



## **Desenvolvimento de um sistema de monitorização e de gestão/controlo de cargas para instalações de microprodução fotovoltaica**

**FREDERICO MANUEL ARAÚJO FERREIRA**

outubro de 2019

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO E DE GESTÃO/CONTROLO DE CARGAS PARA INSTALAÇÕES DE MICROPRODUÇÃO FOTOVOLTAICA

Frederico Manuel Araújo Ferreira



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica Sistemas Eléctricos de Energia

**2019**



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de  
Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Frederico Manuel Araújo Ferreira, Nº 1100400, 1100400@isep.ipp.pt

Orientação científica: Rui Paulo Ramos de Castro, rrc@isep.ipp.pt

Supervisão: Rui Paulo Ramos de Castro, rrc@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2019**



## *Agradecimentos*

Quero agradecer fundamentalmente aos meus colegas de mestrado, Nuno Falcão, Jessica Chaves e Romeu Costa por todo o apoio pessoal e académico que me deram ao longo da realização deste mestrado.



## *Resumo*

Nesta dissertação, começamos por realizar uma análise dos dados estatísticos recolhidos, sobre o impacto dos sistemas fotovoltaicos na produção de energia à escala mundial e nacional. Será feita também uma análise ao consumo de energia a nível nacional (consumo residencial), ao fornecimento de energia elétrica em Portugal, em termos de quota de mercado do mercado liberalizado, e tarifas praticadas pelo maior comercializador de Energia, a EDP.

Ainda no âmbito das instalações fotovoltaicas, será feita uma comparação entre as soluções comerciais atualmente existentes no mercado, nomeadamente as Unidades de Pequena Produção (UPP) e de Autoconsumo.

Relativamente ao projeto realizado, procurou-se criar uma solução conjunta de software e hardware, com uma implementação prática numa habitação com uma solução fotovoltaica instalada de 2 kW. O objetivo foi criar uma ferramenta de monitorização do sistema fotovoltaica, assim como o controlo da gestão de algumas cargas ligadas na habitação, com uma interface intuitiva e de fácil acesso ao utilizador, à qual este poderia aceder em qualquer lugar que tenha uma ligação à internet.

### *Palavras-Chave*

Painéis fotovoltaicos, monitorização, energia, tarifas horárias, autoconsumo, interface web.



## *Abstract*

In this dissertation, we begin by analyzing the collected statistical data on the impact of photovoltaic systems on world and national energy production. An analysis will also be made of national energy consumption (residential consumption), electricity supply in Portugal, in terms of market share of the liberalized market, and tariffs practiced by the largest energy trader, EDP.

Still within the scope of photovoltaic installations, a comparison will be made between the commercial solutions currently on the market, namely the Small Production Units (UPP) and Self-Consumption.

Regarding the project, we sought to create a joint software and hardware solution, with a practical implementation in a house with a installed 2 kW photovoltaic solution. The objective was to create a photovoltaic system monitoring tool, as well as the management control of some loads connected to the house, with an intuitive and user-friendly interface, which could be accessed anywhere with an internet connection.

### ***Keywords***

Photovoltaic modules, monitoring, energy, hourly rate, self-consumption, web interfaces.



# Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	<b>XV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO .....	3
<b>2. CONCEITOS E ESTADO DA ARTE</b> .....	<b>5</b>
2.1.1 PRODUÇÃO À ESCALA MUNDIAL .....	7
2.1.2 PRODUÇÃO À ESCALA NACIONAL.....	9
2.2 CONSUMO DE ELETRICIDADE EM PORTUGAL.....	10
2.3 TIPOS DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS .....	11
2.3.1 PEQUENA PRODUÇÃO .....	11
2.3.2 AUTOCONSUMO .....	15
2.3.3 AUTOCONSUMO VS. PEQUENA PRODUÇÃO.....	16
2.4 SOLUÇÕES DE MERCADO.....	19
2.4.1 EDP RE:DY SOLAR.....	19
2.4.2 SENSE HOME ENERGY MONITOR.....	20
<b>3. FERRAMENTAS E COMPONENTES UTILIZADOS</b> .....	<b>23</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	25
3.2 SOFTWARE UTILIZADO .....	25
3.2.1 GITHUB .....	25
3.2.2 EAGLE.....	26
3.2.3 RASPBIAN.....	26

3.2.4	ARDUINO IDE (INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT).....	26
3.2.5	SERVIDOR APACHE.....	27
3.2.6	BOOTSTRAP .....	28
3.2.7	JAVASCRIPT.....	29
3.2.8	CHARTJS.....	29
3.2.9	MYSQL.....	30
3.2.10	PHP.....	31
3.2.11	PYTHON.....	32
3.3	HARDWARE UTILIZADO .....	32
3.3.1	PAINEL SOLAR RENESOLA JC245M-24/BBV VIRTUS MODULE .....	33
3.3.2	SCT-013-030 SENSOR DE CORRENTE AC NÃO - INVASIVO .....	33
3.3.3	SENSOR DE TENSÃO ZMPT101B.....	34
3.3.4	RELÉ SRD-12VDC-SL-C.....	34
3.3.5	SENSOR DE TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA DHT22.....	35
3.3.6	ARDUINO UNO REV3.....	37
3.3.7	RASPBERRY PI .....	39
3.3.8	INVERSOR SUNNY BOY (SB 2100TL).....	39
<b>4.</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE E TESTES EFETUADOS .....</b>	<b>41</b>
4.1	CASO DE ESTUDO .....	43
4.1.1	DISTRIBUIÇÃO DE CONSUMOS .....	43
4.2	DESCRIÇÃO FUNCIONAL DO SISTEMA .....	44
4.3	DIAGRAMA ELÉTRICO .....	47
4.4	ALGORITMO DE GESTÃO DE CARGAS .....	48
4.5	CONDICIONAMENTO DE SINAL.....	49
4.6	DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE.....	50
4.6.1	CONEXÃO ARDUÍNO – RASPBERRY PI.....	50
4.6.2	BASE DE DADOS ESCOLHIDA E PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	52
4.6.3	CÓDIGO ARDUÍNO .....	52
4.6.4	INTERFACE WEB.....	55
4.7	COMPARAÇÃO DE MEDIÇÃO DE VALORES ENTRE INVERSOR E SOLUÇÃO DESENVOLVIDA.....	75
4.8	CUSTO DA SOLUÇÃO.....	75
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>77</b>
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
5.2	LIMITAÇÕES DO PROGRAMA / A MELHORAR .....	79
	<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS .....</b>	<b>81</b>

<b>ANEXO A.</b>	<b>HORÁRIOS DAS TARIFAS SIMPLES E BI-HORÁRIA .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO B.</b>	<b>HORÁRIOS DA TARIFA TRI-HORÁRIA .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO C.</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO INVERSOR SMA SUNNY BOY 2100TL .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO D.</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO SENSOR DE CORRENTE SCT-013 .....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO E.</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO MÓDULO DÓLAR RENESOLA JC245M-24/BB .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO F.</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO SENSOR DE TENSÃO ZMPT101B .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO G.</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO RELÉ SRD-12VDC-SL-C .....</b>	<b>89</b>



## *Índice de Figuras*

<b>Figura 1 - Distribuição da potência PV instalada a nível mundial, em 2018</b>	9
<b>Figura 2 - Evolução da capacidade fotovoltaica instalada, em Portugal</b>	9
<b>Figura 3 - Consumo de Energia <i>per Capita</i> (kWh)</b>	10
<b>Figura 4 - Modo correto de instalação do sensor de corrente</b>	34
<b>Figura 5 – Módulo com 4 relés SRD-12VDC-SL-C</b>	35
<b>Figura 6 - Sensor de temperatura e humidade relativa - DHT22</b>	36
<b>Figura 7 - Especificações técnicas do sensor DHT22</b>	36
<b>Figura 8 - Especificações técnicas do Arduino UNO Rev3</b>	38
<b>Figura 9 - Faturação energética nos últimos 7 meses</b>	44
<b>Figura 10 - Representação do sistema de monitorização</b>	46
<b>Figura 11 - Esquema de ligação entre os componentes do projeto</b>	47
<b>Figura 12 - Circuito implementado para condicionamento de sinal</b>	50
<b>Figura 13 - <i>Output</i> da porta série do Arduino</b>	51
<b>Figura 14 - Representação da corrente e tensão ao longo do tempo numa tomada da habitação</b>	53
<b>Figura 15 - Página de login</b>	56
<b>Figura 16 - Menu de Configurações</b>	57
<b>Figura 17 - Produção PV atual e potência instalada</b>	60

