rede elétrica e que tem por objetivo obter as grandezas que a dissertação se propunha conseguir e comunicá-las para a WEB. O outro grande capítulo (o capítulo 4) descreve a parte WEB.

Assim, este capítulo começa por apresentar um subcapítulo destinado às definições mais relevantes trabalhadas nesta dissertação, apresentando também expressões matemáticas que foram utilizadas para cumprir o objetivo de aquisição das grandezas, qual a relação entre os conceitos e como podem ser obtidos.

De seguida, é apresentada a arquitetura conceptual da solução, podendo aí ver-se as partes essenciais da solução.

Os três subcapítulos seguintes descrevem os componentes utilizados na solução, indicando para que servem, características e quais as funções na solução. Foi criado um subcapítulo para o microcontrolador, outro para os amplificadores e o terceiro descreve os outros componentes de forma mais genérica.

No subcapítulo seguinte, aprofundam-se as interligações entre os vários componentes com a apresentação e descrição do esquema elétrico. A construção do esquema elétrico e a interligação entre os vários componentes foi onde mais se explorou e colocou em prática alguns dos conhecimentos adquiridos no curso.

No subcapítulo final, de aquisição das grandezas, é descrito o processo de aquisição das tensões e das correntes dos amplificadores e como se obtêm as outras grandezas a partir destas.

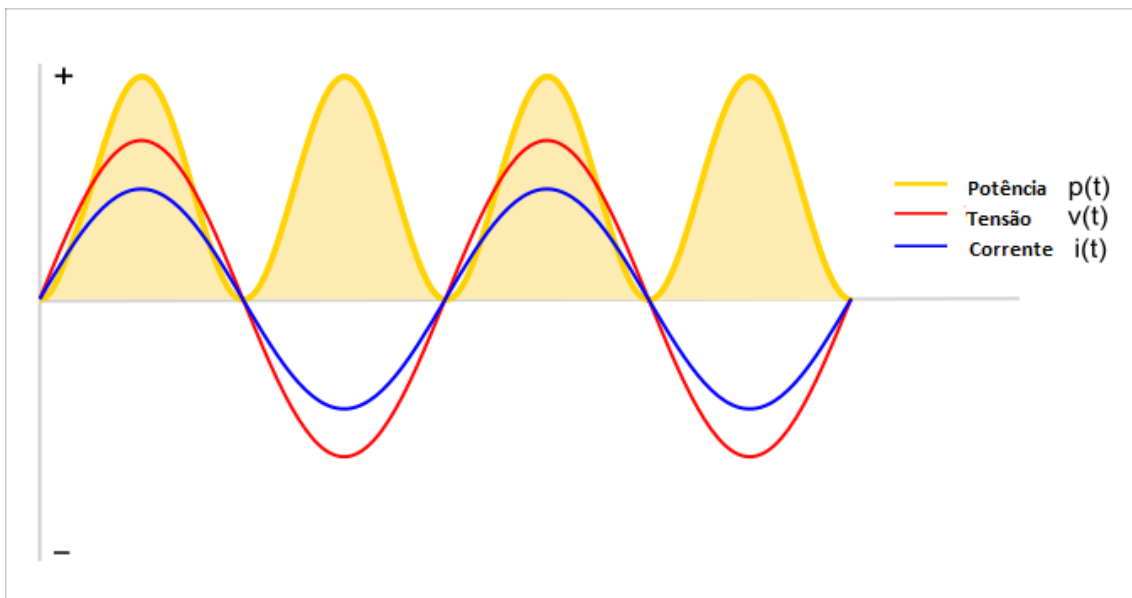
### 3.1. DEFINIÇÕES

No âmbito da perspectiva elétrica, definem-se os seguintes conceitos. Salvo indicação em contrário, as seguintes definições foram retiradas, e traduzidas, da referência bibliográfica [8]:

- **Corrente [10]** – fluxo ordenado de partículas portadoras de carga elétrica ou o deslocamento de cargas dentro de um condutor, quando existe uma diferença de potencial elétrico entre as extremidades. Tal deslocamento procura restabelecer o equilíbrio desfeito pela ação de um campo elétrico ou outros meios. A unidade de medida é o Ampére (A), na lei de Ohm é representado pelo **I**.
  - podemos ter **corrente contínua** (CC, ou em inglês DC – *direct current*) – fluxo ordenado de cargas elétricas no mesmo sentido (este tipo de corrente é frequentemente gerado por baterias, dínamos, células solares e fontes de alimentação);
  - e **corrente alternada** (CA, ou em inglês AC – *alternating current*) – fluxo cujo sentido varia no tempo.
- **Tensão [11]** – consiste na diferença de potencial elétrico entre dois pontos. Essa diferença de potencial é que possibilita o movimento dos elétrons gerando assim a corrente elétrica. Quanto maior for a diferença de potencial, mais energia pode fluir no circuito. A unidade de medida é o Volt (V), na lei de Ohm é representado pelo **V**.
- **Tensão eficaz ( $V_{RMS}$ ) [9]** – é um método de denotar uma forma de onda sinusoidal de tensão (forma de onda em corrente alternada - CA) como uma tensão equivalente que representa o

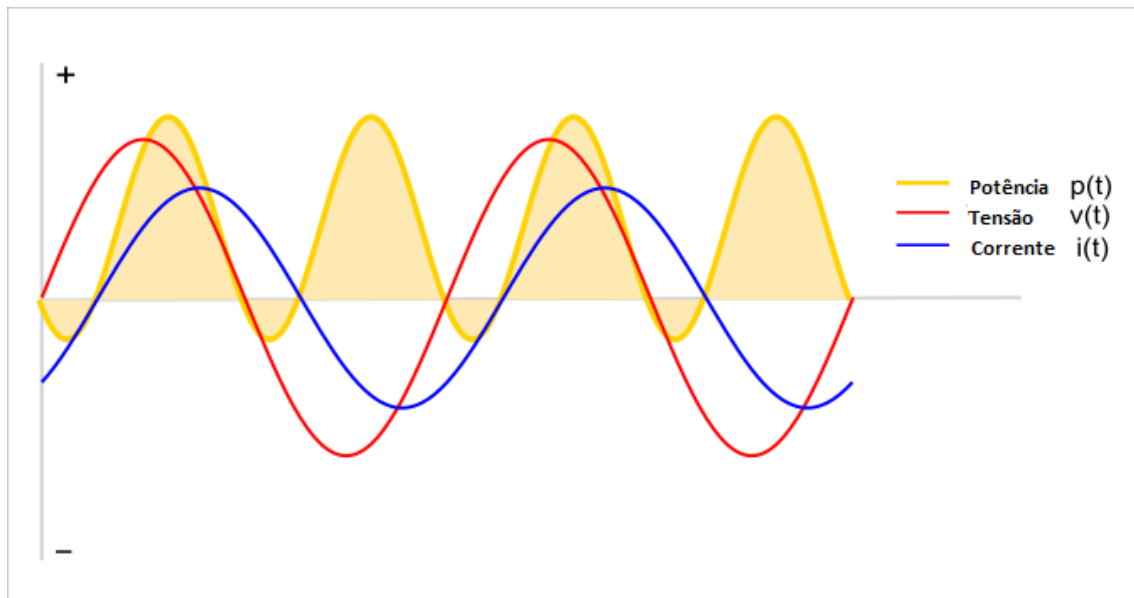
valor da tensão em corrente contínua (CC) e que produzirá o mesmo efeito de aquecimento ou a dissipação de energia num circuito, como essa tensão CA. As formas de onda de CA variam entre valores positivos e negativos enquanto em CC os valores são de sentido único constante e que não possui ciclos. A tensão eficaz é a tensão CC equivalente que fornece a mesma quantidade de energia para uma carga num circuito que o sinal AC faz sobre o seu ciclo. Obtém-se este valor aplicando a raiz quadrada à média da soma dos quadrados das tensões instantâneas obtidas;

- **Corrente eficaz ( $I_{RMS}$ )** [9] – é o método similar à tensão eficaz, mas aplicado à corrente. Permite obter a corrente em CC. Para obter este valor aplica-se a mesma fórmula que para as tensões eficazes sendo que a grandeza a ter em conta é a corrente instantânea obtida.
- **Resistência** [11] – é a capacidade de um corpo se opor à passagem de corrente elétrica, mesmo quando existe uma tensão aplicada. A resistência causa o efeito Joule, em que parte da energia é perdida em forma de calor. Quanto maior a resistência, maior a perda. A unidade de medida da Resistência é o **Ohm** ( $\Omega$ ) e na lei de Ohm a sua representação é o **R**.
- **Cargas resistivas** – são aqueles equipamentos que usam toda a energia que lhes é fornecida, a sua corrente é igual à tensão dividida pelas resistências (lei de Ohm). Alguns exemplos destas cargas são os ferros de engomar, chaleiras e aquecedores. A Figura 6 é um diagrama típico das variáveis deste tipo de equipamentos.



**Figura 6** Diagrama da potência, tensão e corrente de cargas resistivas

- **Cargas parcialmente reativas** – há equipamentos que tem componentes indutivos ou capacitivos em adição aos resistivos e não consomem toda a energia que lhes chega, devolvendo alguma energia ao fornecedor de energia. O seu diagrama de potência pode ser visto na Figura 7.



**Figura 7 Diagrama da potência, tensão e corrente de cargas parcialmente reativas**

- **Potência instantânea** – potência medida em determinado instante, é dado pelo produto dos valores instantâneos da tensão e da corrente;
- **Potência real (ativa)** – uma vez que a energia varia 50 vezes por segundo fica difícil quantificar a potência. Assim, calcula-se a média das potências instantâneas num dado período a que se dá o nome de **potência real ou ativa**. Esta potência ativa é também definida como a potência utilizada pelo equipamento para fazer algum trabalho útil. Na Figura 7, onde vemos a potência a positivo, é energia a fluir do fornecedor para a carga (e utilizada por este), a negativo é a que vem da carga para o fornecedor de energia (não utilizada pela carga). A diferença entre os dois é a potência ativa;
- **Potência reativa ou imaginária** – é a potência que circula entre fornecedor de energia e a carga e não é utilizada para fazer trabalho útil;
- **Potência aparente** – é a medida da potência ativa e reativa, mas não é a soma dos dois, porque a soma dos dois não tem em conta as diferenças de fases. Para cargas resistivas, a potência aparente é igual à potência ativa, mas para as outras cargas a potência ativa é menor

que a potência aparente. Esta potência aparente é conseguida pelo produto da raiz quadrada da média do quadrado (RMS – *Root-Mean-Square*, também conhecido por valor eficaz) da tensão ( $V_{rms}$ ) pelo RMS da corrente ( $I_{rms}$ ). Relação entre ativa, reativa e aparente:

- Potência ativa = Potência aparente \*  $\cos\Phi$
- Potência reativa = Potência aparente \*  $\sin\Phi$
- $\cos\Phi$  também conhecido por **fator de potência**. O fator de potência pode ser obtido através de uma relação entre potência ativa e aparente:  $f_p = \frac{\text{potência ativa}}{\text{potência aparente}}$ .
- **Energia** – é um indicador de quanta potência foi consumida em determinada quantidade de tempo.

Na Tabela 2 apresenta-se um resumo entre as expressões matemáticas utilizadas para calcular as grandezas em tempo contínuo e as utilizadas no protótipo em tempo discreto.

**Tabela 2** Expressões matemáticas das grandezas em tempo contínuo e tempo discreto

Grandeza	Tempo contínuo	Tempo discreto
<b>Tensão instantânea</b>	$v(t)$ – t é o tempo e varia continuamente	$v(n)$ – n refere-se ao número da amostra
<b>Corrente instantânea</b>	$i(t)$	$i(n)$
<b>Valor eficaz da tensão</b>	$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int v(t) dt}$	$V_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (v(n))^2}{n}}$
<b>Valor eficaz da corrente</b>	$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int i(t) dt}$	$I_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (i(n))^2}{n}}$
<b>Potência ativa</b>	$P = \frac{1}{T} \int v(t) * i(t) dt$	$P = \frac{\sum_1^n v(n) * i(n)}{n}$
<b>Potência aparente</b>	$S = V_{RMS} * I_{RMS}$	$S = V_{RMS} * I_{RMS}$
<b>Fator de potência</b>	$f_p = \frac{P}{S}$	$f_p = \frac{P}{S}$
<b>Energia</b>	$E = P * t$	$E = P * t$

### **3.2. ARQUITETURA CONCEPTUAL DO *ENERGY READER***

A solução *Energy Reader* tem por objetivo medir a Tensão, Corrente, Potência, Fator de Potência e Energia do equipamento elétrico que lhe está ligado e transmitir essa informação para o servidor WEB, sendo nesse que o utilizador ficará a saber os seus consumos.

Os objetivos propostos para esta dissertação, detalhados no subcapítulo 1.3, foram na sua generalidade atingidos.

Era pretendido que se conseguisse um sistema de medição de tensão, corrente, potência, fator de potência e energia e que estes, através de um microcontrolador, fossem enviados para a WEB onde pudessem ficar armazenados.

Os valores propostos a serem calculados, sendo geridos por um microcontrolador com capacidade de os enviar para a WEB foram conseguidos. A solução desenvolvida pode perfeitamente ser instalada no quadro geral da casa (desde que a alimentação da casa seja monofásica). Optou-se por construir uma solução que obtém as medições do equipamento elétrico que lhe está ligado, obtendo assim uma medição menos global e mais aproximado relativamente ao consumo individual.

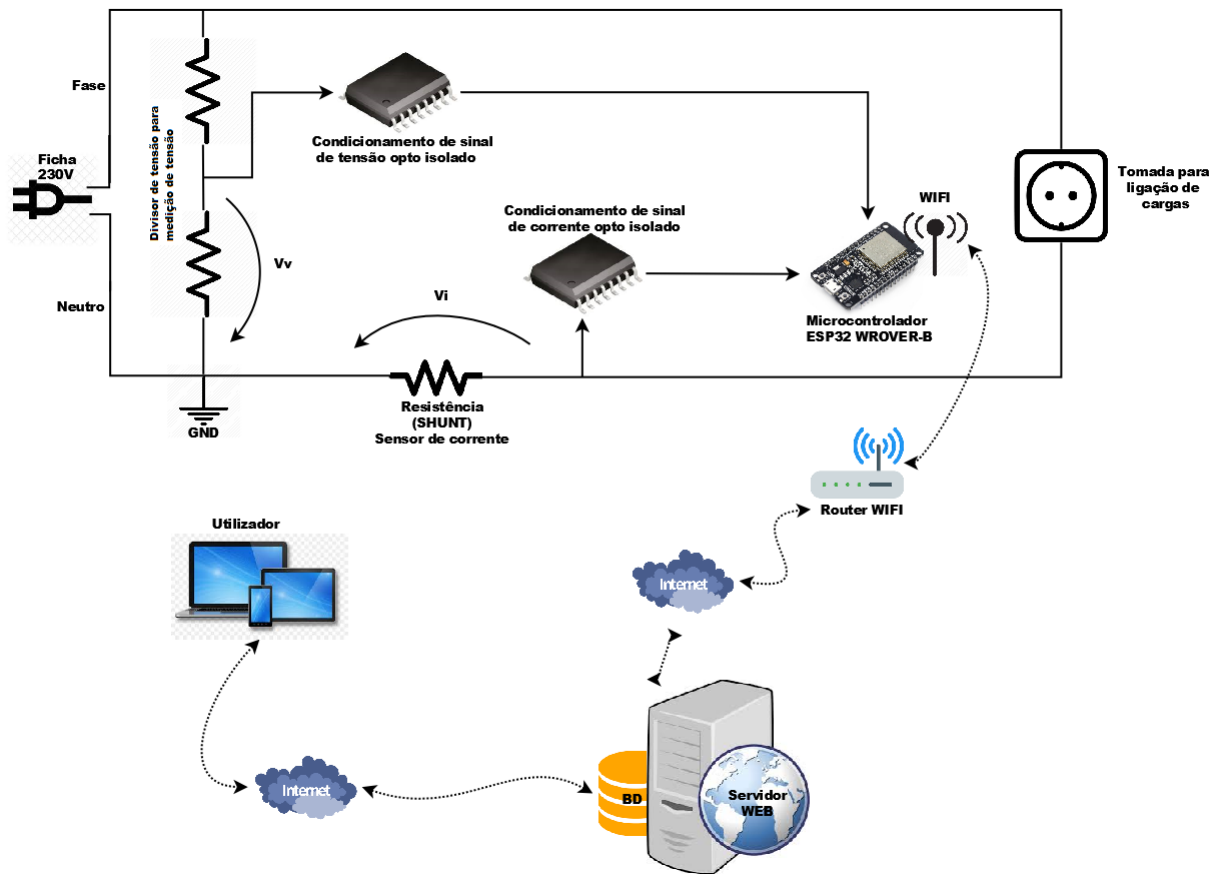


Figura 8 Arquitetura conceptual da solução *Energy Reader* desenvolvida

O conceito da solução *Energy Reader* pode ser melhor vista na Figura 8.

O equipamento *Energy Reader* será colocado entre a tomada e o equipamento elétrico, cujas grandezas elétricas se pretendem medir/analisar.

Dessa ficha, e para efeitos de medição da tensão, colocou-se entre fio da fase e do neutro um divisor de tensão de forma a que dessa divisão se consiga extrair uma tensão compatível com o amplificador optoisolado escolhido, que neste caso é  $\pm 200\text{mV}$ . Para medição das correntes é utilizado um amplificador igual ao utilizado para efetuar medição de tensão, mas agora a tensão de  $\pm 200\text{mV}$  é medida aos terminais de uma resistência de *shunt* como se pode ver na Figura 8.

O amplificador, opticamente isolado, além de separar o circuito da potência do circuito de sinal, obtém de input valores que variam entre os  $-200\text{mV}$  e os  $200\text{mV}$ , produzem *output* entre os  $0\text{V}$  e os  $5\text{V}$ .

O microcontrolador recebe os sinais analógicos que representam a tensão e a corrente instantânea. O microcontrolador fará 200 leituras de tensões e correntes de forma a aproximar a curva obtida dos valores discretos da curva que se obteria se fosse lido em contínuo.

Através das leituras simultâneas de 200 tensões e 200 correntes, o microcontrolador calculará o valor eficaz da tensão e da corrente, a potência ativa, potência aparente, fator de potência e energia e enviará essa informação para a WEB através do seu *chip* integrado de comunicações WIFI.

A comunicação WIFI está integrada no microcontrolador e importa referir que a solução está construída partindo do pressuposto que existirá um router WIFI no local que possa ser utilizado para comunicar os dados para a WEB. Assim, o microcontrolador, na sua primeira ação verifica se das redes WIFI disponíveis, alguma está configurada para que ele a possa utilizar. Não existindo, o equipamento fica a aguardar que lhe seja configurado os dados de autenticação no router WIFI para que este possa enviar a informação para o servidor WEB através da *internet*.

O servidor WEB tem uma funcionalidade preparada para receber a informação comunicada pelo microcontrolador e guardá-la na base de dados. Tem outras funcionalidades com o objetivo de apresentar, numa interface amigável para o utilizador, os dados que foram calculados pelo microcontrolador e que refletem os consumos lidos.

Assim, de forma sintética, estes são os componentes existentes no *hardware* da solução ***Energy Reader***:

- **tomada**, local onde se vai ligar o equipamento elétrico, ou seja, as cargas;
- **amplificador opticamente isolado para resistência sensora**, com a função de amplificar a tensão recebida entre os -200mV e os 200mV para o intervalo entre os 0V e os 5V;
- **microcontrolador**, responsável por ler os sinais analógicos do amplificador, efetuar os cálculos localmente e fazendo uso da sua capacidade de comunicação por WIFI, enviar esses resultados para o servidor WEB;

Assim, nos próximos subcapítulos são descritos com mais pormenor os vários componentes desta dissertação, procurando esclarecer qual o seu papel na solução final.

### 3.3. MICROCONTROLADOR

O microcontrolador escolhido, para a implementação da solução *Energy Reader*, foi o ESP32-WROVER-B do fornecedor *Espressif Systems*.

Na pesquisa de um microcontrolador as características chave utilizadas para identificar o mais adequado foram:

- ter comunicações integradas por WIFI de forma a reduzir aos componentes a adquirir. Estar o *chip* já incluído no componente torna a solução mais pequena, mais barata e mais robusta;
- ter, pelo menos, dois pinos com capacidade de leitura de sinais analógicos;
- ter uma capacidade de processamento de forma a que consigam executar as funcionalidades de comunicação e com capacidade de execução de medições à cadência adequada ( $\frac{20ms}{200} = 100\mu s$ ), requerendo assim uma frequência de processamento elevada;
- não ser um componente demasiado recente, pois a documentação pode ser escassa e o componente não ter maturidade suficiente, podendo-se incorrer em falhas não previstas;
- ter custos baixos.