<b>Figura 18 - Gráfico de linhas da produção fotovoltaica diária</b>	62
<b>Figura 19 - Potência contratada e ciclo horário do utilizador</b>	62
<b>Figura 20 - Distribuição de energia</b>	63
<b>Figura 21 - Balanço Energético</b>	64
<b>Figura 22 - Gráfico do histórico de produção fotovoltaica durante o dia</b>	65
<b>Figura 23 - Gráfico do histórico de produção fotovoltaica durante o mês</b>	66
<b>Figura 24 - Gráfico do histórico de produção fotovoltaica durante o ano</b>	67
<b>Figura 25 - Gráfico do histórico de produção fotovoltaica total</b>	68
<b>Figura 26 - Informação adicional</b>	69
<b>Figura 27 - Visão geral do separador "Gestão e Controlo de Cargas"</b>	70
<b>Figura 28 - Dispositivos utilizados no controlo de cargas</b>	70
<b>Figura 29 - Monitorização Temperatura/Humidade</b>	71

## *Índice de Tabelas*

<b>Tabela 1 - Potência Fotovoltaica Instalada (Ano de 2017 e Total Cumulativo)</b>	8
<b>Tabela 2 - Comparação entre UPAC vs. UPP</b>	16
<b>Tabela 3 - Processo de licenciamento</b>	18
<b>Tabela 4 – Comparativo entre o EDP re:dy solar e <i>Solar Energy Monitor</i></b>	20
<b>Tabela 5 - Descrição dos pinos de conexão para o DHT22</b>	37
<b>Tabela 6 - Erro percentual entre aparelho comercial e a solução desenvolvida</b>	75
<b>Tabela 7 - Custos previsto para a elaboração da solução de hardware</b>	76



## *Acrónimos*

ADC	–	<i>Analog to Digital Converter</i>
AMPOP	–	Amplificador Operacional
API	–	<i>Application Programming Interface</i>
BTN	–	Baixa Tensão Normal
EDP	–	Energias de Portugal
ERSE	–	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
IEA	–	<i>International Energy Agency</i>
IVA	–	Imposto Sobre o Valor Acrescentado
kWh	–	<i>Kilowatt hora</i>
PV	–	<i>Photovoltaic</i>
PVPS	–	<i>Photovoltaic Power Systems</i>
RESP	–	Rede Elétrica de Serviço Público
SERUP	–	Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção
UPAC	–	Unidade de Produção para Autoconsumo
UPP	–	Unidade de Pequena Produção
W	–	<i>Watt</i>



# 1. INTRODUÇÃO

## **1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO**

O esgotamento dos combustíveis fósseis, aumento do custo e do grau de dificuldade na sua extração, assim como as alterações climáticas causadas pelo uso intensivo do petróleo como principal fonte de energia global, foram fatores que levaram ao desenvolvimento de novas fontes de energia renováveis e ao uso mais eficiente da energia, seja ela proveniente de fontes renováveis ou não renováveis.

Assim sendo, a eficiência energética e o consumo de energia que tanto se fala nos dias de hoje esteve na base deste trabalho. O interesse pelo ramo das energias renováveis e a possibilidade de realizar um projeto que pudesse ser utilizado de forma prática numa habitação contribuiu significativamente para a escolha deste trabalho.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo principal deste projeto é dar ao utilizador final uma forma fácil e intuitiva de monitorizar o seu sistema fotovoltaico, assim como fazer a gestão e o controlo das cargas alimentadas por este sistema. Para isto foi desenvolvida uma página web moderna, que pode ser utilizada em casa ou em qualquer outro lugar, desde que tenha uma ligação à internet.

## **1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO**

O relatório encontra-se organizado da seguinte forma:

No 1º capítulo é feita uma introdução ao trabalho, contextualizando o projeto no âmbito da dissertação e é apresentada uma breve descrição dos objetivos do trabalho. No 2º capítulo é abordado o estado de situação da produção fotovoltaica à escala nacional e mundial, o consumo e fornecimento de energia em Portugal, é feito um enquadramento dos tipos de instalações fotovoltaicas na atual legislação assim como um comparativo das soluções de monitorização atualmente disponíveis no mercado. No 3º capítulo, estão apresentadas as ferramentas de software assim como o hardware utilizado. No 4º capítulo é apresentado o caso real onde iria ser aplicado este projeto, a descrição funcional do sistema de monitorização assim como o seu respetivo esquema elétrico. É também apresentado o algoritmo utilizado para fazer a gestão das cargas consideradas e todo o desenvolvimento de software para a realização deste projeto. No final do capítulo são feitas uma avaliação dos custos e uma análise comparativa entre a solução desenvolvida e uma solução comercial já existente no mercado. Para terminar, no 5º capítulo são apresentadas as conclusões as considerações finais.



## 2. CONCEITOS E ESTADO DA ARTE



## **2.1 ESTADO DA PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA A NÍVEL NACIONAL E MUNDIAL**

Nesta secção será apresentada uma análise dos dados estatísticos recolhidos sobre o impacto dos sistemas fotovoltaicos na produção de energia à escala mundial e nacional.

### **2.1.1 PRODUÇÃO À ESCALA MUNDIAL**

A produção de energia feita por painéis fotovoltaicos sofreu um aumento exponencial nas duas últimas décadas. A tecnologia PV (*photovoltaic*), como acontece na grande maioria das tecnologias recém-lançadas, começou por ocupar um nicho de mercado, sendo apenas utilizada em aplicações de pequena escala. Quando os sistemas fotovoltaicos começaram a ser considerados como uma solução viável para geração de energia, surgiram as tarifas *feed-in*, que serviam como incentivo económico para justificar um investimento bastante significativo.

Nos primeiros anos, o Japão e alguns países Europeus foram os grandes impulsionadores desta tecnologia. Constantes melhorias na tecnologia e a produção em massa de painéis e módulos fotovoltaicos na China foram os fatores que mais contribuíram para a descida de preço dos componentes PV. Desde então a distribuição e instalação de painéis PV tem ganho tração um pouco por todo o mundo, particularmente na Ásia, América do Norte e vários países Europeus.

Todos os anos são feitas previsões por agências tais como a *International Energy Agency*, sobre o crescimento dos fotovoltaicos, mas as expectativas geralmente não são cumpridas, seja por razões financeiras ou de ordenamento do território, a verdade é que o número de instalações de sistemas PV fica quase sempre abaixo do previsto.

Na Tabela 1 temos representados os países com maior capacidade fotovoltaica instalada, assim como o gráfico que representa a evolução do total de capacidade fotovoltaica instalada (GW), a nível mundial.