Dos vários componentes pesquisados, este foi um dos que reuniu todos os requisitos.

#### 3.3.1. CARACTERÍSTICAS

Apresentam-se na Tabela 3 algumas das principais características deste microcontrolador:

**Tabela 3** Características mais relevantes do microcontrolador ESP32-WROVER-B

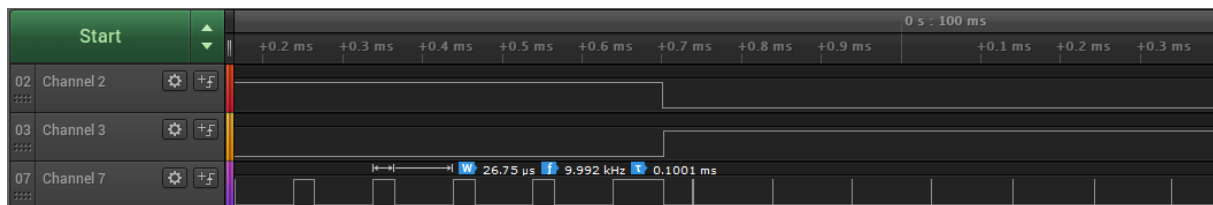
Categories	Items	Specifications
Wi-Fi	Protocols	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps) A-MPDU and A-MSDU aggregation and 0.4 s guard interval support
	Frequency range	2.4 GHz ~ 2.5 GHz
Hardware	Module interfaces	SD card, UART, SPI, SDIO, I <sup>2</sup> C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC
	On-chip sensor	Hall sensor
	Integrated crystal	40 MHz crystal
	Integrated SPI flash	4 MB
	Integrated PSRAM	8 MB
	Operating voltage/Power supply	3.0V~3.6V
	Minimum current delivered by power supply	500 mA
Recommended operating temperature range	-40 °C ~ 65 °C	

A tensão necessária para alimentar este componente é de 3.3V correspondendo ao mesmo valor esperado nos pinos de leitura do sinal proveniente dos amplificadores.

As interfaces com capacidade de conversão de sinal analógico para digital (as ADC) têm uma resolução de 12 bits, variando assim os valores entre 0 e 4095.

Este componente tem preços a variar entre 9€ e o 15€, dependendo dos custos de transporte e das quantidades que se adquire.

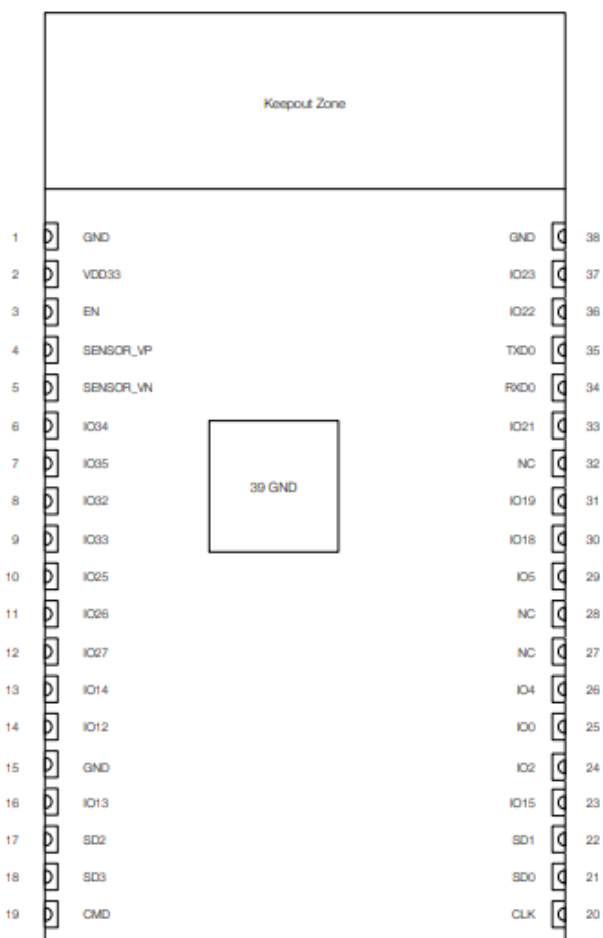
Para efeitos de verificação da capacidade de processamento do microcontrolador, fez-se uma avaliação ao tempo consumido por cada medição, podendo perceber-se que o tempo total demora cerca de  $\frac{1}{4}$  do tempo total projetado para este protótipo, demorando cerca de  $27\mu\text{s}$  (ver Figura 9)



**Figura 9** Tempo gasto em cada obtenção de medição de corrente e tensão e cálculo de suporte para obtenção das outras grandezas

Para um maior detalhe das características deve ser consultada a ficha técnica do componente [12].

A partir da ficha técnica, retirou-se a representação do *pinout* dos 38 pinos que está representado na Figura 10.



**Figura 10 Pinout do microcontrolador**

Da ficha técnica recolhemos as características dos pinos GPIO32 e GPIO33 que foram os escolhidos para receber as comunicações dos amplificadores.

**Tabela 4 Características dos pinos IO32 e IO33**

Name	No.	Type	Function
IO32	8	I/O	GPIO32, XTAL_32K_P (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9
IO33	9	I/O	GPIO33, XTAL_32K_N (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8

Verifica-se assim que os pinos são adequados para *input* e *output* (“*type I/O*”), e tem funções ADC1 (*Analog to Digital Converter* - capacidade de conversão de sinais analógicos em digitais).

NOTA: de acordo com as especificações do fornecedor, quando se pretende usar o WIFI não devem ser utilizados pinos ADC2.

O microcontrolador é o componente que tem a inteligência da solução e é neste que se pode definir o que a solução pode fazer.

A programação do microcontrolador é desenvolvida na linguagem C, foi usado o IDE utilizado para programar Arduino's.

O microcontrolador foi programado para se obter um número elevado de amostras num período muito curto, neste caso, 200. Cabe assim ao microcontrolador gerir as ligações com os amplificadores, obtendo as leituras que estes lhe fornecem continuamente.

```
readV[interruptCounter] = (double)
(analogRead(PIN_TENSAO)-V_medio_em_bits) *
ganho_tensao;

readI[interruptCounter] = (double)
(analogRead(PIN_CORRENTE)-I_medio_em_bits) *
ganho_corrente;
```

Neste pedaço de código, vemos uma operação de leitura dos pinos onde estão ligados os amplificadores e imediata conversão do valor para a ordem de grandeza a que esse valor corresponde.

É também este microcontrolador responsável por efetuar os cálculos e enviá-los para o servidor WEB, fazendo com que o servidor WEB se limite apenas a apresentar os valores já calculados.

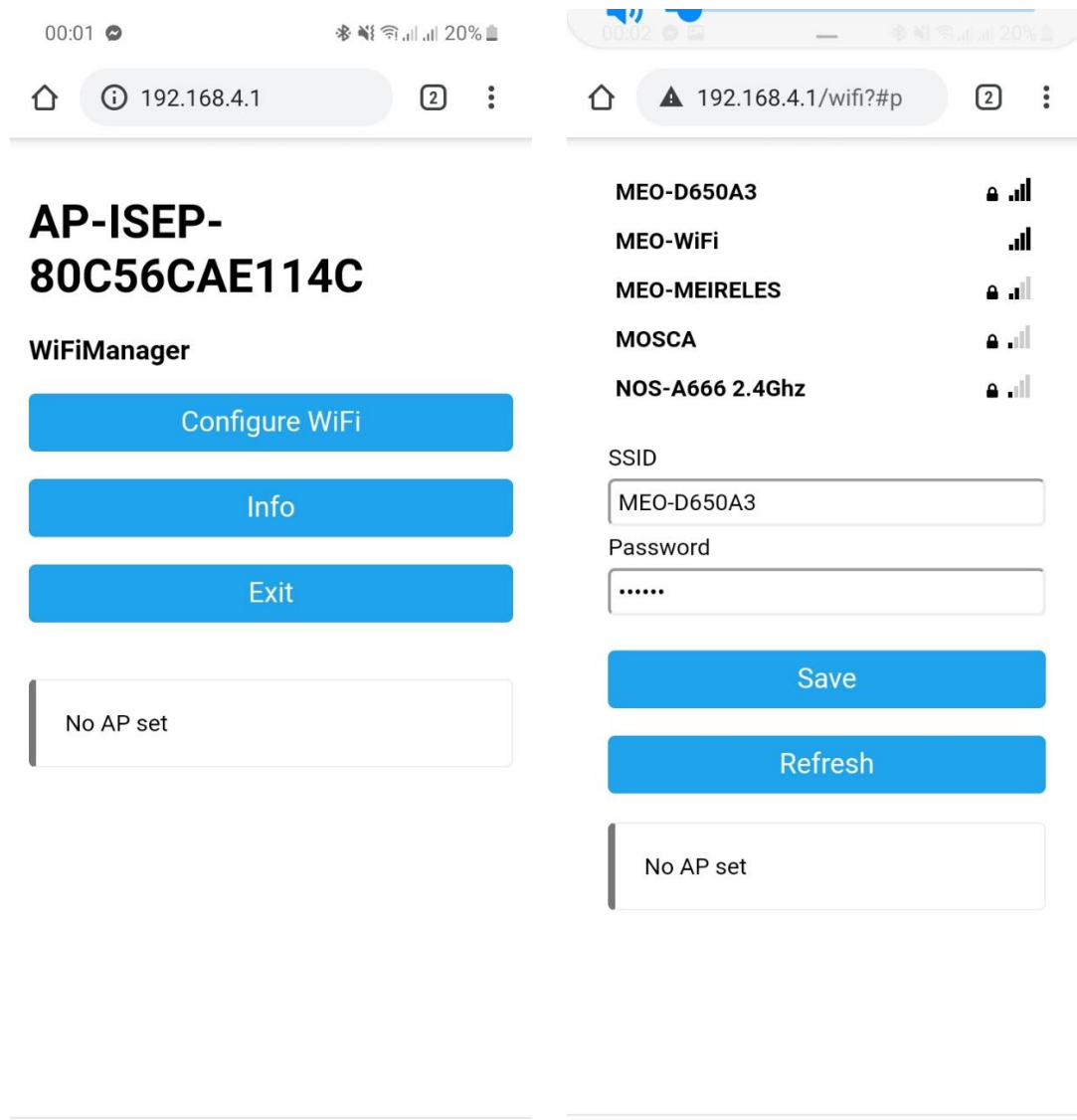
É o microcontrolador que exerce as funções de gestão das comunicações com o servidor bem como a gestão do sinal WIFI e a ligação Wireless.

### **3.3.2. MODO DE FUNCIONAMENTO**

Assim que o microcontrolador é energizado, a sua primeira função é obter o seu identificador único, composto pelo seu MAC ADDRESS, indicado pelo fornecedor como sendo um identificador único.

Obtido este identificador, tenta ligar-se a uma rede WIFI que esteja configurada e que ele tenha conhecimento de qual o utilizador e password.

Se não tiver conhecimento de nenhuma, entra em modo *Access Point* (AP) de forma a que se possa aceder a ele e configurar o acesso à rede WIFI.



**Figura 11** Ecrãs de configuração da password de acesso à rede WIFI

Na Figura 11 temos uma captura de ecrã de um telemóvel, utilizado para configurar o acesso ao WIFI da casa no microcontrolador.

Quando o microcontrolador entra em modo AP, fica ativa uma rede Wireless com o nome “**AP-ISEP-XXXXXXXXXXXX**”. Onde consta **XXXXXXXXXXXX** aparecerá o MAC ADDRESS do equipamento. Esta é assim uma forma do utilizador conseguir identificar o equipamento. Para aceder a esta rede será solicitada uma palavra chave e deve ser introduzido: **3N3RGYR3AD3R**.

Depois de conseguido acesso a esta rede (recorrendo a um telemóvel, ou um portátil ou outro equipamento que consiga comunicar pelo protocolo WIFI utilizado pelo microcontrolador – ver Tabela 3), deve aceder-se a *browser* de *internet* e introduzir o endereço: <http://192.168.4.1> e a partir daí terá acesso ao servidor web do microcontrolador, representado pela Figura 11. A opção **Configure WIFI** dá acesso ao ecrã do lado direito, onde constam as várias redes WIFI que o microcontrolador tem acesso. Cabe ao utilizador escolher a de sua casa e indicar a palavra chave de acesso.

A biblioteca **WifiManager**, descrita no Anexo A é a responsável por gerir este processo.

Enquanto não tiver acesso à *internet* o microcontrolador não executa nenhuma outra função.

Depois de conseguido o acesso, é feita uma verificação se o equipamento já está registado no servidor, acedendo à funcionalidade WEB que faz essa verificação, cumprindo o protocolo de comunicação definido em 4.6.

O último passo do arranque do microcontrolador é ativar um temporizador que executará uma medição a cada 100 $\mu$ s. Esse temporizador, a cada 200 medições, calculará os valores eficazes da Tensão e da Corrente, da potência ativa, do fator de potência e da potência aparente e envia-os para o servidor WEB, respeitando o protocolo definido para guardar os consumos. Enquanto calcula os valores finais e envia para a WEB, não são feitas medições.

### **3.4. AMPLIFICADORES OPTOISOLADO**

A solução **Energy Reader** é composta por dois amplificadores ACPL-785J do fornecedor Avago Technologies [13]. O fornecedor do componente inicia a sua ficha técnica definindo-o como sendo um amplificador isolado com detetor de curto circuito e sobrecarga tornando-o um sensor de corrente compacto, acessível e de fácil implementação.

Um amplificador foi utilizado para medir a tensão e outro para medir a corrente.

### 3.4.1. O QUE É UM AMPLIFICADOR

Os amplificadores são componentes eletrônicos compostos por dois circuitos isolados que operam por meio de um feixe de luz, para transmitir sinais de um circuito para outro, sem que haja uma ligação elétrica entre ambos.

São utilizados para proteger circuitos sensíveis, como os que utilizam microcontroladores. Entre os seus dois circuitos não há uma ligação elétrica (por isso a sua definição de “isolado”), havendo uma transmissão de sinais do circuito de entrada para o de saída através de uma fonte emissora de luz (LED) para o recetor (foto sensor de sílico).

O amplificador ACPL-785J tem ainda a capacidade de amplificar a forma de onda recebida para valores de tensão compatíveis com as entradas analógicas dos microcontroladores. Este amplifica as tensões do intervalo entre -200mV e os 200mV para valores de sinal entre os 0V e 5V.

Da ficha técnica do componente é possível ver as medições retiradas pelo fornecedor que representa a amplificação do sinal de entrada para o sinal de saída. Ver Figura 12

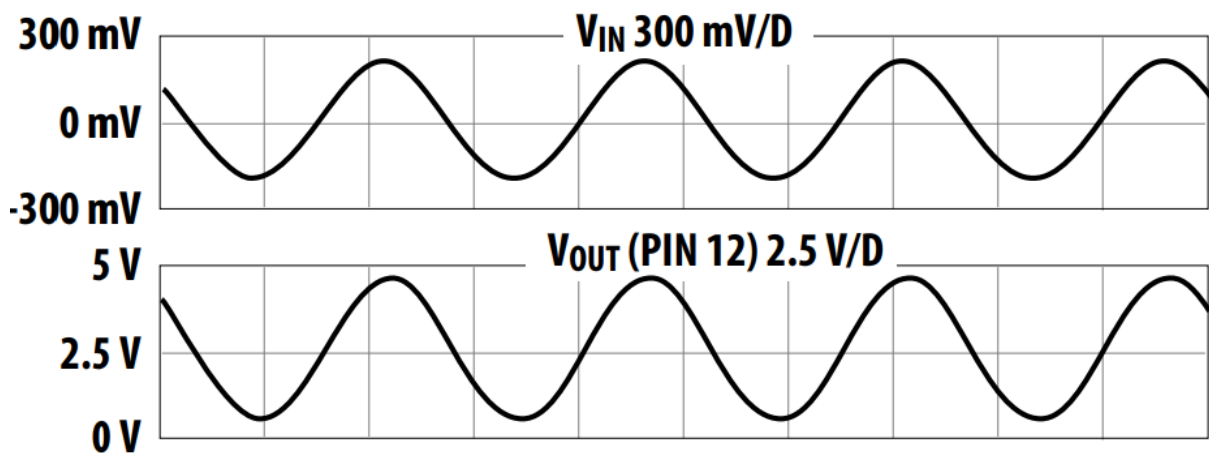


Figura 12 Sinal de entrada e o sinal amplificado de saída [13]

### 3.4.2. CARACTERÍSTICAS

Analisando a ficha técnica do fornecedor do amplificador, verifica-se a existência de um circuito preparado para receber a corrente, do lado de entrada do circuito, e as ligações a fazer

ao microcontrolador para que este seja capaz de recolher os sinais lidos no circuito de saída. Esse circuito está representado na Figura 13.

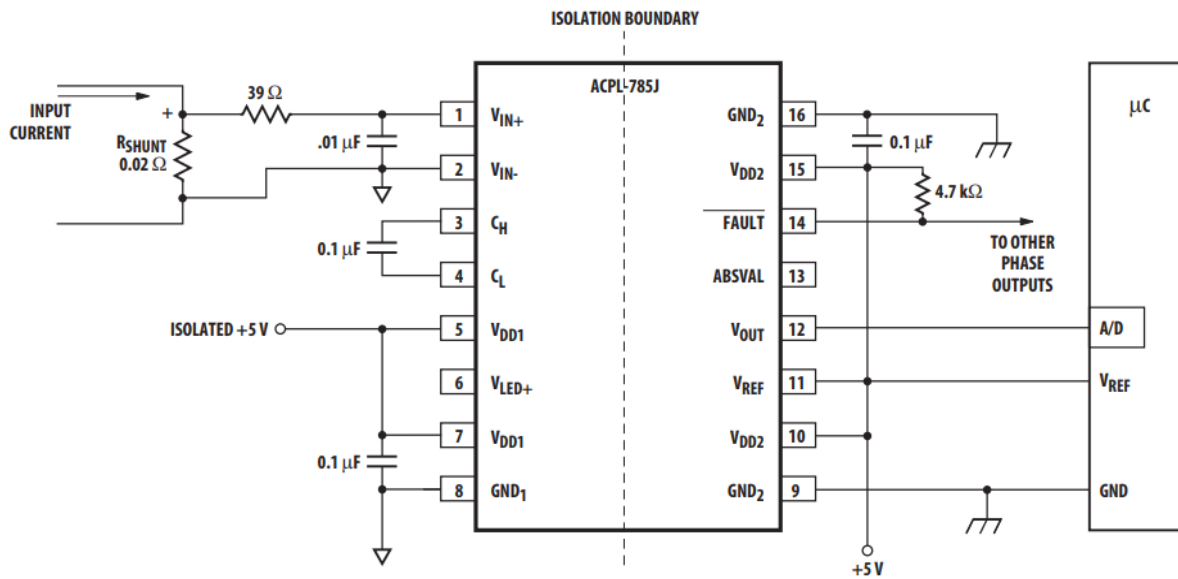


Figura 13 Circuito do sensor de corrente [13]

Podemos ver no circuito a existência de duas massas distintas, tal deve-se ao facto de termos dois circuitos isolados dentro do componente. Verifica-se também que os pinos 1 e 2 são os de *input* da corrente do circuito de entrada, os 5 e 7 (conectado ao pino 5) são os pinos utilizados para fornecer os 5V isolados necessários para o funcionamento do circuito e o pino 8 ligado à massa.

Do lado do circuito de saída, o pino 12 é o que serve de *output* dos valores medidos no circuito de entrada e transmitidos para o circuito de saída. A saída deste pino tem valores entre 0V e  $V_{Ref}$ , sendo  $V_{Ref}$  um valor que varia desde 4,0V até ao valor de alimentação do pino 10 (ou 15 – nestes pinos a tensão aceitável é entre 4,5V e 5,5V). Os pinos 9 e 16 (ligados entre si, representam a massa), 10 e 15 (ligados entre si, representam a alimentação do circuito) também foram utilizados. A solução está configurada para 5V de saída.

A Tabela 5 define as condições recomendadas de utilização. Recomenda-se a leitura da ficha técnica [13] do componente para aferir outros parâmetros, caso necessário.

Tabela 5 Condições de operação dos amplificadores escolhidos [13]

<b>Condições de operação recomendadas</b>				
<b>Parâmetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Unidade</b>
Temperatura ambiente de operação	$T_A$	-40	85	°C
Tensão de alimentação	$V_{DD1}, V_{DD2}$	4,5	5,5	V
Tensão de <i>input</i> (precisa e linear)	$V_{IN+}, V_{IN-}$	-200	200	mV
Tensão de <i>input</i> (funcional)	$V_{IN+}, V_{IN-}$	-2	2	V
Tensão de referência	$V_{REF}$	4	$V_{DD2}$	V

Como já foi referido, foram utilizados dois amplificadores na solução desenvolvida. Um amplificador optoisolado como sensor de tensões e outro como sensor de correntes.

Cada amplificador, é composto por dois circuitos isolados opticamente. No circuito de entrada de tensão (circuito de potência), de um modo simplificado, foi concebido para receber um sinal que varia desde -200mV e 200mV. Esse circuito, converte esse sinal recebido e recorrendo a um feixe de luz, transmite essa informação para o outro circuito, onde um fototransistor converte esse sinal num outro sinal 0V e 5V. No caso deste protótipo, o microcontrolador consegue ler sinais analógicos entre 0V e 3,3V, por isso foi aplicado um divisor de tensão para que o sinal de entrada respeitasse esses valores. Ver Figura 14 (Esquema elétrico da solução *Energy Reader*) e o capítulo 3.6.3 para verificar os cálculos executados.

Este é o comportamento dos dois amplificadores. Um dos amplificadores será o responsável por isolar, ler a tensão e comunicá-la para o pino 33 do microcontrolador e o outro será responsável por fazer o mesmo à corrente, comunicando-a para o pino 32 do microcontrolador.

Sendo dois componentes iguais o que difere no resultado obtido deve-se ao *input* de cada um dos amplificadores.

### 3.5. OUTROS COMPONENTES

Tal como é possível visualizar no esquema elétrico (ver 3.3) há um conjunto de componentes, desde resistências e condensadores, passando pelos já falados microcontrolador e amplificadores. Há ainda dois componentes, um que se trata de uma fonte de alimentação ajustável e outro um conversor isolado DC/DC.

Neste capítulo, são descritos sucintamente estes dois últimos componentes indicando a sua função na solução.

### **3.5.1.        CONVERSOR DC/DC ISOLADO**

Um conversor DC/DC tem como funcionalidade converter uma tensão DC noutra tensão DC, com a particularidade de as duas tensões serem isoladas entre si.

O conversor DC/DC é de 5V para 5V, é alimentado pelo lado do sinal e a saída alimenta o lado da potência no amplificador.

Cada amplificador tem dois circuitos isolados sendo que cada circuito é alimentado por 5V. Assim, através do conversor DC/DC, será possível alimentar, no amplificador e de forma isolada, o circuito que controla a potência recebida e o circuito que controla o sinal.

O conversor escolhido foi o MEV1S0505SC do fornecedor Murata e o *input* e o *output* têm a mesma tensão: 5V.

### **3.5.2.        YwROBOT**

O componente do fornecedor YwRobot é um módulo de fonte de alimentação para placas de ensaio de soluções eletrónicas. Este módulo, alimentado a 9V DC, é capaz de fornecer dois barramentos de alimentação, de 5V e 3,3V, e possui também um conector USB para alimentação de dispositivos via USB.

As linhas de alimentação são configuradas através de *jumpers* podendo optar entre os 5V ou os 3,3V.

Está apenas a ser utilizado o barramento de 5V de alimentação, utilizada para alimentar os circuitos dos de saída dos amplificadores e o conversor DC/DC e está configurada para 5V de tensão.

### 3.6. ESQUEMA ELÉTRICO

A solução *Energy Reader* é composta por vários componentes eletrônicos interligados entre si para produzirem a informação final.

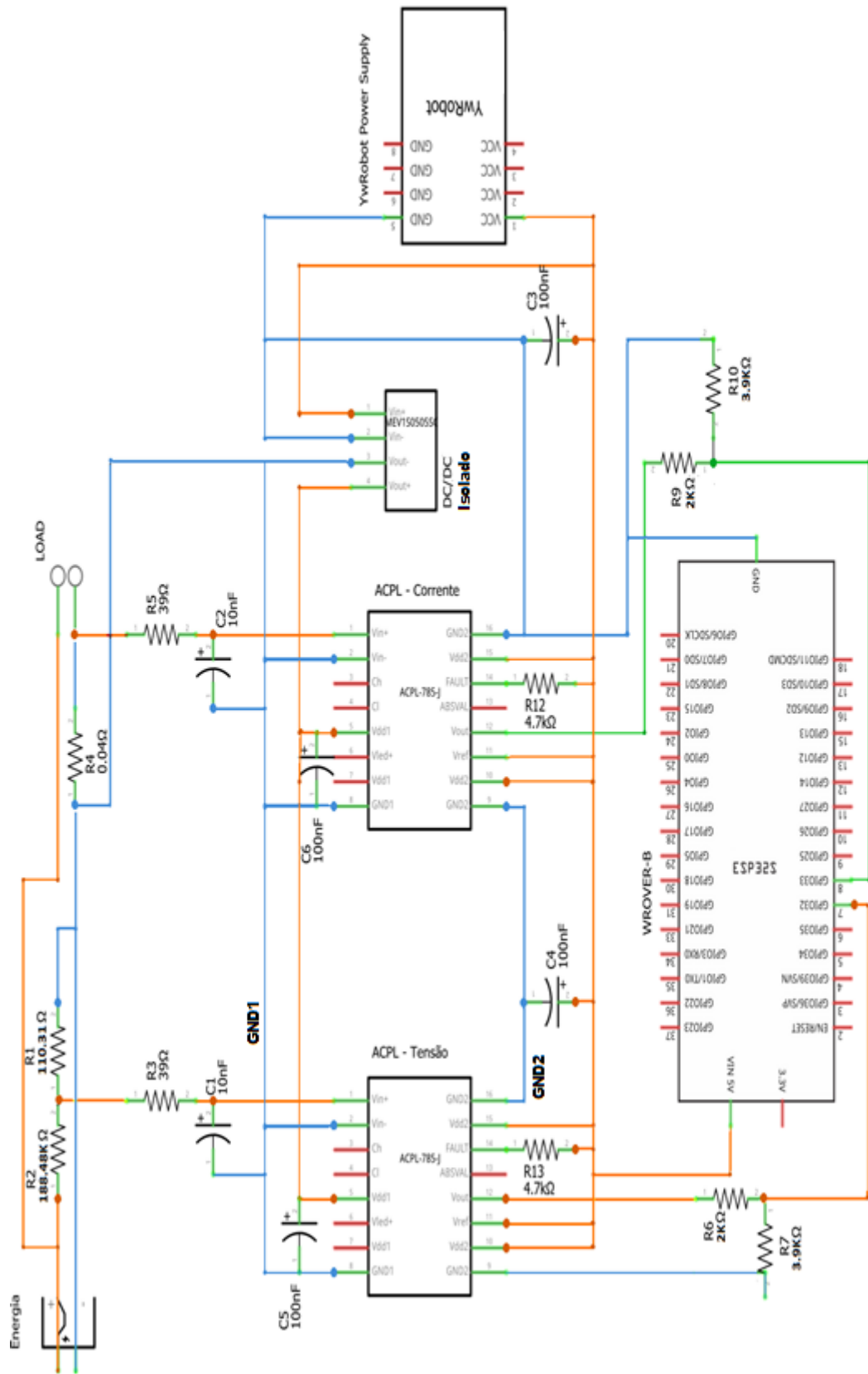
Uma vez que o objetivo da solução é saber qual o consumo elétrico de determinado equipamento ligado a ela, estão incluídas no esquema elétrico as implementações necessárias para que seja respeitado, para cada componente, o input elétrico máximo exigido por cada componente.

Alguns dos elementos constantes do diagrama fazem parte das indicações das especificações do próprio componente, outros foram calculados.

Na Figura 14, que contém o esquema elétrico, vemos todos os componentes necessários ao bom funcionamento da solução. A solução final contém mais alguns pequenos componentes, mas apenas para efeitos de testes e verificações da solução.

Vemos assim representado:

- 1 microcontrolador
- 2 amplificadores
- 1 conversor DC/DC (isolado)
- 1 seletor de fonte de alimentação
- 11 resistências
- 6 condensadores
- 1 tomada
- 1 ficha de alimentação



fritzing

Figura 14 Esquema elétrico da solução *Energy Reader*

Deste esquema elétrico, estes são os principais pontos a destacar:

- a cor azul representa as ligações à massa. Notar que há duas massas (GND1 e GND2);
- a cor laranja representa as ligações à alimentação. Notar que há duas tensões de alimentação de 5V;
- as resistências  $R_3$ ,  $C_1$  e  $R_5$ ,  $C_2$ , constituem filtros passa-baixo com frequência de corte ( $f_c$ ) de 408kHz ( $f_c = \frac{1}{2*\pi*R*C} \Leftrightarrow f_c = \frac{1}{2*\pi*39*10*10^{-9}} \Leftrightarrow f_c = 408kHz$ ) com vista a eliminar ruído de alta frequência que possa estar associado aos sinais a adquirir.
- o microcontrolador tem 38 pinos, com disposição diferente da que consta do esquema elétrico, tal deve-se ao facto da aplicação utilizada para o desenhar só ter o desenho de um outro kit ESP32 diferente do utilizado na solução *Energy Reader*. No entanto, as ligações lá representadas correspondem às corretas: pinos GND, GPIO32 (*output* do amplificador da corrente) e GPIO33 (*output* do amplificador da tensão). A ligação à alimentação do microcontrolador não está implementada no projeto porque o componente está alimentado através de USB.

### 3.6.1. DIMENSIONAMENTO DO DIVISOR DE TENSÃO ASSOCIADO AO SENSOR DE TENSÃO

Para calcular as resistências  $R_1$  e  $R_2$  foram executados cálculos, recorrendo à expressão de divisão de tensão.

Foi definido que a tensão máxima/mínima, da rede, a adquirir é 340V (notar que  $230 * \sqrt{2} = 325V$ ). Para esta tensão de 340V, o divisor de tensão deverá apresentar nos seus terminais  $\pm 200mV$  que é a excursão máxima permitida pelo amplificador optoisolado escolhido (ver 3.4).

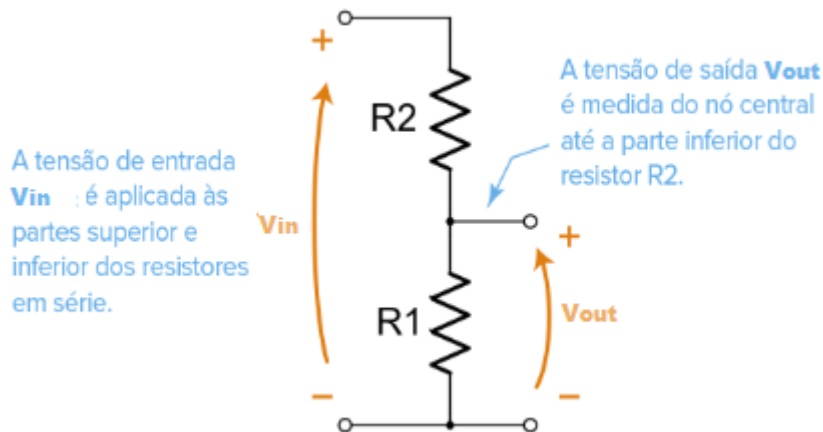


Figura 15 Representação do divisor de tensões [14]

A expressão matemática da divisão de tensão, resulta no seguinte:

$$V_{Out} = V_{In} * \frac{R_1}{R_2 + R_1} \quad [14]$$

Assim, sabendo-se que pretendemos obter de máximo um  $V_{Out} = 200 \text{ mV}$ , e tendo em conta que o  $V_{In}$  equivale à tensão de entrada em corrente alternada e que foi previamente definida como máximo aceite por este protótipo no valor de  $340\text{V}$ , ou seja,  $V_{In} = 340\text{V}$ .

Podemos assim obter uma relação entre as resistências.

$$\frac{V_{Out}}{V_{In}} = \frac{R_1}{R_2 + R_1} \quad (1)$$

$$\frac{V_{Out}}{V_{In}} = \frac{R_1}{R_2 + R_1} \quad (2)$$

$$\frac{0,2}{340} = \frac{R_1}{R_2 + R_1} \quad (3)$$

$$R_2 = 1699 * R_1 \quad (4)$$

Tendo esta relação definida, definiu-se  $R_1 = 110,31\Omega$  e daí viria que  $R_2 = 187,416\text{k}\Omega$ . Aplicou-se, no entanto,  $R_2 = 188,48\text{k}\Omega$  tendo em conta as resistências que tínhamos em nossa posse, de modo que a tensão a chegar ao amplificador é ligeiramente inferior ao seu limite

máximo precavendo a possibilidade de picos de tensão e assim o valor máximo expetável de entrar no amplificador ficou definido em  $V_{Out} \approx 340 * \frac{110,31}{188480 + 110,31} \Leftrightarrow V_{Out} \approx 200mV$

### 3.6.2. DIMENSIONAMENTO DA RESISTÊNCIA DE SHUNT ASSOCIADA AO SENSOR DE CORRENTE

Para o cálculo da resistência  $R_4$ , o objetivo é medir a corrente daí que se tenha colocado em série com a carga e por meio da queda de tensão sobre essa resistência podemos determinar a corrente que ali circula.  $R_4$  é uma resistência de *shunt* e para calcular o seu valor foi usada a lei de Ohm:

$$V = R_4 * I \quad (1)$$

Ora, sabemos que o amplificador está limitado a 200mV, e projetando para ler uma corrente máxima de 5A, temos:

$$200mV = R_4 * 5A \quad (2)$$

$$R_4 = \frac{200mV}{5A} \quad (3)$$

$$R_4 = 40m\Omega \quad (4)$$

### 3.6.3. DIMENSIONAMENTO DO DIVISOR DE TENSÃO ASSOCIADO AO SENSOR DE TENSÃO

Para calcular a resistência  $R_6$ ,  $R_7$  e  $R_9$ ,  $R_{10}$  foram executados os seguintes cálculos, partindo da base da expressão matemática da divisão de tensão e sabendo-se que  $V_{Out}$  deverá ter um valor máximo de 3,3V aceitáveis pelo microcontrolador e que  $V_{In}$  corresponde ao máximo de saída do amplificador, que corresponde a 5V:

$$V_{Out} = V_{In} * \frac{R_7}{R_6 + R_7} \quad (1)$$

$$3,3 = 5 * \frac{R_7}{R_6 + R_7} \quad (2)$$

$$\frac{3,3}{5} = \frac{R_7}{R_6 + R_7} \quad (3)$$

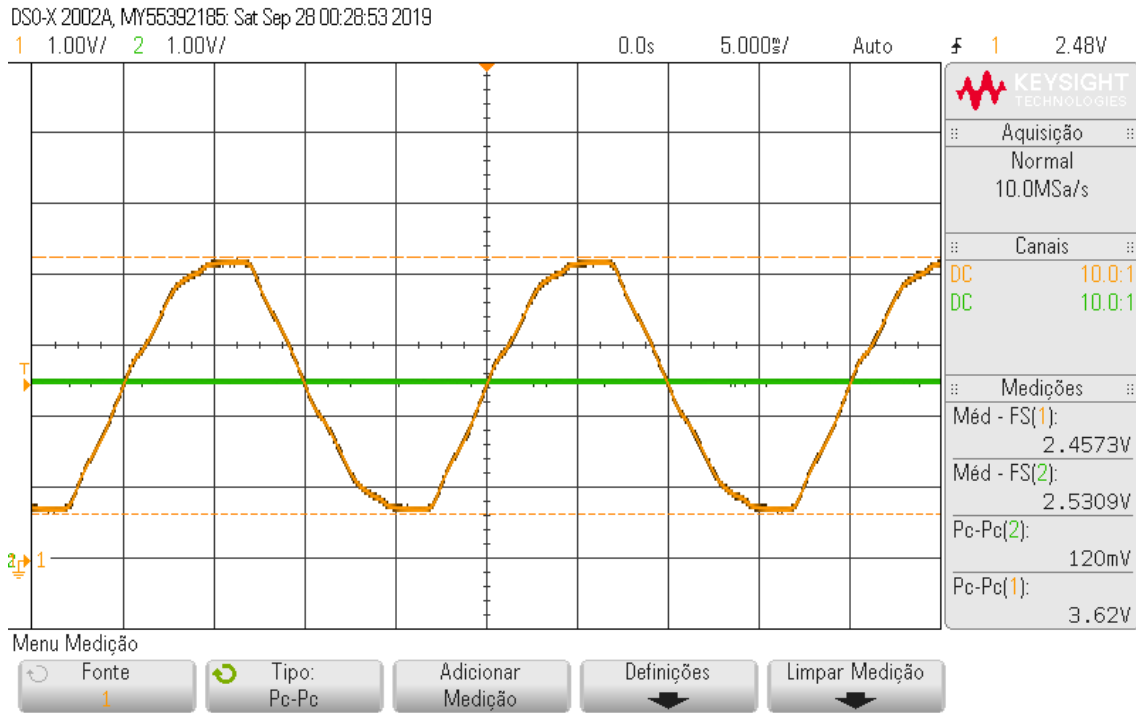
$$R_6 = \frac{1,7}{3,3} * R_7 \quad (4)$$

Para facilidade de cálculo das resistências, definiu-se  $R_6 = 2k\Omega$  e assim obter-se-ia de valor  $R_7 = 3,882k\Omega$ , tendo-se utilizado  $R_7 = 3,9k\Omega$ . Com esta configuração, obtemos uma tensão de saída  $V_{Out} = 5 * \frac{3,9k}{2k+3,9k}$  que resulta  $V_{Out} \approx 3,3V$ .

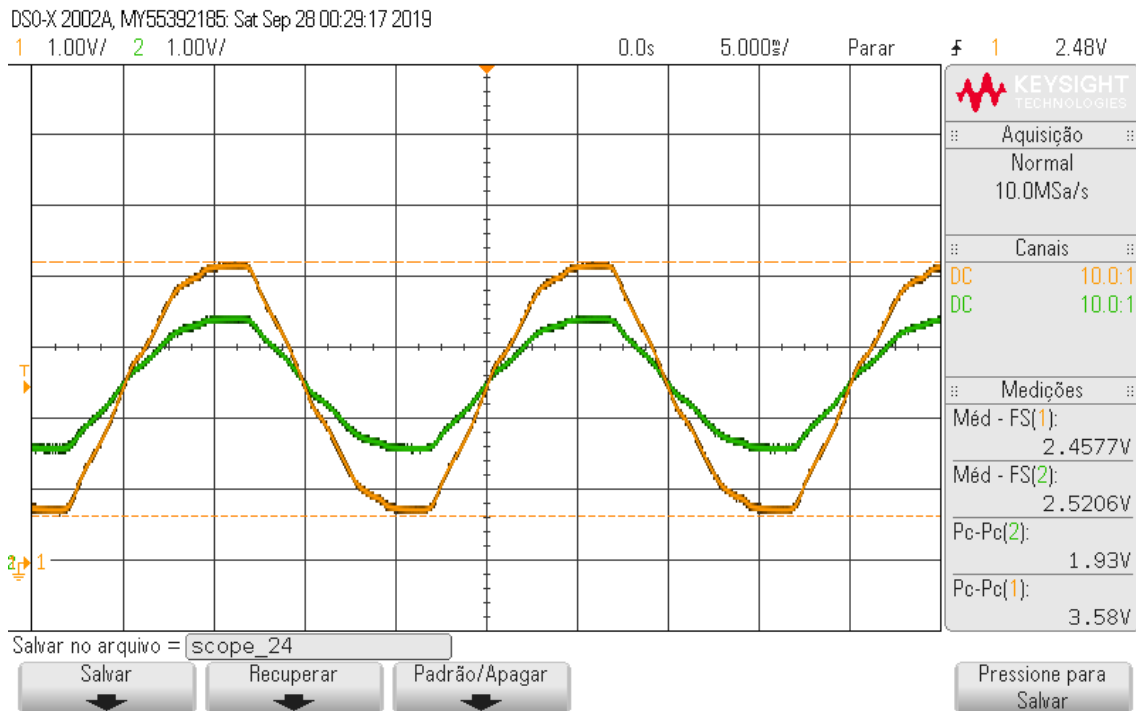
As resistências  $R_9$  e  $R_{10}$  são um cenário similar a  $R_6$  e  $R_7$ , estando assim sujeitas aos mesmos cálculos.