**Tabela 1 - Potência Fotovoltaica Instalada (Ano de 2017 e Total Cumulativo)**

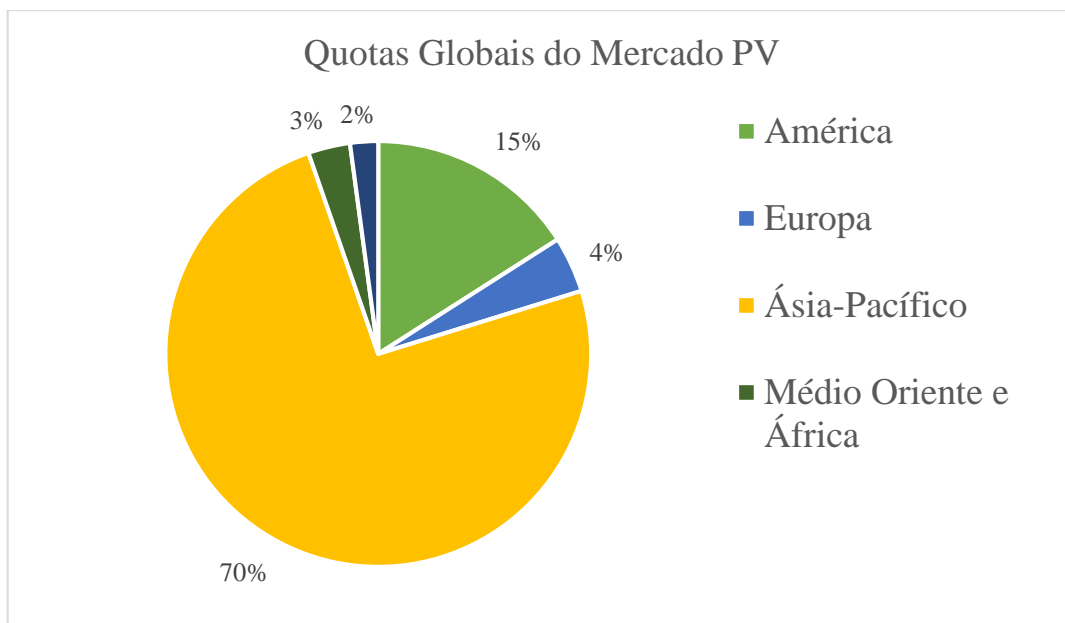
Potência Fotovoltaica Instalada em 2018			Potência Fotovoltaica Instalada (Cumulativa)		
1	China	45 GW	1	China	176,1 GW
2	Índia	10,8 GW	2	USA	62,2 GW
3	USA	10,6 GW	3	Japão	56 GW
4	Japão	6,5 GW	4	Alemanha	45,4 GW
5	Austrália	3,8 GW	5	Índia	32,9 GW
6	Alemanha	3 GW	6	Itália	20,1 GW
7	México	2,7	7	Reino Unido	13 GW
8	Coreia	2 GW	8	Austrália	11,3 GW
9	Turquia	1,6 GW	9	França	9 GW
10	Holanda	1,3 GW	10	Coreia	7,9 GW

Fazendo um balanço do panorama mundial em termos de potência PV instalada:

- Mais de 100 GW foram instalados mundialmente em 2018.
- A China detém 35 % do total de potência fotovoltaica instalada, a nível mundial e é neste momento o país que lidera neste segmento, com um total de 176,1 GW instalados.
- A nível europeu, a Alemanha continua a ser o país com maior capacidade PV instalada, com um total de 45.4 GW, segue-se a Itália com 20,1 GW e a França com 9 GW.
- Os 10 países com maior capacidade instalada representam 85 % da quota de mercado.
- Mais de 500 GW já foram instalados por todo o mundo até ao final de 2018

[1]

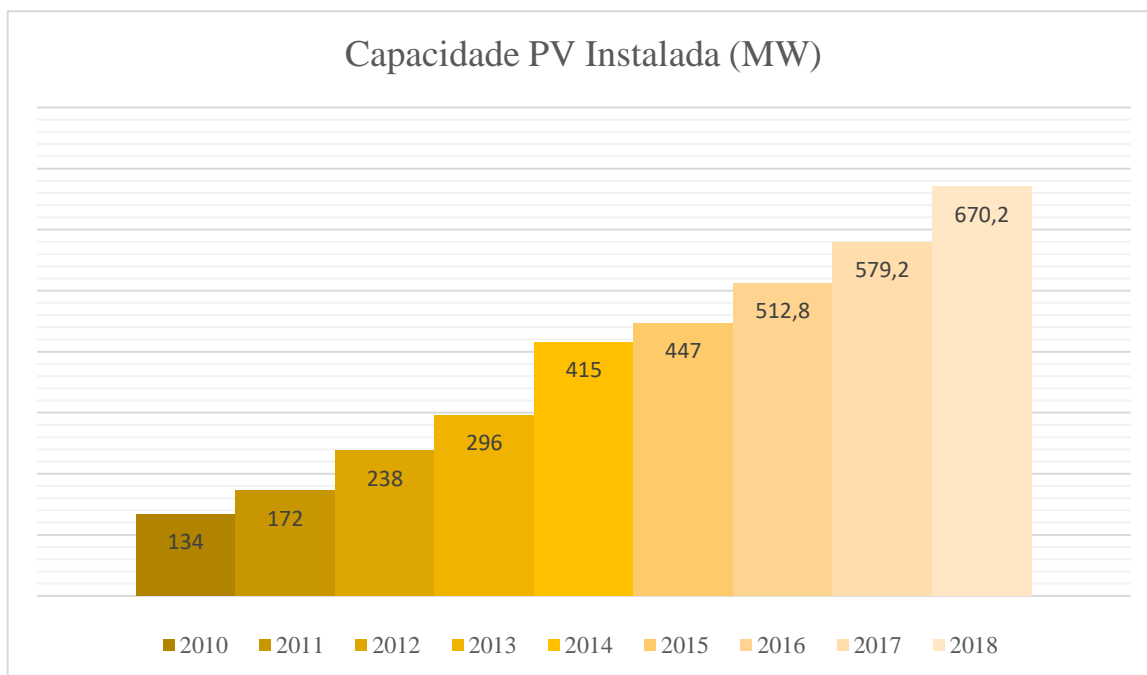
Na Figura 1 estão representadas as quotas globais do mercado fotovoltaico.



**Figura 1 - Distribuição da potência PV instalada a nível mundial, em 2018**

### 2.1.2 PRODUÇÃO À ESCALA NACIONAL

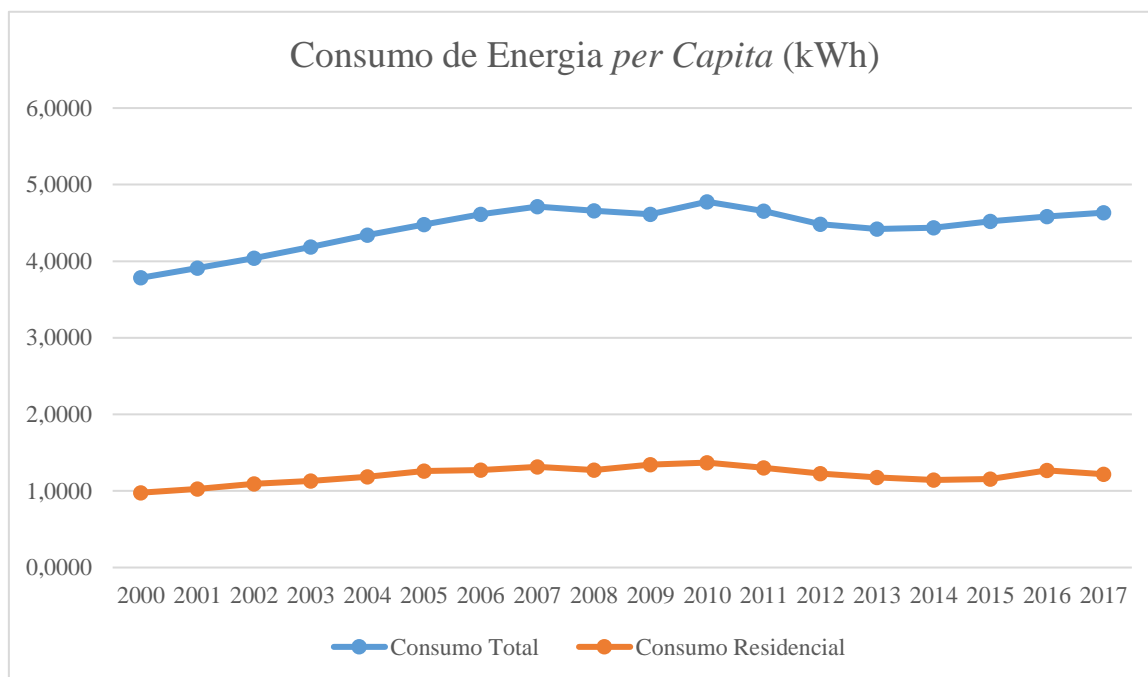
Tendo como base o valor da produção em Portugal dos últimos 12 anos, foi criado um gráfico com os valores instalados de ano para ano, ilustrado na Figura 2. A partir destes dados teremos uma melhor ideia do investimento efetuado em Portugal neste setor. [2]