#### **3.6.4. TESTES AO ESQUEMA ELÉTRICO ATRAVÉS DE OSCILOSCÓPIO**

Em jeito de teste do esquema elétrico montado, foram retiradas medidas de confirmação dos valores que foram calculados para a sua construção. Verificou-se se o valor da tensão e da corrente estava dentro dos valores previstos. De seguida apresentam-se várias imagens evidenciando testes realizados no osciloscópio medidos com as diferentes cargas aplicadas.



**Figura 16** Forma de onde da tensão na rede/carga



**Figura 17** Tensão e corrente – Aquecedor elétrico (carga puramente resistiva)

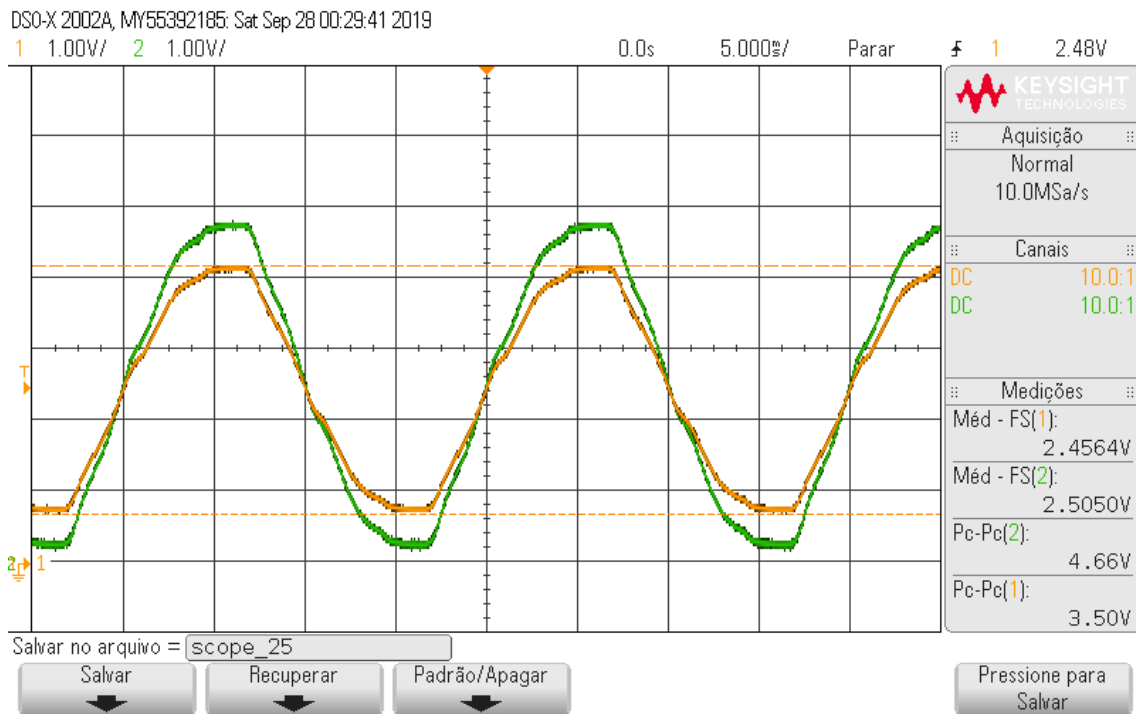


Figura 18 Tensão e corrente – Aquecedor elétrico (carga puramente resistiva)

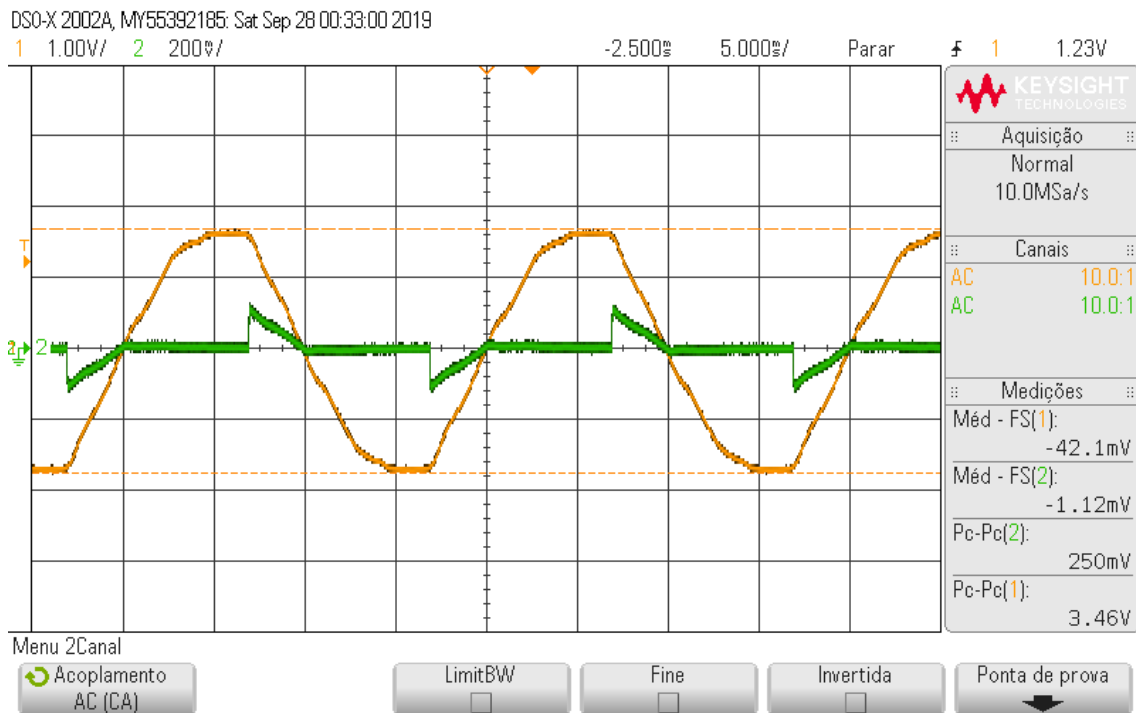
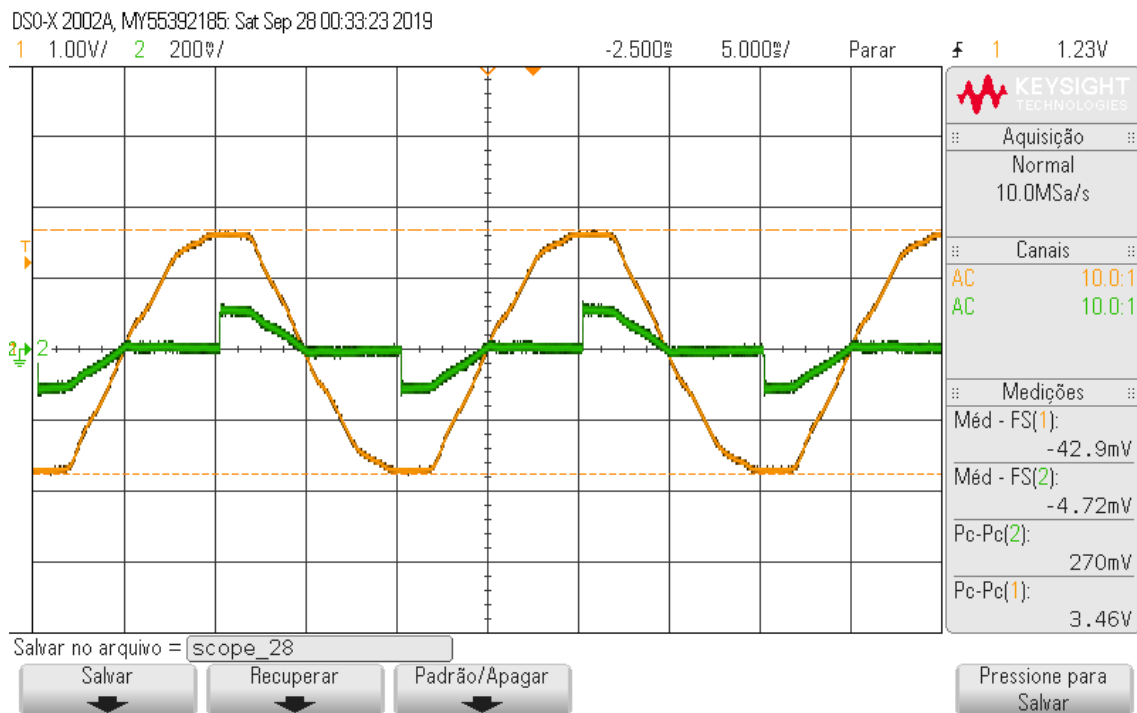
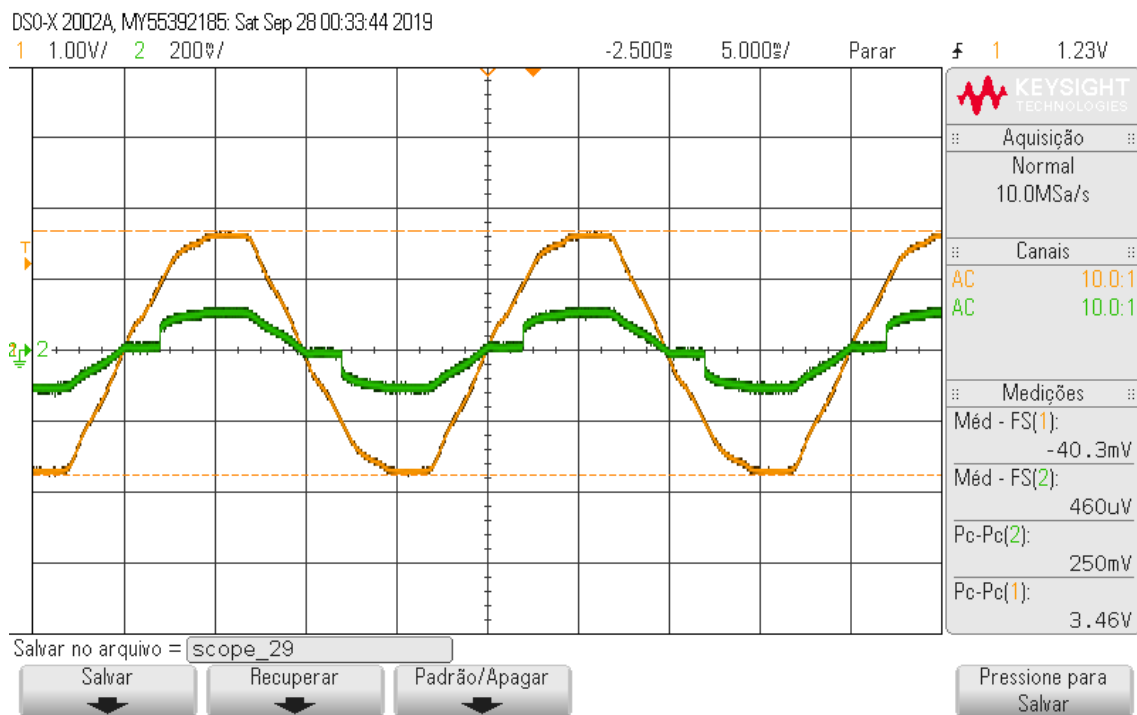


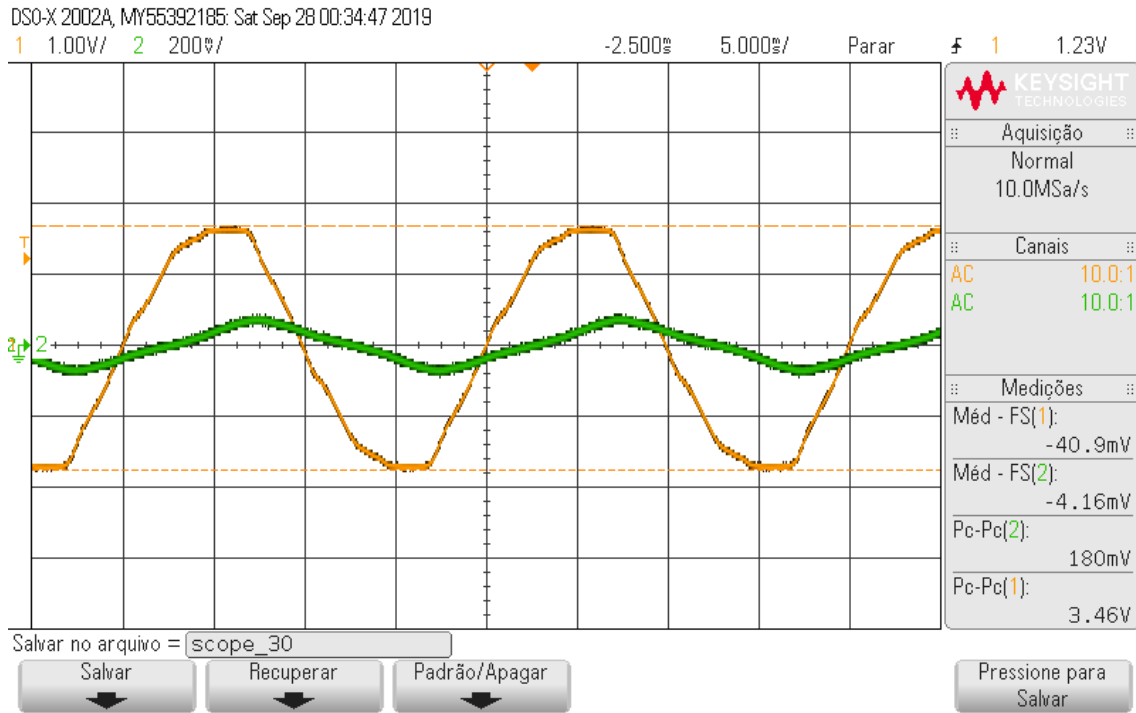
Figura 19 Tensão e corrente – Ferro de soldar, controlo por fase com  $\alpha=120^\circ$



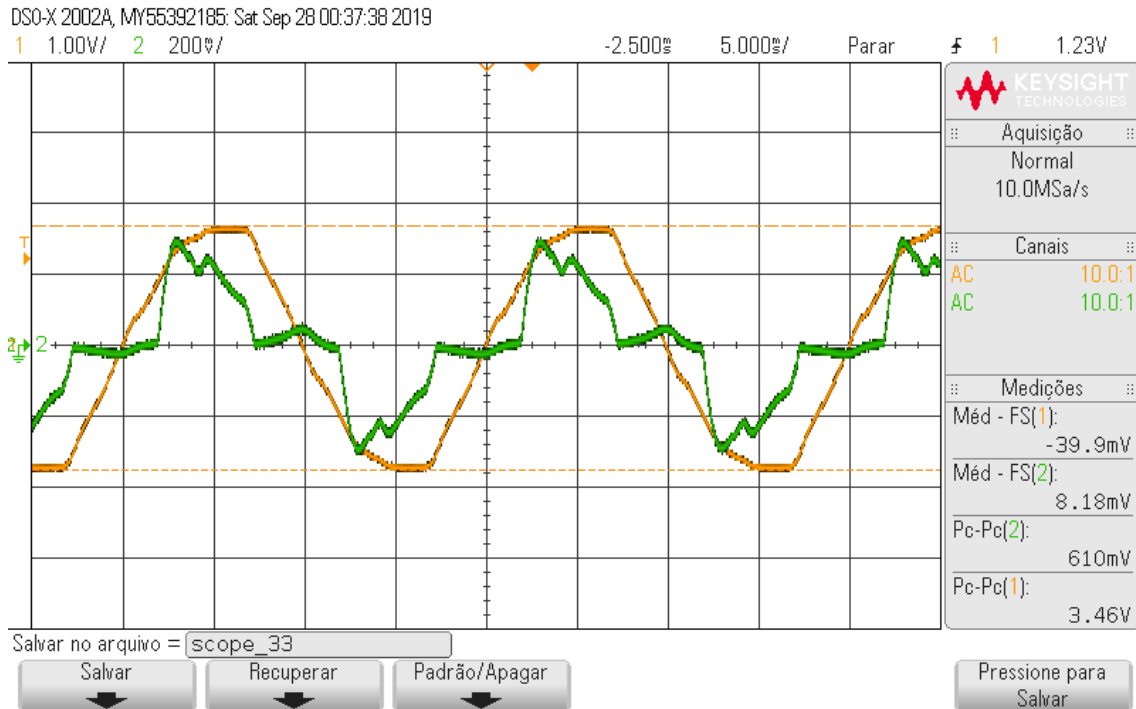
**Figura 20 Tensão e corrente – Ferro de soldar, controlo por fase com  $\alpha=90^\circ$**



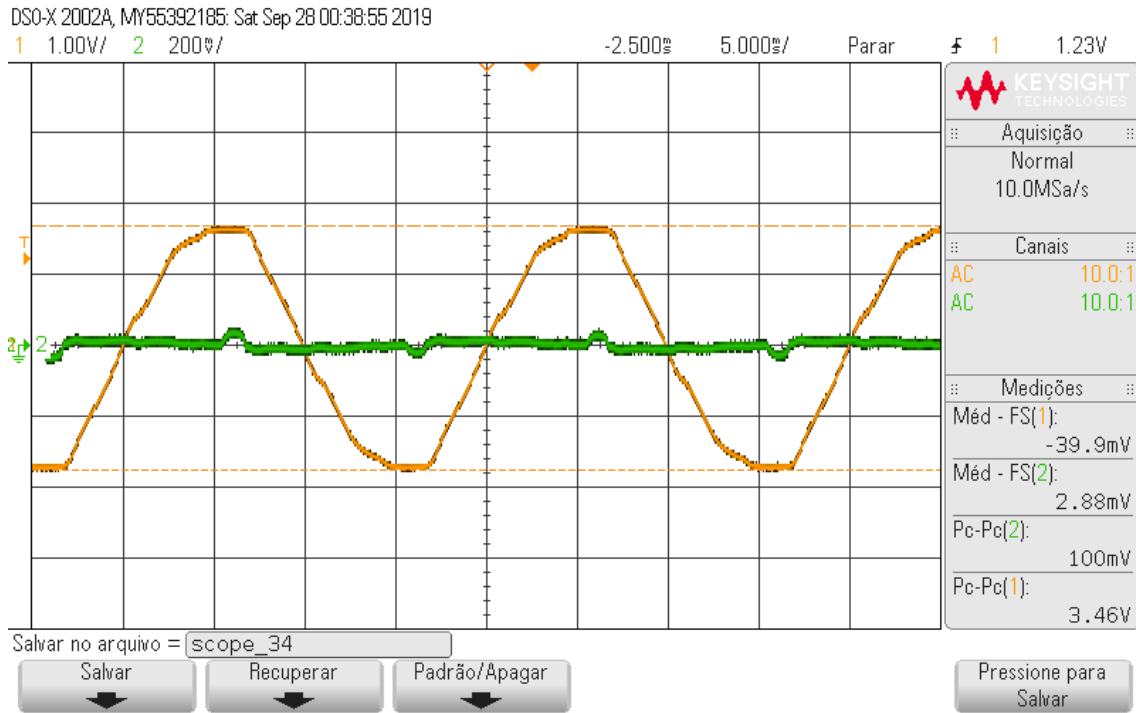
**Figura 21 Tensão e corrente – Ferro de soldar, controlo por fase com  $\alpha=30^\circ$**



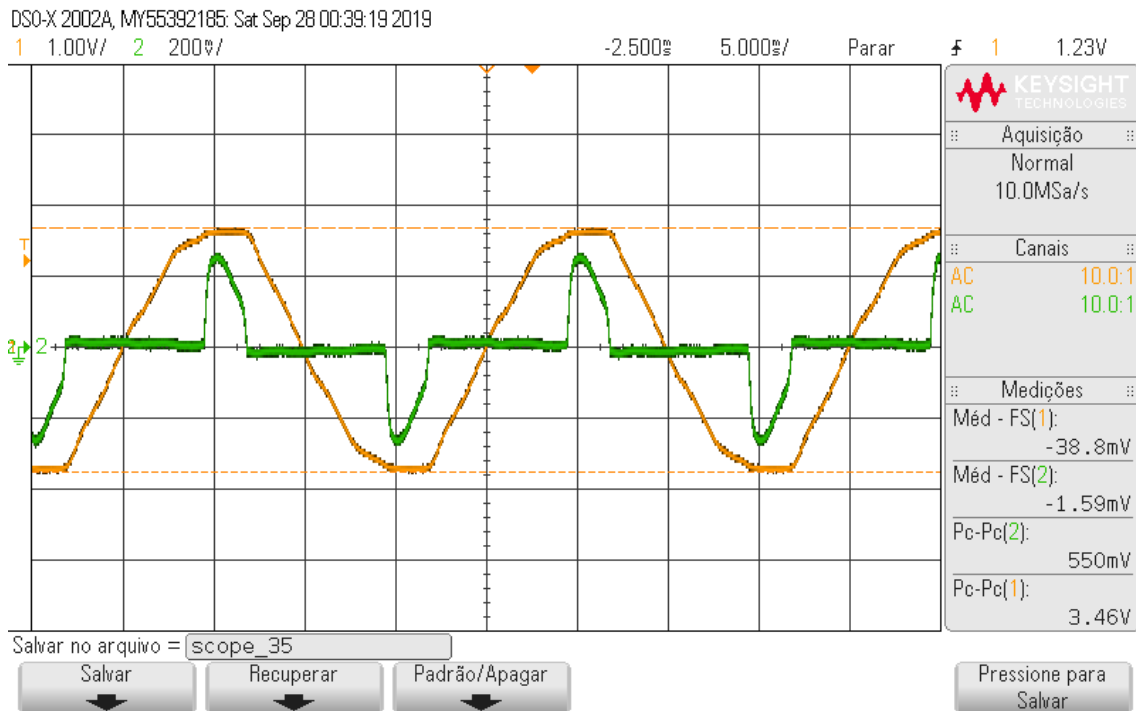
**Figura 22 Tensão e corrente – Ventoinha de uma UPS**



**Figura 23 Tensão e corrente – Fonte de alimentação linear da marca Kaise a fornecer 5A DC**



**Figura 24 Tensão e corrente – Monitor LCD em *standby***



**Figura 25 Tensão e corrente – Monitor LCD ligado**

### 3.7. AQUISIÇÃO DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS

A energia está sempre a fluir e podendo haver grandes flutuações, dependendo das condições da rede e da carga.

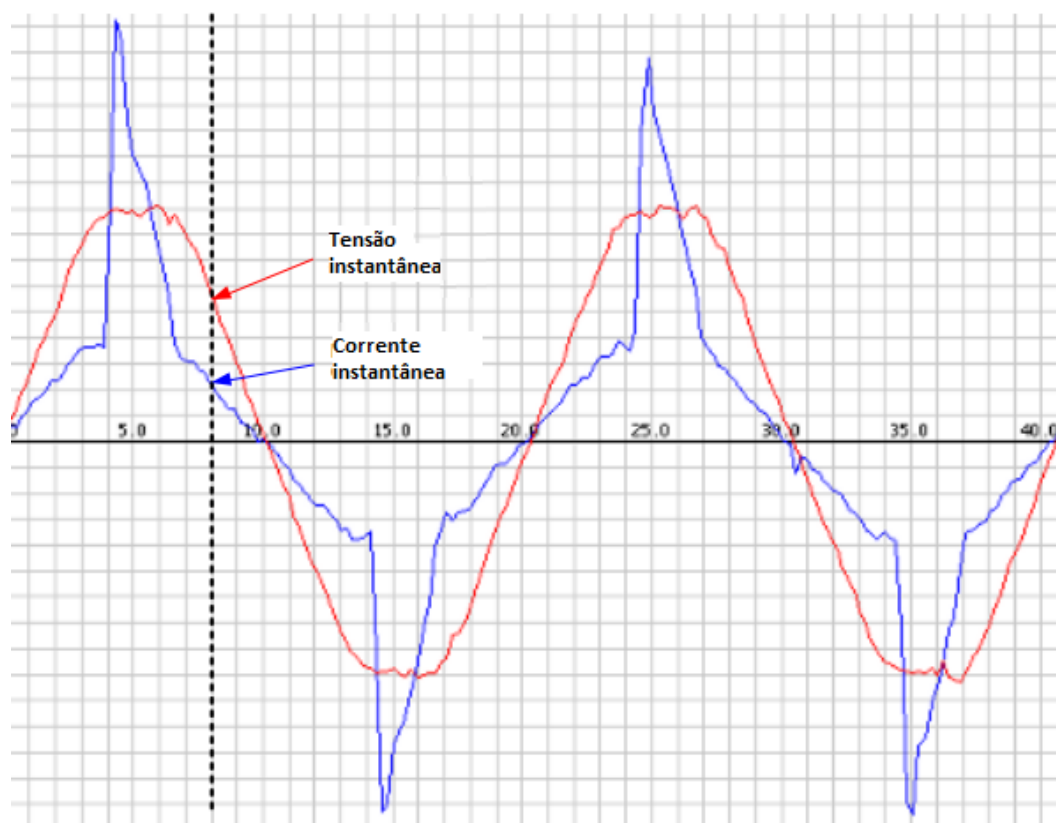


Figura 26 Exemplo de uma forma de onda de um computador portátil [8]

Quando se usa um microcontrolador para fazer a aquisição de tensões e correntes, estas grandezas são adquiridas por amostragem. Quanto maior for o número de amostras num período, mais fielmente são reproduzidos os contornos do sinal.

Sendo a frequência ( $f$ ) da rede de 50Hz, temos que o tempo de cada ciclo é  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 20ms$ .

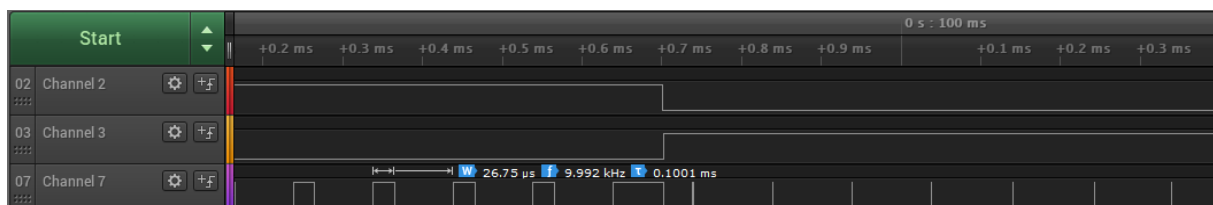
Para este projeto foi definido fazerem-se 200 amostras por período, o que corresponde uma amostra a cada  $\frac{20ms}{200} = 100\mu s$ , o que se traduz numa frequência de amostragem  $f_a = \frac{1}{100\mu s}$ , que resulta em  $f_a = 10kHz$ .

Nesta medida e pelo teorema da amostragem, será possível adquirir valores de tensões / correntes com harmônicos até  $\frac{10K}{2} = 5KHz$ , o que corresponde a  $\frac{5K}{50} = 100$ , ou seja, com este sistema de amostragem será possível adquirir harmônicos até à ordem 100.

A seguir, descreve-se os cálculos feitos para aquisição de dados, e os tempos gastos nessas atividades. Foram feitas medições de tempos de execução às seguintes ações:

- canal 3 – tempo total do envio da informação para a WEB
- canal 7 – tempo que demora a obter cada medição

Foi lançada uma medição a cada  $100\mu s$  e como se pode ver na Figura 27, cada medição consome aproximadamente  $26,75\mu s$ .



**Figura 27 Tempo consumido por cada medição**

A cada medição são feitas as seguintes ações:

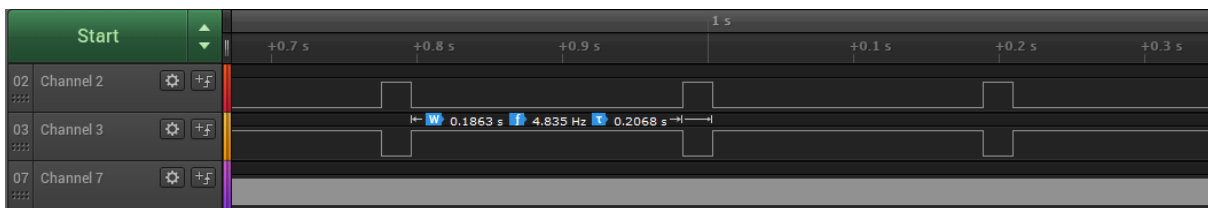
- obtenção, do amplificador, dos valores de tensão (v) e corrente (i);
- calcula a potência instantânea com esses valores através da expressão  $p = v * i$  ;
- calcula o quadrado da tensão e da corrente;
- faz o somatório quer da potência quer do quadrado da tensão e da corrente.

A Tabela 6 tem um resumo das expressões matemáticas aplicadas a cada valor, em cada medição.

**Tabela 6** Resumo dos cálculos matemáticos realizados após cada amostragem de tensão e corrente

Potência	$P(n) = v(n) * i(n)$
Quadrado da tensão	$SquareV = V * V$
Quadrado da corrente	$SquareI = I * I$
Somatório da Potência	$SumP = \sum P$
Somatório do Quadrado da tensão	$SumSV = \sum SquareV$
Somatório do Quadrado da corrente	$SumSI = \sum SquareI$

Por fim, medindo-se o tempo total para envio da informação para a WEB, ação que ocorre depois de se obter as 200 medições. Estes tempos estão dependentes de fatores vários (qualidade de sinal WIFI, rapidez da internet, rapidez de resposta do servidor WEB, entre outros) difíceis de controlar. A Figura 28 evidencia os tempos obtidos em ambiente de laboratório, conseguindo-se tempos na ordem dos 186ms.



**Figura 28** Tempo aproximado de envio da informação em ambiente de laboratório

No final das 200 medições, são calculados os seguintes valores:

- potência ativa, obtida da soma de todas as potências instantâneas e divididas pelo total de medições;
- como passo intermédio, calculam-se os valores médios da soma dos quadrados da tensão e da corrente;
- os valores do passo intermédio servem para calcular o valor eficaz, que se obtém através da raiz quadrada sobre os valores previamente encontrados;
- calcula-se a potência aparente;
- finaliza-se com o cálculo do fator de potência

A Tabela 7 apresenta um resumo das expressões matemáticas utilizadas no final das 200 medições.

**Tabela 7 Resumo das expressões matemáticas utilizadas no final das 200 medições**

# medições	$N = 200$
Potência ativa	$P_r = \frac{SumP}{N}$
Valor eficaz tensão	$V_{rms} = \sqrt{\frac{SumSV}{N}}$
Valor eficaz corrente	$I_{rms} = \sqrt{\frac{SumSI}{N}}$
Potência aparente	$P_a = V_{rms} * I_{rms}$
Fator de potência	$F_p = \frac{P_r}{P_a}$ para $P_a \neq 0$

## 4. COMPONENTE WEB DA SOLUÇÃO *ENERGY READER*

A dissertação, além da obtenção das leituras analógicas e cálculos das grandezas definidas, tinha uma funcionalidade de envio dessa informação para a WEB.

Nos dias de hoje temos grande parte das nossas vidas à “distância de um clique”. Temos informação, lazer, compras, até as nossas contas bancárias. Conseguimos, através de um telemóvel, fazer todas as operações referidas na frase anterior, vivemos conectados à rede.

A solução *Energy Reader* pretende dar informação do consumo de cada equipamento que lhe está conectado esse lhe juntarmos a parte da WEB conseguimos adicionar-lhe algumas outras características e capacidade de expansão. Por exemplo, o facto de lhe associarmos a comunicação da informação para a WEB permite que sejam guardados e criar um histórico para mais tarde comparar. Ao estar a informação disponibilizada na WEB, pode saber-se em qualquer lugar, e não apenas junto ao equipamento, qual o consumo que determinado equipamento está a ter e (não estando desenvolvido neste protótipo) intervir e eventualmente desligá-lo remotamente.

Neste capítulo, vão ser descritos os trabalhos realizados e as opções tomadas para a implementação da componente WEB da dissertação.

#### 4.1. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

No momento de escolha da linguagem de programação a aplicar foi necessário ter várias variáveis em conta:

- experiência com a linguagem;
- custo do software;
- servidores com a capacidade de aceitação de scripts desenvolvidos na linguagem de programação escolhida;
- possibilidade de acesso à base de dados;
- facilidade de aprendizagem/maturidade.

Sendo uma dissertação de mestrado, pretendendo ser algo que evidencie apresentação de conhecimento, optou-se por uma linguagem onde houvesse pouca experiência profissional e que pudesse ser assimilado algo novo nessa componente.

Em termos de custo de software, não se pretendia ter custos ou ter custos mínimos de licenças de software, optando-se pela utilização de software livre.

Uma vez que não se pretendia utilizar recursos próprios ao nível de servidor, o servidor escolhido deveria conseguir configurar a utilização dessa linguagem ou, no melhor cenário, estar já pré-configurado para a sua execução.

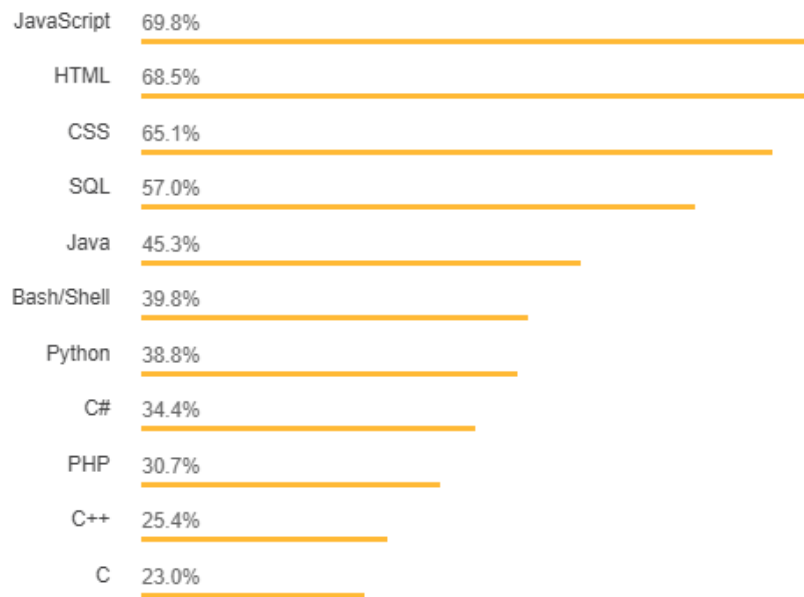
Uma vez que ia haver necessidade de aceder a uma base de dados, a linguagem escolhida deveria ter ferramentas simples para lhe aceder.

O fator de maior peso, em conjunto com a **experiência com a linguagem**, acaba por ser a **facilidade de aprendizagem/maturidade**. Em qualquer linguagem e independentemente da experiência, acaba por ser sempre necessário recorrer a ajuda externa para resolver ou contornar determinado problema que surja no momento de desenvolvimento. Assim, e tratando-se de um projeto de uma só pessoa, é muito relevante que haja muito *know-how* acessível na Internet.

Para apoio a esta decisão tentou-se saber o estado da arte nas linguagens de programação.

## Linguagens de programação, *scripting* e de marcação

*Todos as respostas*



**Figura 29** Distribuição da utilização de linguagens de programação (2018) [15]

Num inquérito realizado a mais de 100 mil programadores, o *site Stack Overflow*, uma comunidade especializada em dar respostas a programadores, apresentou o estado da arte de 2018. Ver Figura 29 com as principais respostas obtidas relativamente às linguagens mais utilizadas.

Javascript, CSS e HTML são linguagens que seriam e foram utilizadas do ponto de vista da aplicação do cliente, aquela aplicação que os utilizadores visualizam no Browser.

SQL é a linguagem definida para “questionar” a base de dados. Foi também ela utilizada.

Bash/Shell é utilizada num conceito de administração de servidores ou execução de algumas tarefas de background em servidores, não está muito ligado à WEB exclusivamente.

Ficou a opção entre Java, Python, C# ou PHP. Java e Python (esta última tem apresentado desde 2016 uma forte aceitação por parte dos programadores, passando de 18,2% em 2016[16] para 38,8% em 2018) seriam as que exigiriam mais tempo de aprendizagem. C# não responde satisfatoriamente ao ponto relativo ao custo do software.

Optou-se pelo PHP (um acrónimo recursivo para PHP: *hypertext* pré-processado) versão 7.1 para a componente do lado do servidor, implicou alguma aprendizagem embora partilhe de conceitos similares ao ASP (*Active Server Pages*), tem uma consistente implantação no mercado de desenvolvimento WEB e uma vasta oferta de servidores e serviços gratuitos com esta linguagem e a base de dados MySQL/MariaDB já pré-configurado.

A forma de acesso à base de dados optou-se pela solução PDO (*PHP Data Objects* [17]), já estando o servidor configurado para a sua utilização. O PDO é uma camada de software que existe desde a versão 5.1 do PHP e permite que a forma de acesso aos dados seja igual independentemente da base de dados relacional utilizada.


## **4.2. SERVIDOR**

A busca por um servidor foi feita através dos motores de pesquisa na Internet utilizando as palavras chaves “*free web host*”. A oferta é muita.

A opção final recaiu no servidor cujo domínio de gestão de conta está localizado em <https://www.000webhost.com/>. Tratando-se de um servidor gratuito, é oferecido um subdomínio que o utilizador tem direito. O subdomínio onde ficou instalada a aplicação WEB é <http://energyreader.000webhostapp.com/> .

A Tabela 8 apresenta um resumo de algumas das características indicadas pelos responsáveis do servidor. A tabela está truncada relativamente ao original, em jeito de resumo das características que foram consideradas mais relevantes na escolha do domínio.

**Tabela 8 Resumo de características do servidor WEB escolhido [18]**

 ALOJAMENTO DE SITE GRÁTIS	
Preço ou alguma cobrança?	Grátis!
Espaço em disco	1000 MB
Largura de Banda	10000 MB = 10 GB!
Sites permitidos	2
Painel de Controle	Grátis!
Alojamento Grátis de Domínio	✓
Bancos de dados MySQL	✓
Backups Instantâneo	✓
Suporte FTP	✓
PHP e MySQL	✓
Tarefas Cron	✓
Gerenciador de Arquivos baseado na Web	✓
phpMyAdmin	✓

Do quadro resumo não constam ainda as seguintes características, também relevantes, se se pensar num cenário de sucesso do projeto e de necessidade de mais e melhores recursos:

- possibilidade de evolução para um plano pago com melhores características;
- possibilidade de registo de um domínio próprio.

**NOTA MUITO IMPORTANTE:** este não foi o primeiro servidor escolhido. O primeiro servidor escolhido tinha implementado mecanismos de segurança que não permitiam o acesso ao servidor a partir de componentes IoT. É assim necessário confirmar junto do servidor escolhido se esta é uma opção aceite.

### 4.3. USER SPICE

A aplicação WEB necessita de uma solução de gestão de utilizadores. Os dados serão enviados pelo componente sem que haja qualquer identificação a quem este pertence.

O utilizador deverá registar-se no site e posteriormente aceder à função de associação entre componente e utilizador para que tenha acesso aos seus consumos.

Implementar uma solução de raiz de gestão dos utilizadores, além de não ser algo que se enquadre no objetivo principal da dissertação, era algo que iria exigir um esforço grande de desenvolvimento. Optou-se assim por pesquisar por soluções de gestão de utilizadores cuja licença de utilização se enquadrasse no âmbito de uma dissertação e que pudesse ser utilizado num servidor remoto com base de dados MariaDB e linguagem de programação PHP.

Surgiu assim a solução *User Spice* que cumpre esses requisitos e pode ser encontrada em <https://userspice.com/>.

Esta solução permite:

- login / logout / criação de utilizadores;
- gestão de conta;
- grupos de utilizadores;
- *tokens*, sessões e *cookies*;
- gestão de *passwords*
- permissão de páginas;
- ligação de bases de dados;
- segurança das páginas, site e da base de dados.

Estas e outras funcionalidades podem ser melhor definidas no site já indicado.

A instalação da solução *User Spice*, foi integrada no *design* do site ***Energy Reader*** e, recorrendo a funcionalidades que fazem parte da sua biblioteca, utilizou-se o seguinte código para validar o acesso a cada página que se queira acesso garantido por utilizador registado:

```
<?php
session_start();
require_once __DIR__ . '/users/init.php';
if (!(isset($user) && $user->isLoggedIn)) {
```

```
Redirect::to('http://'.$_SERVER['HTTP_HOST'].'/  
users/login.php');  
    die();  
}  
?>
```

Este pedaço de código verifica se o utilizador tem o *Login* realizado, e caso não tenha, redireciona para a página onde o pode e deve fazer.

A instalação e a documentação desta solução estão completas no seu *site* e recomenda-se a sua consulta [19].

#### 4.4. BOOTSTRAP

*Bootstrap* é uma estrutura de HTML + CSS + JavaScript que serve de apoio ao desenvolvimento de *sites* responsivos, ou seja, *sites* construídos fazendo uso de *layouts* flexíveis que se adaptam ao ecrã do utilizador (telemóvel, PC, tablet, ...) e que procuram ter um nível de compatibilidade elevado entre os vários *browsers*.

O *template* escolhido para aplicar no *site* foi o *Nice Admin*, que pode ser encontrado no endereço: <https://bootstrapmade.com/nice-admin-bootstrap-admin-html-template/>.