**Figura 2 - Evolução da capacidade fotovoltaica instalada, em Portugal**

## 2.2 CONSUMO DE ELETRICIDADE EM PORTUGAL

De forma a termos uma melhor noção sobre a evolução do consumo de energia em Portugal, foram utilizados os dados disponibilizados pelo website PORDATA [3]. Estes dados foram utilizados para a construção do gráfico representado na Figura 3:



**Figura 3 - Consumo de Energia *per Capita* (kWh)**

Podemos verificar que a evolução do consumo total de energia elétrica em Portugal teve um crescimento até 2007, verificando-se uma instabilidade no seu crescimento desde esse ano até 2014. Esta instabilidade fica a dever-se à situação económica mundial e posteriormente à situação económica portuguesa. Desde o ano 2014 tem-se verificado uma subida crescente, apesar de esta ser menos acentuada do que em anos anteriores (entre 2000 e 2007).

No mesmo gráfico também se pode ver o consumo doméstico, que apresenta uma tendência de descida desde 2010.

## **2.3 TIPOS DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS**

### **2.3.1 PEQUENA PRODUÇÃO**

Segundo a nova legislação relativa à produção de energia distribuída, para além do regime de Autoconsumo, estabelece-se também a produção de energia em regime de Pequena Produção (PP), conhecida anteriormente à nova legislação por Microprodução.

#### **2.3.1.1 UPP (UNIDADE DE PEQUENA PRODUÇÃO)**

As unidades de pequena produção (UPP) são unidades de produção com uma potência de ligação igual ou inferior a 250kW. Estes sistemas injetam toda a energia que produzem a partir de fontes renováveis, na rede elétrica de serviço público (RESP).

Qualquer pessoa, grupo de pessoas ou entidade podem instalar um sistema de pequena produção, desde que possuam um contrato de compra de eletricidade celebrado com um comercializador. Para além disto, entidades terceiras como empresas de serviços energéticos, podem, quando autorizadas pelo titular da instalação de consumo e após acordo contratual, instalar uma unidade de pequena produção no respetivo local.

#### **2.3.1.2 CONDIÇÕES DE ACESSO**

A potência máxima de instalação terá de ser menor ou igual a 100% da potência contratada e não pode ser superior a 250kW. Para além disto, é necessário que a energia consumida na instalação seja igual ou superior a 50% da energia produzida pela respetiva unidade de pequena produção. O cumprimento desta condição é feito tomando como referência a relação entre a energia produzida e consumida no anterior, no caso de instalações em funcionamento há mais de um ano. Para instalações que funcionam há menos de um ano é feita uma previsão anual de produção e de consumo de energia.

De momento a lei não permite explorar mais do que uma fonte de energia renovável a partir de uma tecnologia de produção. Cada UPP com uma potência instalada superior a 1.5 kW está sujeita a inspeções periódicas, nomeadamente a cada 10 anos, sendo que o valor da taxa a pagar é 20% do valor aplicável ao registo. De notar que não é permitido consumir a energia proveniente da central de produção, sendo que toda a produção é vendida e injetada na rede.

Quem pretende consumir a sua própria energia e se pretender, vender o excedente de produção ao comercializador, deve optar por uma opção de autoconsumo.

### **2.3.1.3 REGISTO E OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DE EXPLORAÇÃO DA UPP**

Pode aceder ao registo através do Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção (SERUP). O serviço está disponível a partir do dia 9 de março de 2015. A partir da data da validação automática da inscrição tem 10 dias úteis para efetuar o pagamento da taxa de registo consoante a potência instalada da unidade de pequena produção:

- I - Com potência instalada até 1,5 kW: 30 € + IVA
- II - Com potência instalada de 1,5 kW a 5 kW: 100 € + IVA
- III - Com potência instalada de 5 kW a 100 kW: 250 € + IVA
- IV - Com potência instalada de 100 kW a 250 kW: 500 € + IVA

Para instalações de categoria BB com ligação da instalação de consumo e o respetivo contador em baixa tensão tem 8 meses contados desde a data de aceitação do registo para solicitar a inspeção da unidade de pequena produção ou 12 meses para as demais instalações. A inspeção realiza-se no prazo máximo de 10 dias após a apresentação do respetivo pedido. Depois do parecer favorável da inspeção e a emissão do certificado de exploração, o produtor e o comercializador de último recurso (CUR) são imediatamente notificados, através do SERUP, com vista à conclusão do contrato de compra e venda da eletricidade. O produtor adere ao contrato de compra e venda de eletricidade, no prazo máximo de 5 dias. Depois, o CUR dá conhecimento ao SERUP da conclusão do contrato de compra e venda, no prazo de 10 dias. Após a comunicação de celebração do contrato de compra e venda, o SERUP avisa o operador da rede (ORD) para proceder à ligação da UPP à RESP. A ligação da UPP tem de ser feita no prazo máximo de 10 dias após o aviso do SERUP.

### **2.3.1.4 TARIFA DE VENDA DOS DIFERENTES TIPOS DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS**

A tarifa para a energia elétrica ativa produzida pela UPP é remunerada pela tarifa atribuída com base num modelo de licitação, no qual os concorrentes oferecem descontos à tarifa base. A tarifa a atribuir corresponde ao valor mais alto que resulte das maiores ofertas de desconto à tarifa de referência, apurado para cada uma das categorias seguintes:

**Categoria I** - Na qual se insere o produtor que pretende proceder apenas à instalação de uma UPP.

**Categoria II** - Na qual se insere o produtor que pretende instalar no local de consumo associado uma tomada elétrica para o carregamento de veículos elétricos, ou seja, proprietário ou locatário de um veículo elétrico.

**Categoria III** - Na qual se insere o produtor que pretende instalar no local de consumo coletores solares térmicos com um mínimo de 2m<sup>2</sup> de área útil ou de caldeira a biomassa com produção anual de energia térmica equivalente.

A tarifa de referência é estabelecida mediante portaria da DGEG até 15 de dezembro de cada ano. Em 2015 é de 95€/MWh (0,095€/kWh). À tarifa base acresce o montante de 10€/MWh (0,01€/kWh) na categoria II e 5€/MWh (0,005€/kWh) na categoria III.

A tarifa de referência varia consoante o tipo de energia primária utilizada das seguintes percentagens:

Solar – 100%

Biogás e biomassa – 90%

Eólico – 70%

Hídrica – 60% da tarifa de referência.

A eletricidade vendida é limitada a 2,6MWh/ano no caso das fontes de energia solar e eólica, e a 5 MWh/ano no caso das restantes fontes de energia.

Existe também uma quota anual de potência atribuída. Esta é feita mediante despacho até 31 de dezembro de cada ano. A quota anual não pode ser superior a 20MW. A quota de potência destinada às UPP em 2015 é de 15MW. A atribuição de potência é realizada mensalmente no último dia útil de cada mês, no período compreendido entre março e novembro, até aos seguintes

- | seguintes           | limites  | mensais: |
|---------------------|--|----------|
| - Março:            | categoria 1 - 1,6MW, categoria II - 1,5MW, categoria III - 1,5MW |          |
| - Abril a Novembro: | categoria 1 - 0,5MW, categoria II - 0,4MW, categoria III - 0,4MW |          |

### **2.3.1.5 CONTAGEM, REMUNERAÇÃO E DURAÇÃO DA PRODUÇÃO**

A contagem do que é produzido será feita mediante um contador de produção independente do contador da instalação do consumo. No caso de clientes de eletricidade em baixa ou média tensão com contagem em baixa tensão, o contador de produção pode ser instalado em baixa tensão. Para clientes de média tensão com contagem em média tensão, o contador de produção terá de ser instalado em média tensão.