Os trabalhos neste âmbito consistiram em alteração do nome da solução (substituição de *Nice Admin* por *Energy Reader*), retirar algumas das funções que de momento não estão aplicadas e adaptação de menu para inserir as funções desenvolvidas na solução desta dissertação.

Procurou-se criar alguma separação entre o código PHP e o código HTML + CSS + Javascript. Para tal utilizou-se uma página em branco fornecida pelo *bootstrap*, separou-se a codificação dedicada à formatação do cabeçalho e do menu e criaram-se ficheiros PHP contendo essa codificação, procurando-se assim simplificar possíveis alterações que se queiram aplicar nessas áreas. Essa tarefa acabou também por tornar os ficheiros PHP mais pequenos e mais fáceis de manter.

Atente-se no seguinte código que de forma simples inclui a codificação do cabeçalho e do menu:

```
<?php  
    require './includes/cabecalho.php';  
    echo cabecalho($user);
```

```
?>
```

```
<?php  
require './includes/menu.php';  
echo menu();  
?>
```

Todos os créditos foram mantidos no código.

## 4.5. BASE DE DADOS

A base de dados utilizada, existente no servidor escolhido, é a MariaDB com as características descritas na Tabela 9.

**Tabela 9** Resumo de características da base de dados existente no servidor

- Servidor: Localhost via UNIX socket
- Tipo de servidor: MariaDB
- Conexão com o servidor: SSL is not being used ⓘ
- Versão do servidor: 10.3.16-MariaDB - MariaDB Server
- Versão do protocolo: 10
- Utilizador: id9198090\_tese@2a02:4780:bad:c0de::13
- Conjunto de caracteres do servidor: UTF-8 Unicode (utf8)

A base de dados MariaDB é uma ramificação do MySQL e surgiu quando a Oracle adquiriu a Sun em 2009 e com ela o MySQL, O fundador do MySQL foi quem deu seguimento a este projeto MariaDB e está a ser mantida a compatibilidade entre ambos os sistemas de gestão de base de dados.

A solução *Energy Reader* tem na sua base de dados 40 tabelas. Destas, 37 tabelas são referentes à gestão de utilizadores e foram criadas pela solução *User Spice* – consultar o capítulo 4.3 para mais informação.

Para a solução descrita nesta dissertação, foram criadas 3 tabelas e utilizada a tabela *users* criada pela *User Spice*.

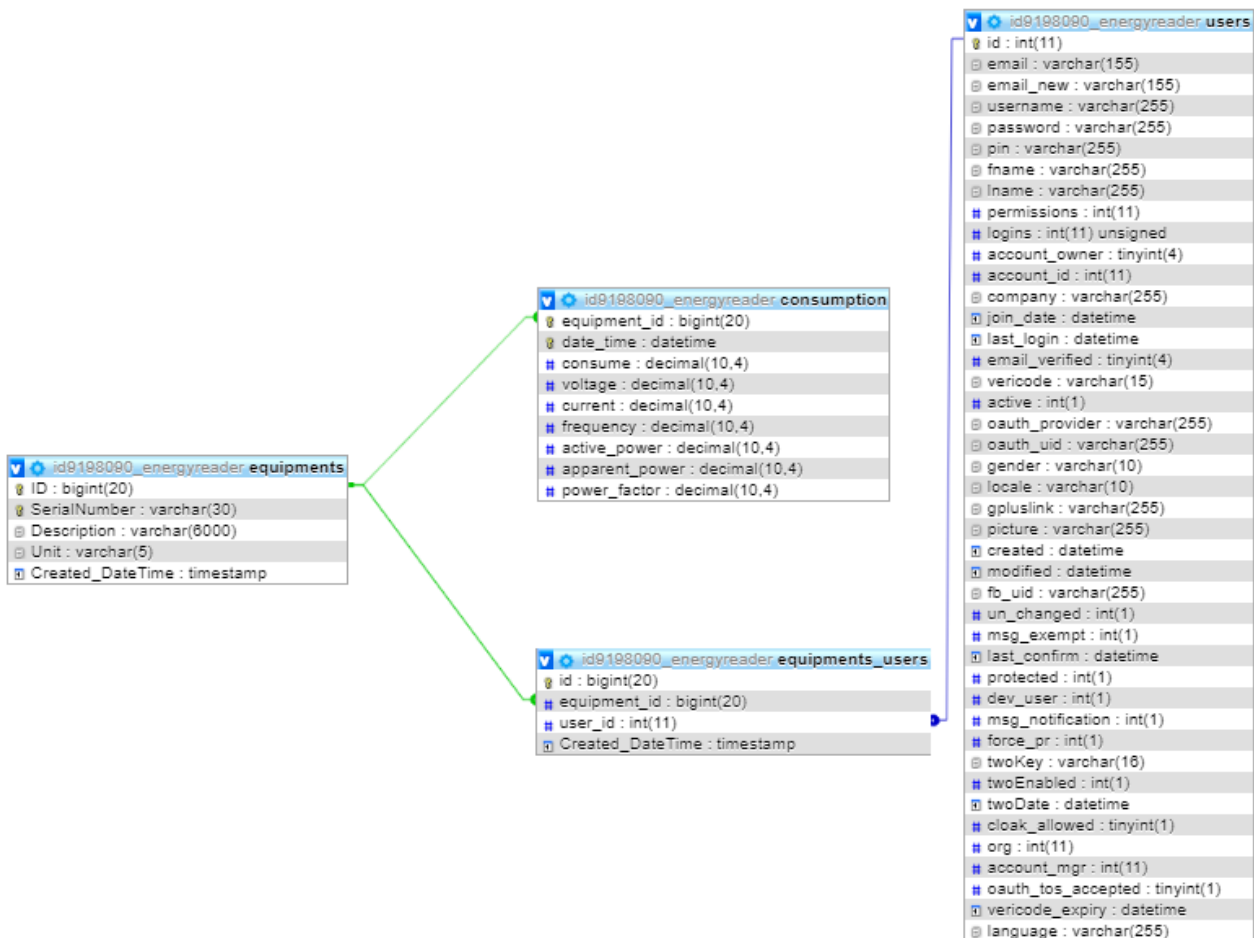


Figura 30 Relação entre tabelas da solução *Energy Reader*

Foram utilizados nomes em inglês quer nas tabelas quer no nome dos campos.

A tabela *equipments* conterà todos os equipamentos que farão a leitura das variáveis de consumo nas casas. A criação do registo poderá ser feita automaticamente pelo próprio equipamento ou adicionado manualmente pelo utilizador.

Quando o equipamento se liga à corrente, de imediato, e como uma das primeiras ações, é tentar conectar-se ao servidor remoto. Conseguida essa ação, de seguida procura verificar se já está registado na tabela de *equipments*, criando um registo caso não esteja. Nesta verificação, é enviado o número de série do *chip* do componente ESP32, referido pelo fornecedor destes equipamentos que se trata de um identificador único. Na coluna *description* fica a informação: “*Created automatically*”.

Depois de estar registado o equipamento, este emite com uma cadência de 1 segundo, as variáveis que ele calculou, sendo esta informação registada na tabela *consumption*, guardando-as associadas ao identificador do equipamento.

O utilizador, como já foi referido, pode criar o equipamento, identificando o número de série e podendo, na descrição (campo *description*) indicar qual o equipamento elétrico que lhe está associado (frigorífico, TV, rádio, PC, ...). Esta descrição serve apenas para melhor identificar qual o equipamento.

Ao criar esse equipamento, imediatamente será feita uma associação entre equipamento e utilizador, e assim, todos os reportes que esse equipamento tenha feito poderão ser consultados pelo utilizador. Essa associação fica registada na tabela *equipments\_users*.

Por fim, a tabela *users*, como já referido, é uma tabela criada pela solução de gestão de utilizadores. Fazendo uso das bibliotecas fornecidas pela solução de gestão de utilizadores, em PHP, é possível identificar qual o utilizador que está com *login* ativo acedendo ao objeto `$user`. Através desse objeto, obtém-se o identificador do utilizador da tabela *users* que é utilizado para guardar na tabela *equipments\_users*. A gestão desta tabela é feita através das funcionalidades integradas pela solução *User Spice*.

Como forma de assegurar maior integridade da informação, foram definidas relações entre as tabelas. Esta ação passa para o sistema de gestão da base de dados (SGBD) alguns controlos de dados. Por exemplo, só existirão registos na tabela *equipments\_users* que tenham equipamentos registados na tabela *equipments* e os utilizadores têm que existir na tabela *users*. O mesmo acontece com a tabela *consumptions*, cabendo ao SGBD garantir que o identificador do equipamento existe na tabela *equipments*, produzindo um erro caso não exista e descartando o registo.

No Anexo A estão definidos os scripts de criação da base de dados. Constan apenas os *scripts* de criação das três tabelas criadas para a solução *Energy Reader*, devendo este *script* ser executado **após** a instalação das outras tabelas (ver documentação da solução *User Spice* com os passos necessários para a instalação).

#### 4.6. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

Foram definidos dois protocolos de comunicação entre o microcontrolador e o servidor WEB.

O Servidor WEB disponibiliza duas funcionalidades específicas para o envio de comunicações pelo microcontrolador, uma que executa a operação de validação (e criação na base de dados) do equipamento e outra para gravar os consumos enviados por esse microcontrolador.

- **validateEquipment.php** – esta funcionalidade recebe um parâmetro de nome *info* que deve respeitar o seguinte protocolo:
  - **ENERGY\_READER||MAC\_ADDRESS||ISEP**
  - **ENERGY\_READER** – texto fixo, representa o início da informação;
  - **||** - separador de campos de informação;
  - **MAC\_ADDRESS** - deve constar o identificador do equipamento;
  - **ISEP** – texto fixo, representa o fim da informação;
- **addConsume.php** - esta funcionalidade recebe um parâmetro de nome *info* que deve respeitar o seguinte protocolo:
  - **ENERGY\_READER||MAC\_ADDRESS||CONSUME||VOLTAGE||CURRENT||FREQUENCY||REAL\_POWER||APPARENT\_POWER||POWER\_FACTOR||ISEP**
  - **ENERGY\_READER** – texto fixo, representa o início da informação;
  - **||** - separador de campos de informação;
  - **MAC\_ADDRESS** - deve constar o identificador do equipamento;
  - **CONSUME** – valor calculado do consumo de energia, em Watts/hora;
  - **VOLTAGE** – valor calculado da tensão, em Volts;
  - **CURRENT** – valor calculado da corrente, em Amperes;
  - **FREQUENCY** – frequência, em Hz;
  - **REAL\_POWER** – valor calculado da potência ativa, em Watts;
  - **APPARENT\_POWER** – valor calculado da potência aparente, em Watts;
  - **POWER\_FACTOR** – fator de conversão da potência;
  - **ISEP** – texto fixo, representa o fim da informação;

## 4.7. FUNCIONALIDADES

O *site* WEB tem um conjunto de funcionalidades, algumas definidas para uso do microcontrolador, outras definidas para interação humana. As funcionalidades de guardar consumo só existem para que o microcontrolador consiga guardar na base de dados os consumos que calculou. Outra, por exemplo, é a funcionalidade de validar se o equipamento existe já criado na BD e é apenas para ser utilizada pelo microcontrolador. No entanto, o *site* WEB tem por objetivo a interação humana e essas são explicadas de seguida.

No acesso ao endereço onde está alocada a aplicação, em <http://energyreader.000webhostapp.com/>, o utilizador, caso nunca o tenha feito, é convidado a registar-se ou a autenticar-se na aplicação. Note-se que toda a funcionalidade de gestão de utilizadores é feita através de integração de sistema externo (ver 4.3). Neste capítulo vão ser descritas apenas as funcionalidades criadas apenas para esta solução, deixando a referência à Figura 31 para se ver o trabalho de integração feito desta solução externa.

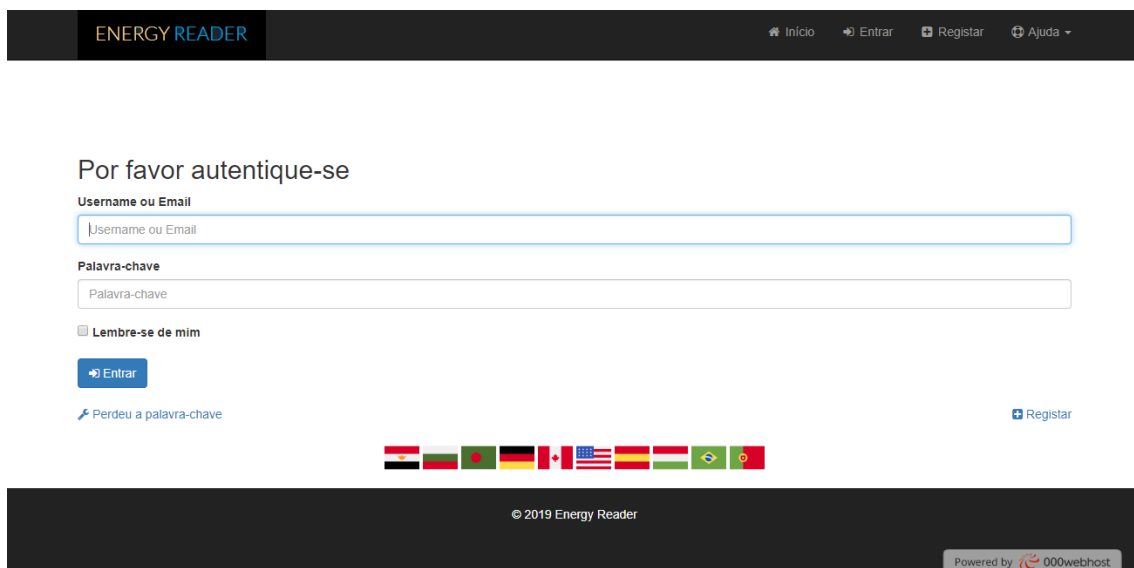


Figura 31 Autenticação ou pedido de registo de utilizador

Estando autenticado, é apresentado ao utilizador um conjunto de funcionalidades, de momento ainda todas em inglês apenas. Essas funcionalidades aparecem no *Dashboard*, podendo ser visível na Figura 32. As funcionalidades são *Equipments* e *Charts*.

NOTA: propositadamente foi deixado, no centro do painel de controlo, muita informação que constava do *template* utilizado. O objetivo é demonstrar que há um conjunto de informação

extra que poderá e deverá ser acrescentada à solução, sendo que o *template* já tem *design* para essa possível informação.



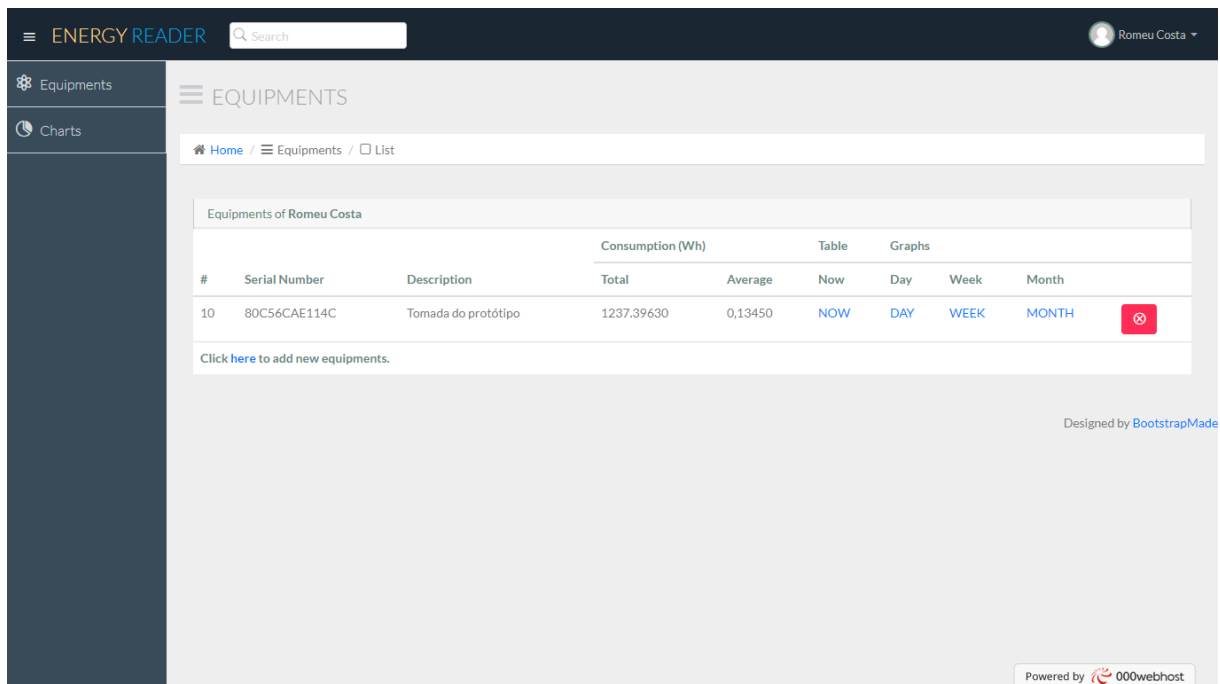
**Figura 32** Painel de controlo da solução *Energy Reader*

Vemos no painel de controlo a indicação do utilizador (Romeu Costa) que está autenticado, bastando clicar nele para o configurar ou para terminar a sessão.

As duas opções desenvolvidas são a *Equipments* e a *Charts*.

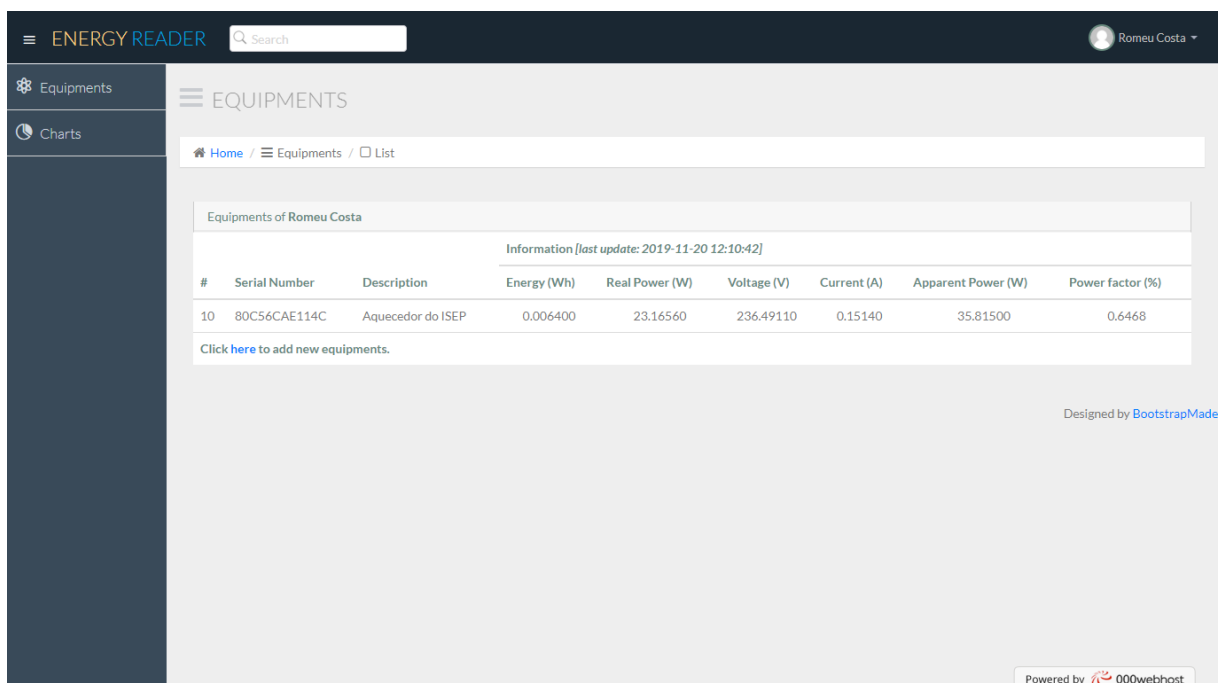
Ao aceder a *Equipments*, o utilizador poderá registar os seus equipamentos e verificar os consumos. A Figura 33 mostra a funcionalidade de listagem dos equipamentos associados ao utilizador, podendo o utilizador remover o equipamento (remove apenas a associação ao utilizador sendo que toda a informação enviada pelo microcontrolador ficará sempre gravada), ou ver os consumos das últimas 24h, da última semana ou do último mês.

Consta ainda desta listagem, a opção de adicionar novos equipamentos.



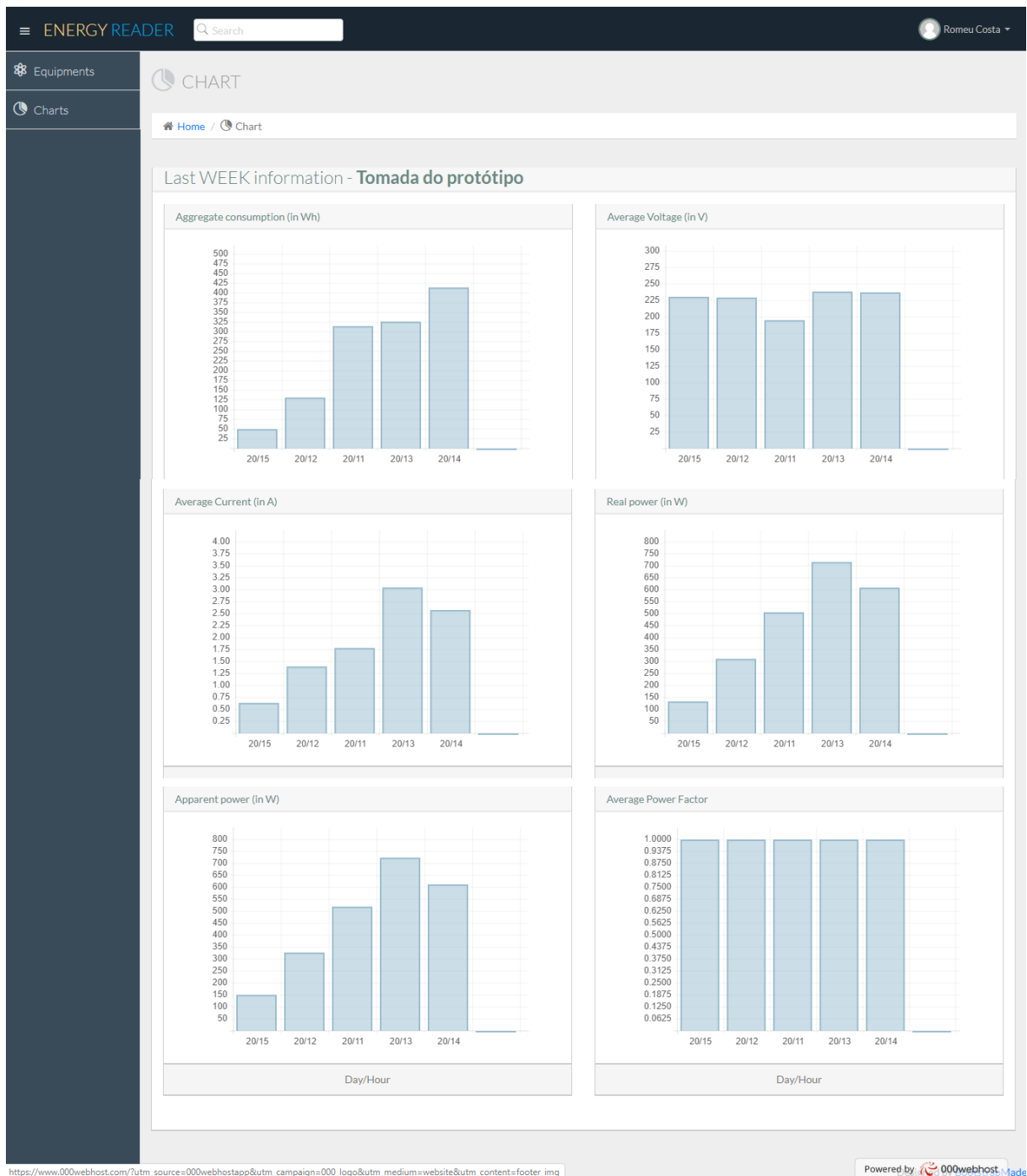
**Figura 33** Listagem de equipamentos

A função *NOW* permite mostrar numa tabela os consumos atuais, sendo a informação atualizada de 10 em 10 segundos.



**Figura 34** Últimos consumos, em tabela

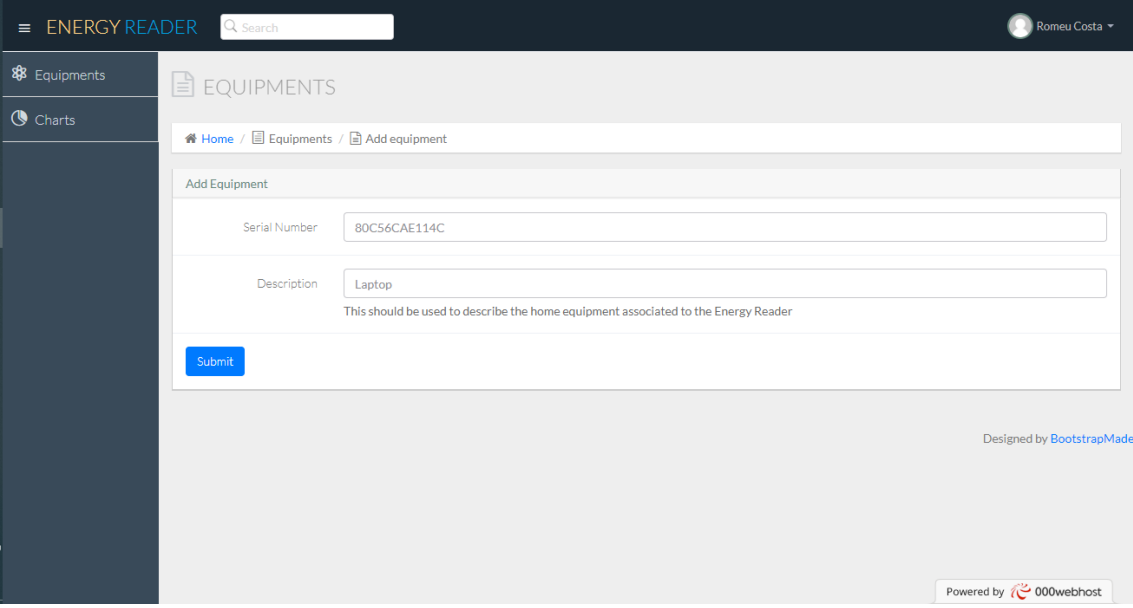
Quando se acede aos gráficos do consumo, a Figura 35 demonstra o aspeto da funcionalidade.



**Figura 35 Consumo da última semana**

Quando se quer adicionar um novo equipamento, o utilizador é confrontado com o ecrã da Figura 36. Aqui é pedido ao utilizador que introduza o identificador do equipamento (que consegue saber quando liga pela primeira vez o equipamento à energia elétrica e este ainda não

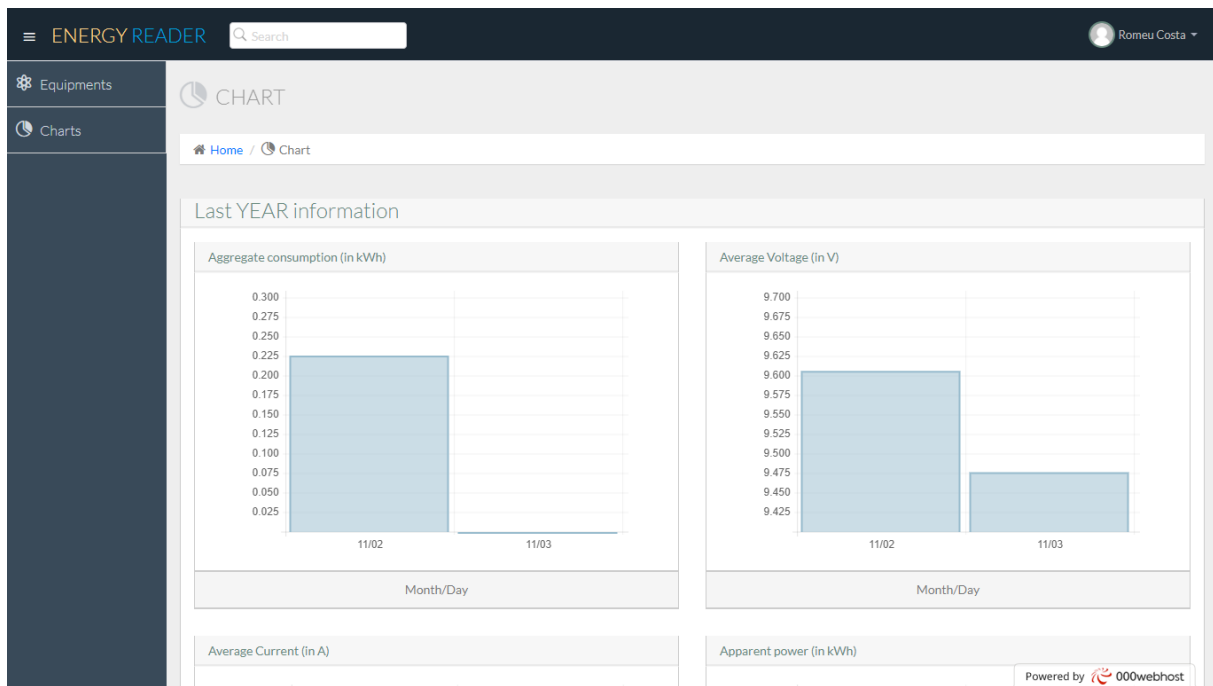
se conseguiu autenticar na rede *Wireless* da casa – ver 3.3.2 para mais informação) e um descritivo que ajude a perceber que equipamento está a monitorizar.



The screenshot displays the 'ENERGY READER' web application interface. The top navigation bar includes the application name, a search field, and a user profile for 'Romeu Costa'. A sidebar on the left contains 'Equipments' and 'Charts' options. The main content area is titled 'EQUIPMENTS' and shows a breadcrumb trail: 'Home / Equipments / Add equipment'. Below this is a form titled 'Add Equipment' with two input fields: 'Serial Number' containing '80C56CAE114C' and 'Description' containing 'Laptop'. A note below the description field states: 'This should be used to describe the home equipment associated to the Energy Reader'. A blue 'Submit' button is located at the bottom of the form. The footer of the page includes 'Designed by BootstrapMade' and 'Powered by 000webhost'.

**Figura 36 Adicionar equipamento**

Ao aceder à função *Charts*, é apresentado ao utilizador o consumo total, no último ano, de todos os equipamentos que lhe estão associados. A Figura 37 é um exemplo do funcionamento da funcionalidade.



**Figura 37 Consumo anual de todos os equipamentos**

Foram mantidos no código e visualmente, os créditos ao fornecedor do servidor WEB (**000webhost**) e ao fornecedor dos *templates* (**BootstrapMade**), como forma de respeitar as licenças de utilização.

# 5. CONCLUSÃO E MELHORIAS FUTURAS

Neste capítulo final são apresentadas as conclusões do trabalho realizado, comparando com os objetivos iniciais e o resultado obtido, indicando os trabalhos e decisões entre o início e o fim.

Como a solução *Energy Reader* é um protótipo, há várias evoluções que lhe podem ser aplicadas e isso será também descrito neste capítulo.

## 5.1. CONCLUSÕES

A dissertação teve como objetivos projetar um sistema de medição Tensão eficaz, Corrente eficaz, Potência ativa e aparente, Fator de Potência e Energia, baseado em microcontrolador, a ser instalado no Quadro Geral de uma habitação ou empresa.

O segundo objetivo era que essas grandezas fossem enviadas para a WEB, continuamente em tempo real, através de comunicações WIFI.

Para atingir este objetivo, a abordagem consistiu em construir um protótipo capaz de obter medições de tensão e corrente instantâneas e através destas calcular as restantes grandezas requeridas. Assim, querendo ter uma solução de baixo custo, mas que procurasse ter as

grandezas com o valor o mais aproximado possível do real, estipulou-se que seriam obtidas 200 amostragens no tempo de um ciclo sinusoidal, o que para uma frequência de rede de 50Hz consiste em 1 amostra a cada 100 $\mu$ s.

Para se obter as medições de tensão e corrente foram escolhidos dois amplificadores iguais, um para cada grandeza, tendo de características serem opticamente isolados. Cada amplificador, é constituído por 2 circuitos internos opticamente isolados, o primeiro ligado ao lado da potência, lê valores de  $\pm 200$ mV e outro para produzir o sinal de saída, sendo que este sinal corresponde a uma amplificação do *input* gerando um *output* entre os 0V e os 5V. O facto de serem opticamente isolados permitem proteger o microcontrolador das tensões da rede elétrica e conferem alguma segurança de utilização do protótipo.

O amplificador escolhido foi o ACPL 785J.

Para obter as medições e realizar todos os cálculos das grandezas requeridas foi necessário escolher um microcontrolador. Para este microcontrolador definiu-se que teria de ter um baixo custo e teria de ser capaz de realizar outros objetivos:

- ter um poder computacional elevado de forma a que consiga fazer as 200 medições e cálculos no período de 1 ciclo;
- ter um periférico de comunicação que lhe permitisse comunicar por WIFI para uma plataforma WEB.

O microcontrolador escolhido, que cumpre estes requisitos, custou 15€, consegue fazer uma medição e cálculos que consomem cerca de 27 $\mu$ s e tem integrado um chip WIFI.

O microcontrolador está ligado aos amplificadores, havendo um divisor de tensão que reduz os 5V de saída do amplificador para os 3,3V aceites de entrada no microcontrolador.

O microcontrolador escolhido foi o ESP32 WROVER-B.

Foi desenhado um esquema elétrico onde estão representadas as técnicas a aplicar para reduzir a tensão das redes, tendo este protótipo sido balizado para funcionar em máximos de 340V de tensão e 5A de corrente.

O protótipo conseguido está funcional tendo sido concebido para monitorizar uma carga isolada. O protótipo mede a carga do equipamento que lhe for ligado, precisando de ligeiras alterações no esquema elétrico para ser conectado ao quadro elétrico do local de instalação. Não precisa de qualquer alteração no software do microcontrolador nem do software da WEB.

Depois de construído o equipamento, foram feitas várias medições e comparados os resultados com os obtidos por aparelhos de medida, devidamente calibrados e de qualidade reconhecida como os multímetros Fluke e os osciloscópios existentes no laboratório. Os resultados obtidos validaram a viabilidade do protótipo.

O objetivo de envio de dados para a WEB também foi conseguido.

Para se conseguir este objetivo, de envio para a WEB, foi necessário programar, numa primeira fase, o microcontrolador para que este conseguisse identificar as redes WIFI disponíveis e criar um ambiente amigável de configuração para que o utilizador desse produto pudesse indicar os dados de acesso ao WIFI do local de instalação.

O outro passo, foi programar o microcontrolador para que cumprisse um protocolo de comunicação programado no servidor WEB preparado para o efeito de receber os dados enviados. Assim, após cada 200 leituras, é despoletado o envio da informação para a *site* WEB. Esta ação só pode ser realizada se o microcontrolador tiver um acesso WIFI configurado.

A parte WEB, para receber os dados enviados pelo microcontrolador foi desenvolvido de raiz e tendo em conta os requisitos que deveria cumprir. O site foi desenvolvido em PHP e tem uma base de dados em MariaDB.

Para conceber o *site* teve de se pensar na solução na sua totalidade. O equipamento vai fazer várias comunicações. Poderá haver vários utilizadores com estes equipamentos e cada utilizador poderá ter vários equipamentos. O *site* e a sua base de dados (BD) teriam de conseguir ter este tipo de configuração.

Outra ideia que se procurou desde logo assegurar foi que o equipamento mal se conectasse à rede WIFI, passaria desde logo a registar as medições que obtivesse, estivesse ou não já associado a algum utilizador.

Todos os dados são calculados no microcontrolador, servindo a página WEB para registá-los na BD.

Outras funcionalidades criadas para o *site*, utilizando *bootstraps* responsivos, permite através de um computador portátil ou de um telemóvel, que o utilizador consiga ver os seus consumos no dia, na semana, no mês ou no ano.

Na escolha do servidor onde este site ficou alojado, teve de se ter em consideração se o servidor aceitava o envio de informação proveniente de dispositivos concebidos para a Internet das Coisas (IoT).

## **5.2. MELHORIAS POSSÍVEIS À SOLUÇÃO**

A solução *Energy Reader* foi construída a partir do zero e estando no seu estado protótipo há muitas evoluções possíveis de se lhe aplicar. Algumas evoluções são ao nível funcional outras são ao nível de conceção.

O protótipo está construído com os componentes instalados numa *breadboard*. Cada vez que era necessário deslocar o *kit* era necessário ter todos os cuidados para que os componentes ou cablagens não saíssem do sítio sob risco de alterar as configurações medidas. Assim, uma evolução passaria pela criação de uma placa de circuito impressa (*PCB – Printed Circuit Board*) de forma a tornar o protótipo mais estável.

Depois de montado em PCB, avaliar os valores das medidas no circuito, nomeadamente nas resistências utilizadas, para que os resultados obtidos sejam os mais aproximados do real consumo. As resistências utilizadas foram as existentes em laboratório e como tal as resistências escolhidas foram de um valor aproximado daquele que seria o necessário para o maior grau de qualidade.

No seguimento do ponto anterior, as resistências utilizadas têm um grau de precisão de 5% podendo ser evoluído para uma precisão de 1%.

Ao nível das medições, depois de cada recolha de 200 medições, está a ser enviado para a WEB os valores calculados. Enquanto está a ser feito o envio para a WEB não estão a ser recolhidas medições. Assim, por forma a obter valores de consumo ainda mais aproximados, pode evoluir-se a solução no sentido de estar continuamente a recolher e preparar uma tarefa a executar em

paralelo para envio dos dados recolhidos. O microcontrolador tem capacidade de processamento para executar essas tarefas.

Há uma melhoria que pode enriquecer bastante a solução. A possibilidade de poder dar ao utilizador, através do site WEB, a possibilidade de ligar/desligar o equipamento enriqueceria bastante a gestão energética que o utilizador está capaz de fazer. Um exemplo, em tom mais leve, não seria uma boa ideia ter a possibilidade de, antes de ir dormir, pressionando apenas um botão num *site*, desligar o *standby* de todas as TV's da casa tendo em conta que já todos estão a dormir? Ou então, estar no trabalho, verificar que o painel solar está a produzir bastante energia e, remotamente, ativar a ventoinha e aproveitar e ligar a máquina de lavar roupa que estava à espera de ser ligada?

No mesmo sentido, outra evolução interessante, e que implica (tal como a anterior) alterações no *site* e no microcontrolador, bem como a aquisição de outro componente que permita ligar/desligar toda a solução, seria a definição de uma calendarização de funcionamento do equipamento. Por exemplo, calendarizar que às 7h da manhã o rádio se liga servindo de despertador.

Uma evolução do *site* no sentido de apresentar mais informação agregada, por exemplo: total de utilizadores, total de equipamentos, consumo total por país, consumo médio por zona (por exemplo, mesma zona do IP), consumo médio por utilizador. Avançar com uma tipificação de equipamentos e depois disso, apresentar valores médios de consumo desses equipamentos.

Antes destas todas, e bem atual, é necessário rever o site de forma a assegurar que este cumpre com o RGPD (Regime Geral de Proteção de Dados), algo que foi descurado no momento do desenvolvimento da solução.

Uma outra evolução, mais complexa, mas que poderá ser o caminho a seguir, é conseguir colocar todos os ***Energy Readers*** a comunicar uns com os outros, criando uma rede, e verificando qual o tipo de equipamento que está ligado e ligar/desligar automaticamente de forma a procurar reduzir picos de potência. Por exemplo, um equipamento ligado ao micro-ondas, assim que se apercebesse que estava a ser consumida mais energia comunicaria com o equipamento ligado ao frigorífico indicando-lhe que, nos próximos 5 minutos ou até nova indicação, deveria reduzir os seus consumos ao mínimo possível.