Quanto à faturação, esta é processada pelo comercializador de último recurso (CUR), nos termos do n.º 11 do artigo 36º do Código do IVA, sem necessidade de acordo escrito do produtor. No caso de pessoas singulares que não disponham de contabilidade organizada, o pagamento é feito diretamente ao produtor, mediante transferência bancária, com periodicidade mensal ou superior.

O contrato vigora durante 15 anos e a remuneração é constante. Os produtores não podem optar por aderir a outro regime remuneratório durante o prazo de vigência da respetiva tarifa. No final deste período a aplicação do regime remuneratório bonificado caduca, ingressando o produtor no regime remuneratório geral. [4] [5]

## **2.3.2 AUTOCONSUMO**

Atualmente, o autoconsumo é um investimento seguro e economicamente muito rentável, pois a rentabilidade é garantida pelo alto preço da eletricidade que o consumidor deixa de pagar à rede pública, apenas usando a energia grátis fornecida pelo Sol. Nos últimos anos, os custos da energia fotovoltaica baixaram de forma significativa. Atualmente um sistema fotovoltaico tem uma vida útil de pelo menos 25 anos. Considerando o aumento constante que se verifica no custo da energia, o autoconsumo é já hoje a melhor solução para diminuir consideravelmente a fatura energética. Quando consideramos a instalação de um sistema PV temos 2 opções:

- Autoconsumo direto, com injeção na rede
- Autoconsumo isolado, com baterias

### **2.3.2.1 AUTOCONSUMO DIRETO, COM INJEÇÃO NA REDE**

Trata-se de uma instalação de um sistema fotovoltaico que está interligada com a rede pública, usando em ambas as fontes de energia, solar e pública.

Durante o dia, a energia produzida é consumida de forma instantânea. No caso de haver excedente, ou seja, quando a energia produzida pelos painéis é suficiente para suprimir as necessidades energéticas do edifício, a energia é injetada na rede. Durante a noite o sistema fotovoltaico não produz energia e a energia é retirada apenas da rede. Esta solução de autoconsumo direto permite poupar na fatura da luz centenas de euros por ano durante os cerca de 25 anos úteis de vida do sistema.

### **2.3.2.2 AUTOCONSUMO ISOLADO, COM BATERIAS**

Esta instalação conta com baterias onde são acumulados os excedentes de energia, o que acontece sempre que o nosso sistema PV esteja a gerar mais energia do que a quantidade necessária para as necessidades do edifício. Usando baterias, há um maior aproveitamento da energia solar, visto que a energia não é enviada para a rede, isto traduz-se num aumento

da rentabilidade do sistema. Um inteligente inversor híbrido permite armazenar a energia em excesso não consumida durante o dia e depois utilizar essa energia armazenada durante a noite. Podem ser desenhados sistemas autónomos ou sistemas que contem com o apoio de um gerador ou da rede pública se desejarmos manter o nosso fornecimento com a mesma.

### 2.3.3 AUTOCONSUMO VS. PEQUENA PRODUÇÃO

Na Tabela 2 apresentamos uma comparação entre as duas formas de produção descentralizada de energia eléctrica [4]:

**Tabela 2 - Comparação entre UPAC vs. UPP**

	Autoconsumo (UPAC)	Pequena Produção (UPP)
Atividade de produção e fonte	Produção de energia da fonte renovável pela unidade de produção com ou sem ligação à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) com injeção da energia preferencialmente na instalação de consumo. A existirem excedentes, podem ser injetados na RESP quando aplicável.	Produção de energia da fonte renovável, baseada em uma só tecnologia de produção, e injeção da totalidade da energia eléctrica à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP). A Pequena Produção, mantendo os traços gerais estabelecidos pelos antigos diplomas de mini- e microprodução passa num enquadramento legal único.
Limites da potência	Potência de ligação será menor ou igual a 100% da potência contratada na instalação de consumo. A potência instalada não deve ser superior a duas vezes a potência de ligação.	Potência de ligação será menor ou igual a 100% da potência contratada na instalação de consumo, até uma potência de ligação máxima de 250kW.
Requisitos da produção	Dimensionamento da UPAC por forma a aproximar a eletricidade produzida com a energia consumida. Venda do excedente instantâneo ao Comercializador de Último Recurso (CUR).	Energia consumida na instalação de consumo deve ser igual ou superior a 50% da energia produzida. Venda da totalidade da energia ao Comercializador de Último Recurso (CUR).
Produtor e local de instalação	O consumidor pode instalar uma UPAC por cada instalação eléctrica de utilização e consumir a eletricidade gerada nesta, bem como exportar eventuais excedentes para a RESP. A	Consumidor, condomínio ou entidade terceira devidamente autorizada pelo titular do contrato de fornecimento de eletricidade à instalação de utilização. A Unidade de Produção (UP) é instalada no

	<p>Unidade de Produção (UP) é instalada no mesmo local servido pela instalação de utilização. É permitida a pluralidade de registos de UP em nome do mesmo produtor, desde que cada instalação de utilização só esteja associada a uma única UP.</p>	<p>mesmo local servido pela instalação de utilização. É permitida a pluralidade de registos de UP em nome do mesmo produtor, desde que cada instalação de utilização só esteja associada a uma única UP.</p>
<p><b>Remuneração e compensação</b></p>	<p>A remuneração da UPAC da eletricidade fornecida à RESP é calculada de acordo com a formula:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Renuneração no mês em €</li> <li>- Energia fornecida no mês em kWh</li> <li>- Média aritmética simples do preço de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal no mês em €/kWh</li> </ul> <p>O contrato de venda a celebrar com o CUR tem prazo máximo de 10 anos, renováveis por períodos de 5 anos.</p> <p>As UPAC com potência instalada superior de 1,5kW e ligadas à RESP estão sujeitas ao pagamento de uma compensação mensal fixa nos primeiros 10 anos após a obtenção do certificado de exploração.</p>	<p>Tarifa atribuída com base num modelo de licitação no qual os concorrentes oferecem desconto à tarifa de referência, estabelecida mediante portaria e apurado para cada uma das seguintes categorias:</p> <p>Categoria I: Instalação de apenas uma Unidade de Pequena Produção (UPP)</p> <p>Categoria II: UPP associada no local de consumo com tomada para carregamento de veículos elétricos, ou seja proprietário ou locatário de veículo elétrico.</p> <p>Categoria III: UPP associada no local de consumo com coletor solar térmico de área mínima útil de 2 m<sup>2</sup>.</p> <p>A tarifa a atribuir correspondente ao valor mais alto que resulte das maiores ofertas de desconto à tarifa de referência. A tarifa varia consoante o tipo de energia primária utilizada e vigora por um período de 15 anos desde a data de início de fornecimento de energia elétrica.</p>
<p><b>Contagem</b></p>	<p>Contagem obrigatória da eletricidade produzida e da eletricidade injetada na RESP para uma UPAC ligada à RESP com potência instalada superior de 1,5kW.</p>	<p>Contagem obrigatória da eletricidade injetada na RESP.</p>

A Tabela 3 é representativa do processo de licenciamento. De notar que é obrigatório celebrar um seguro de responsabilidade civil.

**Tabela 3 - Processo de licenciamento**

	Isenção de controlo prévio	Mera comunicação	Registo prévio	Certificado de exploração	Licença de produção	Licença de exploração
UPP			✓	✓		
UPAC $P_{inst} \leq 200W$	✓					
UPAC $P_{inst} > 200W$ e $P_{inst} \leq 1.5 kW$ , ligado à RESP		✓				
UPAC $P_{inst} \leq 1.5 kW$ quando o produtor pretende fornecer energia não consumida à RESP			✓	✓		
UPAC $P_{inst} > 1.5kW$ e $P_{inst} \leq 1 MW$ , ligado à RESP			✓	✓		
UPAC $P_{inst} > 1MW$					✓	✓
UPAC sem ligação à RESP		✓				
UPAC sem ligação à RESP que utiliza fontes de energia renovável e pretende transacionar garantias de origem			✓	✓		

## **2.4 SOLUÇÕES DE MERCADO**

Graças à constante evolução da tecnologia e à produção em massa, o preço de uma instalação fotovoltaica desceu bastante nos últimos anos. Face ao crescente número de instalações de painéis solares feita por clientes domésticos e pequenas empresas torna-se útil, e em alguns casos necessário, que tanto a empresa como os clientes possam ter uma forma de monitorizar a sua instalação.

De seguida será feita a comparação entre duas soluções já disponíveis no mercado que combinam hardware e software, nomeadamente:

- EDP re:dy Solar
- Sense Home Energy Monitor

### **2.4.1 EDP RE:DY SOLAR**

Recentemente a EDP começou a oferecer um serviço de monitorização de energia que permite controlar os consumos energéticos de casa e também a energia produzida pelas suas soluções de microgeração. O serviço EDP RE:DY SOLAR é uma solução conjunta de hardware/software disponível para clientes EDP que possuem painéis instalados pela empresa.

Características do serviço:

- Monitorização da produção de energia solar
  - Quanto está a produzir
  - Quanto aproveitou da produção
  - Qual a redução do seu consumo da rede e quanto está a ganhar
- Controlo e programação sobre 2 equipamentos utilizando os edp re:dy plugs
- Alerta caso o seu sistema solar deixe de produzir
- Ligar e desligar os seus equipamentos onde e quando quiser

Condições de adesão:

- Serviço exclusivo para clientes EDP com contrato de fornecimento de energia com a EDP Comercial, com potência contratada em BTN até 41,4 kVA.
- É necessário ter ligação à internet fixa no local a instalar e o router de internet deve ainda ter uma porta de rede LAN disponível, para ligação da edp re:dy box

A solução é composta por 1 edp re:dy box, 2 edp re:dy plug e 1 edp re:dy plug solar. De notar que esta solução está disponível apenas para sistemas solares com até 6 painéis ligados à tomada elétrica. Para instalações com mais painéis, será necessário um EDP re:dy em vez do EDP re:dy plug solar e o *kit* passará a ter um preço inicial de 157€, ao invés de 127€ pelo *kit* EDP re:dy solar.

#### **2.4.2 SENSE HOME ENERGY MONITOR**

Trata-se de uma solução *all-in-one* que nos mostra quanta eletricidade está a ser consumida em real-time e também quanto estamos a poupar. A potência consumida pelos aparelhos em standby também é mostrada. Podemos também seguir o rendimento dos painéis através da aplicação incluída na caixa, ver quanto está a ser produzido e qual a nossa poupança num determinado período à nossa escolha, seja ele diário, mensal ou anual.

A solução *Solar Energy Monitor* está disponível por 349 € e inclui:

- 1 *Sense monitor*
- 2 sensores de corrente

Na Tabela 4 é feita uma comparação entre as características das duas soluções.

**Tabela 4 – Comparativo entre o EDP re:dy solar e *Solar Energy Monitor***

	EDP re:dy:solar	Sense Home Energy Monitor
Sensor de Tensão	✓	✓

Sensor de Corrente	✓	✓
Aplicação Android	✓	✓
Aplicação IOS	✓	✓
Interface Web	✓	✓
Download CSV	✗	✗
Tempo de vida dos dados guardados	?	?
Controlo de Aparelhos Domésticos	✓	✗
<i>Wifi</i>	✗	✓
<i>Ethernet</i>	✓	✗
Custo	127 €	349 €

Algumas das soluções já disponíveis no mercado são bastantes mais complexas e robustas, permitindo além de monitorizar o sistema fotovoltaico, receber alertas na própria página web ou no telemóvel caso haja uma falha no sistema, saber os consumos de energia de toda a casa, ligar ou desligar os equipamentos ou programar a eficiência energética do edifício.



# 3. FERRAMENTAS E COMPONENTES UTILIZADOS



### **3.1 INTRODUÇÃO**

Ao longo deste capítulo serão descritas de forma sucinta, as ferramentas e os componentes utilizados na elaboração deste projeto. O objetivo deste capítulo é a compreensão dos princípios, características, e algumas particularidades, das ferramentas e componentes que serão utilizados no desenvolvimento do projeto.

### **3.2 SOFTWARE UTILIZADO**

Para a implementação da solução de software desenvolvida no âmbito desta tese foram utilizadas ferramentas livres, ou seja, ferramentas que não têm qualquer custo nem licenciamento para o utilizador. Foram usadas as seguintes aplicações e plataformas de *software*: GitHUB, EAGLE, Raspbian, Servidor Apache, software de gestão de base de dados MySQL, linguagem de programação Hypertext Preprocessor (PHP), Javascript e Python, descritas nas subsecções seguintes.

#### **3.2.1 GITHUB**

Para melhor explicar o que é, e para que serve o GitHub, devemos primeiro entender o que é o Git. O Git é um sistema para controlo de versão distribuída. Permite trabalhar numa nova versão sem que a mesma esteja disponível ao público, mantendo sempre uma cronologia bem definida das alterações efetuadas.

O Git permite que se trabalhe sempre no mesmo diretório, possibilitando a realização de alterações ao projeto, gravar documentação e ainda comentários. Por outras palavras, o Git é capaz de gravar tudo o que foi feito. O registo cronológico das versões é muito útil, para que um programador possa voltar à fase anterior, sempre que surja um problema. O trabalho em equipa é outro ponto forte do sistema.

Todas as bibliotecas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho, e que não foram criadas especificamente para o mesmo, são de utilização livre, sem necessidade de qualquer licença, mesmo no que possam ser utilizações comerciais. Estas bibliotecas estão disponíveis no GitHub.

### **3.2.2 EAGLE**

Para além deste software foram consideradas outras ferramentas, como por exemplo o PCBWeb Designer, o ExpressPCB, o Kicad, e o Fritzing. Entre as ferramentas avaliadas, o Eagle é a ferramenta que na sua versão grátis tem mais limitações, que não existem nas restantes aplicações. Apesar deste inconveniente, para a utilização desejada a versão gratuita não ofereceu qualquer entrave. O Eagle foi o software escolhido para o desenvolvimento do esquema, essencialmente devido à existência de muitos tutoriais que explicam o seu funcionamento, e pela disponibilidade de bibliotecas para a maior parte dos componentes.

É possível correr o Eagle em Linux, Windows e MacOS (Computer, 2015). A versão gratuita do software utilizado (versão 9.5.0) pode ser descarregado em: <https://www.autodesk.com/products/eagle/free-download>.

### **3.2.3 RASPBIAN**

Raspbian é um sistema operativo grátis, baseado em Debian e otimizado para ser utilizado no Raspberry Pi. Raspbian não é um simples sistema operativo, vem com mais de 35000 pacotes e software pré-compilado para que os utilizadores do Pi tenham um vasto conjunto de ferramentas disponíveis. A *build* inicial do Raspbian continha cerca de 35000 pacotes otimizados para obter a melhor performance possível no Pi. Os pacotes de software continuam a ser otimizados com um foco na performance e na estabilidade.