## *Referências Documentais e consulta de sites*

- [1] Thomas Hobbes, filósofo político de Inglaterra, 1588-1679. Obtido de Citador, em 05 de Setembro de 2019: <http://www.citador.pt/frases/conhecimento-e-poder-thomas-hobbes-10168>
- [2] Exxon Mobil. (2019). *Outlook for Energy: A perspective to 2040*. Obtido de Exxon Mobile, em 28 de Agosto de 2019: [https://corporate.exxonmobil.com/-/media/Global/Files/outlook-for-energy/2019-Outlook-for-Energy\\_v4.pdf](https://corporate.exxonmobil.com/-/media/Global/Files/outlook-for-energy/2019-Outlook-for-Energy_v4.pdf)
- [3] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. (2º Semestre de 2018). *Comparação de preços*. Obtido de Resumo informativo da Eurostat, em 30 de Setembro de 2019: [http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/comparacoesinternacionaisdeprecos/Documents/20190516\\_Resumo%20informativo%20eurostat\\_2018S2.pdf](http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/comparacoesinternacionaisdeprecos/Documents/20190516_Resumo%20informativo%20eurostat_2018S2.pdf)
- [4] Conselho Europeu. (29 de Março de 2019). *Luta contra as alterações climáticas na UE*. Obtido de Acordo de Paris sobre as alterações climáticas, em 30 de Setembro de 2019: <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/timeline/>
- [5] Conselho Europeu. (14 de Outubro de 2017). *Luta contra as alterações climáticas na UE*. Obtido de The 2030 climate and energy framework, em 30 de Setembro de 2019: <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/2030-climate-and-energy-framework/>
- [6] Digital Trends. (29 de Outubro de 2018). *How to measure home energy use*. Obtido de Digital Trends, em 15 de Outubro de 2019: <https://www.digitaltrends.com/home/how-to-measure-home-energy-use/>
- [7] Kelly, J. (1 de Abril de 2017). *UK Domestic Appliance-Level Electricity (UK-DALE) dataset*. Obtido em 15 de Janeiro de 2019, de <http://jack-kelly.com/data/>

- [8] Open Energy Monitor. *AC Power Theory - Arduino Maths*. Obtido de Learn - Open Energy Monitor, em 19 de Outubro de 2019: <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ac-power-theory/arduino-maths>
- [9] Wikipedia. *Geoge Simon Ohm*. Obtido de Wikipédia - A enciclopédia livre, em 20 de Outubro de 2019: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Georg\\_Simon\\_Ohm](https://pt.wikipedia.org/wiki/Georg_Simon_Ohm)
- [10] Wikipedia. *Corrente elétrica*. Obtido de Wikipédia - A enciclopédia livre, em 20 de Outubro de 2019: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Corrente\\_el%C3%A9trica](https://pt.wikipedia.org/wiki/Corrente_el%C3%A9trica)
- [11] Athos Electronics. *Tensão, Corrente, Potência e Resistência*. Obtido de Athos Electronics, em 20 de Outubro de 2019: <https://athoselectronics.com/tensao-e-corrente/>
- [12] Espressif Systems. (Setembro de 2019). *ESP32-WROVER-B Datasheet*. Obtido de Espressif Systems documentation, em 20 de Outubro de 2019: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wrover-b\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wrover-b_datasheet_en.pdf)
- [13] Avago Technologies. (6 de Março de 2015). *ACPL-785J, Isolation Amplifier with Short Circuit and Overload Detection*. Obtido de Broadcom Documentation, em 8 de Julho de 2019: <https://docs.broadcom.com/docs/AV02-1545EN>
- [14] Khan Academy. *Divisor de tensão*. Obtido de Khan Academy, em 01 de Novembro de 2019 <https://pt.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-circuit-analysis-topic/ee-resistor-circuits/a/ee-voltage-divider>
- [15] Stack Overflow. (2018). *Developer Survey Results - 2018*. Obtido de Stack Overflow, em 7 de Outubro de 2019: <https://insights.stackoverflow.com/survey/2018>
- [16] Stack Overflow. (2016). *Developer Survey Results - 2016*. Obtido de Stack Overflow, em 7 de Outubro de 2019: <https://insights.stackoverflow.com/survey/2018>
- [17] PHP. *PDO*. Obtido de PHP, em 7 de Outubro de 2019: [https://www.php.net/manual/pt\\_BR/intro.pdo.php](https://www.php.net/manual/pt_BR/intro.pdo.php)
- [18] 000webhost. *Recursos do alojamento grátis*. Obtido de 000WebHost, em 2 de Outubro de 2019:

[https://pt.000webhost.com/caracteristicas?\\_ga=2.40045350.580301272.1569857117-2033510294.1569857117](https://pt.000webhost.com/caracteristicas?_ga=2.40045350.580301272.1569857117-2033510294.1569857117)

[19] User Spice. *Documentation*. Obtido de User Spice, em 08 de Outubro de 2019: <https://userspice.com/kb/>

[20] Aprender sobre eletrônicos. O que é a Tensão RMS? Obtido de Learning about Eletronics, em 29 de Outubro de 2019: <http://www.learningaboutelectronics.com/Artigos/Tensao-RMS.php>

[21] Arduino Portugal. *O que é o Arduino*. Obtido de Arduino Portugal - comunidade Arduino em Portugal, em 14 de Outubro de 2019: <https://www.arduinoportugal.pt/o-que-e-arduino/>

## Anexo A. Ambiente de desenvolvimento

Este anexo tem por objetivo fazer uma breve descrição de como foi preparado o ambiente de desenvolvimento para programar o microcontrolador.

O software utilizado para programar, compilar e instalar o software no microcontrolador foi o mesmo que o utilizado para o microcontrolador Arduino [21].

Assim, o primeiro passo foi instalar, a versão para Windows 10, o IDE (*Integrated Development Environment*, Ambiente Integrado de Desenvolvimento) do Arduino localizado no endereço web: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.

O próximo passo é a instalação de um *add-on* que permita, preparar o IDE do Arduino para poder programar o ESP32. Este é um tutorial que ajuda a preparar esse cenário: <https://randomnerdtutorials.com/installing-the-esp32-board-in-arduino-ide-windows-instructions/>.

Uma das bibliotecas usadas para gerir os acessos através do WIFI e que é necessário instalar é a WiFiManager e pode ser encontrada e evoluída no endereço: <https://github.com/tzapu/WiFiManager/tree/development> .

## Anexo B. Script de construção da base de dados

Neste anexo segue o script de construção da base de dados.

De referir que as tabelas que constam deste script não inclui as de gestão de utilizadores que é criado pela ferramenta de gestão de utilizadores, tal como descrito no capítulo 4.3.

Este script deve ser executado depois de ter sido criada uma base de dados.

```
-- phpMyAdmin SQL Dump
-- version 4.9.1
-- https://www.phpmyadmin.net/
--
-- Host: localhost:3306
-- Tempo de geração: 02-Nov-2019 às 18:42
-- Versão do servidor: 10.3.16-MariaDB
-- versão do PHP: 7.3.10

SET SQL_MODE = "NO_AUTO_VALUE_ON_ZERO";
SET AUTOCOMMIT = 0;
START TRANSACTION;
SET time_zone = "+00:00";

/*!40101 SET
@OLD_CHARACTER_SET_CLIENT=@@CHARACTER_SET_CLIENT */;
/*!40101 SET
@OLD_CHARACTER_SET_RESULTS=@@CHARACTER_SET_RESULTS */;
/*!40101 SET
@OLD_COLLATION_CONNECTION=@@COLLATION_CONNECTION */;
/*!40101 SET NAMES utf8mb4 */;

--
-- Banco de dados: `id9198090_energyreader`
--
-----
-----

--
-- Estrutura da tabela `consumption`
--
CREATE TABLE `consumption` (
```

```

    `equipment_id` bigint(20) NOT NULL COMMENT
'Equipment ID',
    `date_time` datetime NOT NULL DEFAULT
current_timestamp() COMMENT 'Reading value
Date/Time',
    `consume` decimal(10,4) NOT NULL DEFAULT
0.0000 COMMENT 'Instant consumption (in Wh)',
    `voltage` decimal(10,4) NOT NULL DEFAULT
0.0000 COMMENT 'Instant voltage (in V)',
    `current` decimal(10,4) NOT NULL DEFAULT
0.0000 COMMENT 'Instant current (in A)',
    `frequency` decimal(10,4) NOT NULL DEFAULT
0.0000,
    `active_power` decimal(10,4) NOT NULL DEFAULT
0.0000 COMMENT 'Active power (in Wh)',
    `apparent_power` decimal(10,4) NOT NULL
DEFAULT 0.0000,
    `power_factor` decimal(10,4) NOT NULL DEFAULT
0.0000
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=latin1;

```

```

-----
-----

```

```

--
-- Estrutura da tabela `equipments`
--

```

```

CREATE TABLE `equipments` (
  `ID` bigint(20) NOT NULL COMMENT 'Equipment
identifier',
  `SerialNumber` varchar(30) DEFAULT NULL
COMMENT 'Serial number of equipment',
  `Description` varchar(6000) DEFAULT NULL
COMMENT 'General description of equipment',
  `Unit` varchar(5) NOT NULL DEFAULT 'kWh'
COMMENT 'Accept values: kWh and kVA',
  `Created_DateTime` timestamp NOT NULL DEFAULT
current_timestamp() COMMENT 'Data/Time of
creation in database'
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=latin1;

```

```

-----
-----

```

```

--
-- Estrutura da tabela `equipments_users`
--

```

```

CREATE TABLE `equipments_users` (

```

```

    `id` bigint(20) NOT NULL COMMENT 'Association
identifier',
    `equipment_id` bigint(20) NOT NULL COMMENT
'Equipment identifier',
    `user_id` int(11) NOT NULL COMMENT 'User
identifier',
    `Created_DateTime` timestamp NOT NULL DEFAULT
current_timestamp() COMMENT 'Date/time of
association creation'
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=latin1;

--
-- Índices para tabelas despejadas
--

--
-- Índices para tabela `consumption`
--
ALTER TABLE `consumption`
  ADD PRIMARY KEY (`equipment_id`,`date_time`),
  ADD KEY `equipment_id` (`equipment_id`);

--
-- Índices para tabela `equipments`
--
ALTER TABLE `equipments`
  ADD PRIMARY KEY (`ID`),
  ADD UNIQUE KEY `SerialNumber`
(`SerialNumber`);

--
-- Índices para tabela `equipments_users`
--
ALTER TABLE `equipments_users`
  ADD PRIMARY KEY (`id`),
  ADD KEY `equipment_id` (`equipment_id`),
  ADD KEY `user_id` (`user_id`);

--
-- AUTO_INCREMENT de tabelas despejadas
--

--
-- AUTO_INCREMENT de tabela `equipments`
--
ALTER TABLE `equipments`
  MODIFY `ID` bigint(20) NOT NULL
AUTO_INCREMENT COMMENT 'Equipment identifier';

--

```

```

-- AUTO_INCREMENT de tabela `equipments_users`
--
ALTER TABLE `equipments_users`
  MODIFY `id` bigint(20) NOT NULL
  AUTO_INCREMENT COMMENT 'Association
  identifier';

--
-- Restrições para despejos de tabelas
--

--
-- Limitadores para a tabela `consumption`
--
ALTER TABLE `consumption`
  ADD CONSTRAINT `consumption_ibfk_1` FOREIGN
  KEY (`equipment_id`) REFERENCES `equipments`
  (`ID`);

--
-- Limitadores para a tabela `equipments_users`
--
ALTER TABLE `equipments_users`
  ADD CONSTRAINT `equipments_users_ibfk_1`
  FOREIGN KEY (`equipment_id`) REFERENCES
  `equipments` (`ID`),
  ADD CONSTRAINT `equipments_users_ibfk_2`
  FOREIGN KEY (`user_id`) REFERENCES `users`
  (`id`);
COMMIT;

/*!40101 SET
CHARACTER_SET_CLIENT=@OLD_CHARACTER_SET_CLIENT
*/;
/*!40101 SET
CHARACTER_SET_RESULTS=@OLD_CHARACTER_SET_RESULT
S */;
/*!40101 SET
COLLATION_CONNECTION=@OLD_COLLATION_CONNECTION
*/;

```

## Anexo C. Código fonte de programação do microcontrolador

O código fonte do microcontrolador presente neste anexo é apenas aquele que teve desenvolvimento por parte do mestrando. As bibliotecas utilizadas devem ser adicionadas tal como descrito neste documento.

```
#include <WiFiManager.h>
//https://github.com/tzapu/WiFiManager WiFi
Configuration Magic
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>

//Constantes
const String endereco="http://www.sapo.pt";
//Total de amostras a ler
const int TOTAL_AMOSTRAS = 200;
//PIN da corrente e da tensão
const int PIN_CORRENTE = 32;//IO32
const int PIN_TENSAO = 33;//IO33
const double V_medio_em_bits = 1835.0; //valor
de tensão (em bits) calibrado como sendo o
valor médio
const double I_medio_em_bits = 1895.0; //valor
de corrente (em bits) calibrado como sendo o
valor médio
const double picoV = 1450.0; // Valor de pico
da tensão (em bits) (diferença entre máximo
lido e o valor médio calculado)
// - definido
manualmente de forma a que os resultados se
aproximem do real lido no osciloscópio
const double picoI = 780.0; // Valor de pico da
corrente (em bits) (diferença entre máximo lido
e o valor médio calculado)
// - definido
manualmente de forma a que os resultados se
aproximem do real lido no osciloscópio
const double valor_calibrado_tensao = 315.0;
const double valor_calibrado_corrente = 2.5;

const double ganho_tensao =
(valor_calibrado_tensao / picoV);
const double ganho_corrente =
(valor_calibrado_corrente / picoI);
const double convert_to_wh = 2.778*pow(10,-4);
```

```

const int equipamento=1; //1-obtém
identificador do chip - Aquecedor
//2-vai ficar com o
valor 80C56CAE114D - secador
//3-vai ficar com o
valor 80C56CAE114E - aquecedor da casa de banho
//4-vai ficar com o
valor 80C56CAE114F - telemóvel
//5-vai ficar com o
valor 80C56CAE114G - rádio
//Variáveis globais
char esp32_id[13];
HTTPClient http;

volatile int interruptCounter;
volatile int sendInfo=0;
hw_timer_t * timer = NULL;
portMUX_TYPE timerMux =
portMUX_INITIALIZER_UNLOCKED;

//variáveis para os valores que vão ser
calculados
//Para calcular a energia real
double consume;
double inst_power;
double sum_inst_power = 0;
double real_power;
double mean_read_voltage;
double mean_read_current;
//Para verificar o valor que chega do
optoacoplador
double readV[TOTAL_AMOSTRAS];
double readI[TOTAL_AMOSTRAS];
double sumReadV=0;
double sumReadI=0;
//Para calcular Root-Mean-Square (tensão)
double squared_read_voltage;
double sum_squared_read_voltage = 0;
double mean_square_read_voltage;
double root_mean_square_read_voltage;
//Para calcular Root-Mean-Square (corrente)
double squared_read_current;
double sum_squared_read_current = 0;
double mean_square_read_current;
double root_mean_square_read_current;
//Energia aparente
double apparent_power;
//Factor de potência
double power_factor;

```

```

//verifica estado da conexão
void connectWIFI() {
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED){
        WiFi.begin();
        while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
            delay(500);
        }

        //verifica a ligação
        http.begin(endereco);
        int httpCode = http.GET();
        http.end();
    }
}

//valida o equipamento remotamente. Se não
existir, o equipamento é automaticamente criado
int validateEquipment(){
    char
web_Validate[107]="http://energyreader.000webho
stapp.com/validateEquipment.php?info=ENERGY_REA
DER||";

    connectWIFI();

    strcat(web_Validate, esp32_id);
    strcat(web_Validate, "||ISEP");

    http.begin(web_Validate);
    int httpCode = http.GET();
    http.end();
    return httpCode;
}

//guarda consumo calculado
int saveConsume(double consume, double voltage,
double current, double frequency, double
active_power, double apparent_power, double
power_factor){
    char
web_Consume[420]="http://energyreader.000webhos
tapp.com/addConsume.php?info=ENERGY_READER||";
    char buf[200];
    connectWIFI();

    sprintf (buf,
"%s||%f||%f||%f||%f||%f||%f||%f||ISEP",
esp32_id, consume, voltage, current, frequency,
active_power, apparent_power, power_factor);
    strcat(web_Consume, buf);
}

```

```

http.begin(web_Consume);
int httpCode = http.GET();
http.end();
return httpCode;
}

//timer onde vão ser calculados os valores
void IRAM_ATTR onTimer() {
  //digitalWrite(12, HIGH);
  if(sendInfo==0){
    //digitalWrite(27, HIGH);
    portENTER_CRITICAL_ISR(&timerMux);
    interruptCounter++;

    //ler valores de tensão e corrente após o
    optoacoplador
    readV[interruptCounter] =
    (double) (analogRead(PIN_TENSAO) -
    V_medio_em_bits)*ganho_tensao;
    readI[interruptCounter] =
    (double) (analogRead(PIN_CORRENTE) -
    I_medio_em_bits)*ganho_corrente;

    sumReadV += readV[interruptCounter];
    sumReadI += readI[interruptCounter];

    inst_power = readV[interruptCounter] *
    readI[interruptCounter];
    sum_inst_power += inst_power;

    squared_read_voltage =
    readV[interruptCounter] *
    readV[interruptCounter];
    sum_squared_read_voltage +=
    squared_read_voltage;

    squared_read_current =
    readI[interruptCounter] *
    readI[interruptCounter];
    sum_squared_read_current +=
    squared_read_current;

    if(interruptCounter==TOTAL_AMOSTRAS){
      sendInfo=1;

      real_power = sum_inst_power /
    TOTAL_AMOSTRAS;

```

```

        mean_read_voltage = sumReadV /
TOTAL_AMOSTRAS;
        mean_read_current = sumReadI /
TOTAL_AMOSTRAS;

        mean_square_read_voltage =
sum_squared_read_voltage / TOTAL_AMOSTRAS;
        root_mean_square_read_voltage =
sqrt(mean_square_read_voltage);

        mean_square_read_current =
sum_squared_read_current / TOTAL_AMOSTRAS;
        root_mean_square_read_current =
sqrt(mean_square_read_current);

        apparent_power =
root_mean_square_read_voltage*root_mean_square_
read_current;

        if(apparent_power>0.0)
            power_factor = real_power /
apparent_power;
        else
            power_factor = 0;

        consume = real_power * convert_to_wh;

        interruptCounter=0;

        sumReadV=0;
        sumReadI=0;
        sum_squared_read_voltage=0;
        sum_squared_read_current=0;

        sum_inst_power=0;
        //digitalWrite(27, LOW);
    }
    portEXIT_CRITICAL_ISR(&timerMux);
}
//digitalWrite(12, LOW);
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    //Definir modo de funcionar dos PIN's
    pinMode(PIN_CORRENTE, INPUT);
    pinMode(PIN_TENSAO, INPUT);
    //pinMode(12, OUTPUT); //PWM canal 7

```

```

//pinMode(26, OUTPUT); //PWM canal 3
//pinMode(27, OUTPUT); //PWM canal 2

uint64_t chipid = ESP.getEfuseMac(); //The
chip ID is essentially its MAC address (length:
6 bytes).
uint16_t chip = (uint16_t)(chipid >> 32);
if(equipamento==1)
    sprintf(esp32_id, 13, "%04X%08X", chip,
(uint32_t)chipid);
else if(equipamento==2)
    strcat(esp32_id, "80C56CAE114D");
else if(equipamento==3)
    strcat(esp32_id, "80C56CAE114E");
else if(equipamento==4)
    strcat(esp32_id, "80C56CAE114F");
else if(equipamento==5)
    strcat(esp32_id, "80C56CAE114G");

//inicialização do gestor de acesso à net
WiFiManager wifiManager;
wifiManager.setConfigPortalTimeout(180);
char apName[21]="AP-ISEP-";
strcat(apName, esp32_id);

wifiManager.autoConnect(apName,
"3N3R3GYR3AD3R");

//Verifica e conecta ao WIFI
connectWIFI();
Serial.println("Connetado");

//Regista equipamento
while(validateEquipment() != HTTP_CODE_OK) {
    delay(500);
}

timer = timerBegin(0, 80, true);
timerAttachInterrupt(timer, &onTimer, true);
timerAlarmWrite(timer, 100, true);
timerAlarmEnable(timer);
}

void loop() {
    // put your main code here, to run
repeatedly:
    if(sendInfo==1)
    {
        //digitalWrite(26, HIGH);

```

```

saveConsume (consume,
              root_mean_square_read_voltage,
              root_mean_square_read_current,
              (1/0.0001),
              real_power,
              apparent_power,
              power_factor);
portENTER_CRITICAL(&timerMux);
delay(600); //uma vez que a BD só aceita um
consumo por cada segundo, e tendo em conta que
todo o processo (desde medições a envio de
dados)
              //demora cerca de 300ms, este
timer faz com que deixe de se tentar enviar
dados que não vão ser guardados
sendInfo=0;
//digitalWrite(26, LOW);
portEXIT_CRITICAL(&timerMux);
}
}

```



## Anexo D. Código fonte do *site* WEB

O código fonte do microcontrolador foi incluído em pasta de CD, juntamente com a entrega deste documento.