De notar que o Raspbian não foi desenvolvido pela mesma fundação que desenvolveu o Raspberry Pi, mas sim por um grupo de desenvolvedores independentes, fãs dos objetivos educacionais em que se baseia a fundação Raspberry Pi e claro, o projeto Debian. [6]

### **3.2.4 ARDUINO IDE (INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT)**

Arduíno é uma plataforma de prototipagem eletrónica de hardware livre e de placa única, projetada com um microcontrolador Atmel AVR com suporte de entrada/saída embutido, uma linguagem de programação padrão, a qual tem origem em Wiring, e é essencialmente C/C++. O objetivo do projeto é criar ferramentas que são acessíveis, com baixo custo, flexíveis e fáceis de se usar por principiantes e profissionais. Principalmente para aqueles que não teriam alcance aos controladores mais sofisticados e ferramentas mais complicadas.

Pode ser usado para o desenvolvimento de objetos interativos independentes, ou ainda para ser conectado a um computador hospedeiro. Uma típica placa Arduíno é composta por um controlador, algumas linhas de E/S digital e analógica, além de uma interface serial ou USB, para interligar-se ao hospedeiro, que é usado para programá-la e interagi-la em tempo real. A placa em si não possui qualquer recurso de rede, porém é comum combinar um ou mais Arduíno deste modo, usando extensões apropriadas chamadas de *shields*.

### 3.2.5 SERVIDOR APACHE

O servidor Apache (ou Servidor HTTP Apache) é o servidor Web livre mais bem sucedido da história. Foi criado em 1995 por Rob McCool, funcionário do NCSA (National Center for Supercomputing Applications). Segundo dados estatísticos que datam de Maio de 2010, foi constatado que a utilização do Apache representa cerca de 54.68% de todos os servidores ativos na web. É a principal tecnologia da Apache Software Foundation, responsável por mais de uma dezena de projetos envolvendo tecnologias de transmissão via web, processamento de dados e execução de aplicativos distribuídos. O servidor é compatível com o protocolo HTTP versão 1.1. As suas funcionalidades são mantidas através de uma estrutura de módulos, podendo inclusive o utilizador escrever os seus próprios módulos utilizando a API do software. É disponibilizado em versões para os sistemas operativos Windows, Novell Netware, OS/2 e outros do padrão POSIX (Unix, Linux, FreeBSD, etc). Principais características:

- Possui suporte a scripts cgi usando linguagens como Perl, PHP, Shell Script, ASP, etc;
- Suporte a autorização de acesso podendo ser especificadas restrições de acesso separadamente para cada endereço/arquivo/diretório no servidor;
- Autenticação requerendo um nome de utilizador e senha válidos para acesso a alguma página/subdiretório/arquivo;
- Negociação de conteúdo, permitindo a exibição da página Web no idioma requisitado pelo Cliente Navegador;
- Suporte a tipos mime;

- Personalização de logs;
- Mensagens de erro;
- Suporte a virtual hosting (é possível servir 2 ou mais páginas com endereços/ portas diferentes através do mesmo processo ou usar mais de um processo para controlar mais de um endereço);
- Suporte a IP virtual hosting;
- Suporte a name virtual hosting;
- Suporte a servidor Proxy ftp e http, com limite de acesso, caching (todas flexivelmente configuráveis);
- Suporte a proxy e redirecionamentos baseados em URLs para endereços Internos;
- Suporte a criptografia via SSL, Certificados digitais;
- Módulos DSO (Dynamic Shared Objects) permitem adicionar/remover funcionalidades e recursos sem necessidade de recompilação do programa. [7]

### 3.2.6 BOOTSTRAP

O Bootstrap é um framework front-end pensado para desenvolvimento de páginas e aplicações web. O software é *open-source* (disponível no Git Hub), baseado na tecnologia web HTML5 e possui imensos *templates* disponibilizados pela comunidade que desenvolve continuamente o projeto.

Bootstrap é modular e consiste de uma série de estilos LESS que implementam os vários componentes do kit de ferramentas. Estas folhas são geralmente compiladas num pacote e incluídas em páginas web, mas os componentes individuais podem ser incluídos ou removidos.

A partir do Bootstrap, versão utilizada neste projeto, Sass é usado em vez do LESS para as folhas de estilo.

Cada inicialização do componente consiste numa estrutura HTML, declarações CSS, e, em alguns casos, acompanhada de código de JavaScript. O Bootstrap oferece um conjunto de

folhas de estilo que faculta as definições de estilo para todos os principais componentes HTML. Estes fornecem uma aparência moderna para a formatação de texto, tabelas e elementos de formulário.

Além de regular os elementos do HTML, o Bootstrap contém outros elementos de interface comumente utilizados. Os componentes são implementados como classes CSS, a qual deve ser aplicada a certos elementos HTML em uma página.

O Bootstrap vem com vários componentes JavaScript no formulário de plugins jQuery. Eles fornecem mais elementos de interface do usuário, tais como caixas de diálogo, dicas e carrosséis. Eles também estendem a funcionalidade de alguns elementos da interface, incluindo, por exemplo, uma função para completar automaticamente campos de entrada. Na versão 1.3, os seguintes plugins JavaScript são suportados: Modal, Dropdown, Scrollspy, Tab, Tooltip, Popover, Alert, Button, Collapse, Carousel and Typeahead.

### **3.2.7 JAVASCRIPT**

JavaScript é uma linguagem de programação interpretada. Foi originalmente implementada como parte dos navegadores web para que os scripts pudessem ser executados do lado do cliente e interagissem com o utilizador sem a necessidade deste script passar pelo servidor, controlando o navegador, realizando comunicação assíncrona e alterando o conteúdo do documento exibido.

É atualmente a principal linguagem para programação *client-side* em navegadores web. Começa também a ser bastante utilizada do lado do servidor através de ambientes como o *node.js*. Foi concebida para ser uma linguagem script com orientação a objetos baseada em protótipos, tipagem fraca e dinâmica e funções de primeira classe. Possui suporte à programação funcional e apresenta recursos como fechamentos e funções de alta ordem comumente indisponíveis em linguagens populares como Java e C++. [8]

### **3.2.8 CHARTJS**

Hoje em dia, criar gráficos do zero é uma missão complicada, pois além de ter que escrever todo o Javascript também temos de pensar no design responsivo, felizmente temos bibliotecas que facilitam o nosso trabalho.

O *Chart.js* é uma biblioteca muito utilizada pela comunidade, muito fácil de usar, mesmo que não tenha conhecimentos avançados de Javascript é possível criar gráficos bons, bonitos e responsivos.

### 3.2.9 MYSQL

O MySQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), que utiliza a linguagem SQL (Structured Query Language) como interface. É atualmente uma das bases de dados mais populares, com mais de 10 milhões de instalações por todo o mundo. O sucesso do MySQL deve-se em grande medida à fácil integração com o PHP incluído, quase que obrigatoriamente, nos pacotes de hospedagem de sites da Internet oferecidos atualmente. Empresas como Yahoo! Finance, MP3.com, Motorola, NASA, Silicon Graphics e Texas Instruments usam o MySQL em aplicações de missão crítica. A vantagem do MySQL é ter código aberto e funcionar num grande número de sistemas operativos: Windows, Linux, FreeBSD, BSDI, Solaris, Mac OS X, SunOS, SGI, etc. As principais características estão enumeradas a seguir:

- Portabilidade (suporta praticamente qualquer plataforma actual)
- Compatibilidade (existem drivers ODBC, JDBC e NET e módulos de interface para diversas linguagens de programação, como Delphi, Java, C/C++, Python, Perl, PHP, ASP e Ruby)
- Excelente desempenho e estabilidade;
- Pouco exigente quanto a recursos de *hardware*;
- Facilidade de uso;
- É um Software Livre com base na GPL;
- Pode utilizar vários Storage Engines como MyISAM, InnoDB, Falcon, BDB, Archive, Federated, CSV, Solid;
- Suporta controlo transaccional;
- Suporta Triggers;

- Suporta Cursors (Non-Scrollable e Non-Updatable)
- Suporta Stored Procedures e Functions;
- Replicação facilmente configurável;
- Interfaces gráficas (MySQL Toolkit) de fácil utilização cedidos pela MySQL Inc. [9]

### **3.2.10 PHP**

O PHP (um acrónimo recursivo para "PHP: Hypertext Preprocessor") é uma linguagem de programação de computadores interpretada, livre e muito utilizada para gerar conteúdo dinâmico na World Wide Web. O PHP é uma linguagem poderosa orientada a objetos. Trata-se de uma linguagem extremamente modularizada, o que a torna ideal para instalação e uso em servidores web. Diversos módulos são criados no repositório de extensões PECL (PHP Extension Community Library) e alguns destes módulos são introduzidos como padrão em novas versões da linguagem. É muito parecida, em tipos de dados, sintaxe e mesmo funções, com a linguagem C e com a C++ dependendo da configuração do servidor. Existem versões do PHP disponíveis para os seguintes sistemas operativos: Windows, Linux, FreeBSD, Mac OS, OS/2, AS/400, Novell Netware, RISC OS, IRIX e Solaris. Construir uma página dinâmica baseada em BD é simples com o PHP, pois suporta um grande número de BD. As principais características são:

- Velocidade e robustez;
- Estruturado e orientado a objetos;
- Portabilidade - independência de plataforma - escreva uma vez, execute em qualquer lugar;
- Sintaxe similar a Linguagem C/C++ e o PERL. [10]

### 3.2.11 PYTHON

Python é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada, de script, imperativa, orientada a objetos. Foi lançada por Guido van Rossum em 1991. Atualmente possui um modelo de desenvolvimento comunitário, aberto e gerenciado pela organização sem fins lucrativos Python Software Foundation. Apesar de várias partes da linguagem possuírem padrões e especificações formais, a linguagem como um todo não é formalmente especificada. O padrão de facto é a implementação CPython.

A linguagem foi projetada com a filosofia de enfatizar a importância do esforço do programador sobre o esforço computacional. Prioriza a legibilidade do código sobre a velocidade ou expressividade. Combina uma sintaxe concisa e clara com os recursos poderosos de sua biblioteca padrão e por módulos e *frameworks* desenvolvidos por terceiros.

Python é uma linguagem de propósito geral de alto nível, multi paradigma, suporta o paradigma orientado a objetos, imperativo, funcional e procedural. Possui tipagem dinâmica e uma de suas principais características é permitir a fácil leitura do código e exigir poucas linhas de código se comparado ao mesmo programa em outras linguagens. Devido às suas características, ela é principalmente utilizada para processamento de textos, dados científicos e criação de CGIs para páginas dinâmicas para a web. [11]

### 3.3 HARDWARE UTILIZADO

Abaixo está uma lista do hardware utilizado no desenvolvimento do projeto:

- 8 x Painel solar Renesola JC245M-24/Bbv Virtus Module
- Sensor de corrente SCT-013-030 Non-Invasive AC Current Sensor
- Sensor de tensão ZMPT101B
- Sensor de Temperatura DHT22
- Arduíno UNO

- Raspberry PI 3 Model B (Cartão SD de 8GB)
- Inversor Sunny Boy 1300TL/1600TL/2100TL

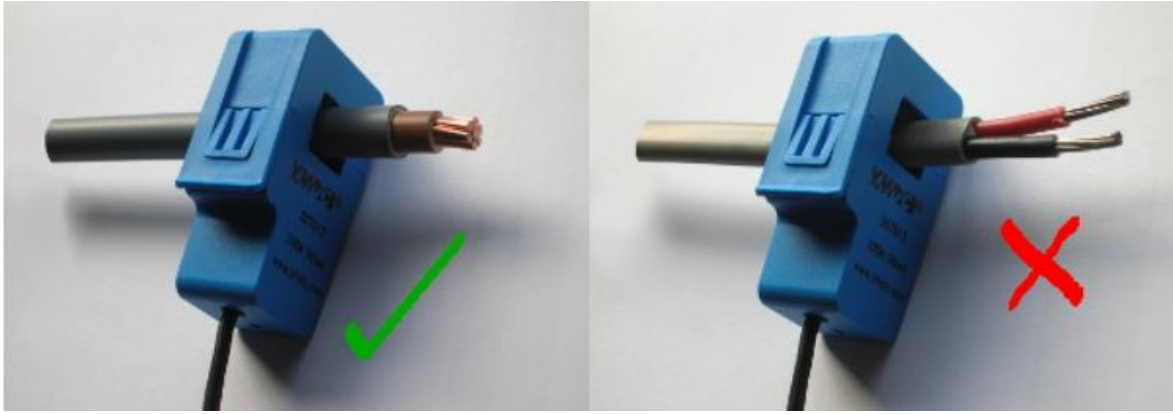
### **3.3.1 PAINEL SOLAR RENESOLA JC245M-24/BBV VIRTUS MODULE**

O sistema fotovoltaico conta com um total de 8 painéis fotovoltaicos, com uma potência máxima de output de 250W por cada painel, perfazendo um total de 2kW. No Anexo E são apresentadas as especificações dos painéis utilizados, o Renesola JC245M-24. [12]

### **3.3.2 SCT-013-030 SENSOR DE CORRENTE AC NÃO - INVASIVO**

De forma a ler os valores da corrente à saída do inversor foi colocado um sensor de corrente que pode medir até 30 A. O sensor de corrente é não invasivo, sendo que não é necessário colocá-lo em contacto direto com os fios condutores, este funciona como uma pinça e basta apenas abrir o sensor e fazer com que o fio passe no seu interior. No Anexo D estão detalhadas as especificações do sensor SCT-013-030. [13]

O enrolamento primário do sensor é o fio que conduz a corrente que queremos medir. Se colocarmos o sensor à volta de um cabo, que habitualmente tem 3 fios no seu interior (Positivo, Neutro e Terra), dado que a mesma corrente circula nos 3 cabos, mas em sentidos opostos, o valor lido será 0. Isto acontece porque os campos magnéticos criados pela corrente se anulam, dado que têm a mesma intensidade, mas sentidos opostos. O sensor deve envolver apenas o cabo castanho (Positivo).



**Figura 4 - Modo correto de instalação do sensor de corrente**

### **3.3.3 SENSOR DE TENSÃO ZMPT101B**

O Sensor de Tensão AC 0 a 250V Voltímetro ZMPT101B é um módulo de alta precisão que tem como finalidade detetar a existência de tensão alternada num circuito ou fazer a medição do valor de tensão. Este sensor irá funcionar fundamentalmente como um multímetro. No início do projeto não foi considerado o uso deste tipo de sensor, sendo que a tensão de saída do inversor seria considerada fixa a 230 V. Como na prática o valor pode flutuar bastante tornou-se imperativo o uso deste sensor em conjunto com o sensor de corrente para termos um valor mais fidedigno da potência gerada/consumida.

No Anexo F estão detalhadas as especificações do sensor. [14]

### **3.3.4 RELÉ SRD-12VDC-SL-C**

Nos dias de hoje, a maior parte dos dispositivos elétricos possuem um ou mais relés. Os relés são componentes eletromecânicos capazes de controlar circuitos externos de grandes correntes a partir de pequenas correntes ou tensões, ou seja, acionando um relé com um microcontrolador como o Arduíno podemos controlar um motor que esteja ligado a uma tensão alternada de 220 volts.

No que toca a este projeto foi utilizado um módulo com 4 relés SRD-12VDC-SL-C para controlar (ligar ou desligar) as 4 cargas consideradas.



**Figura 5 – Módulo com 4 relés SRD-12VDC-SL-C**

Caso adquiríssemos apenas o relé SRD-12VDC-SL-C, seria necessário adquirir outros componentes de forma a termos uma implementação funcional como resistências, um optoacoplador (EL817C), um transistor PNP (S8550) e um diodo, para atenuar o efeito *snubber*. O módulo utilizado já tem todos estes componentes, ou similares, incorporados.

Seguem-se algumas das características do relé SRD-12VDC-SL-C:

- Tensão de operação: 3.3V a 5V
- Corrente de operação: 15 ~20 mA
- Capacidade do relé: 10A/250V

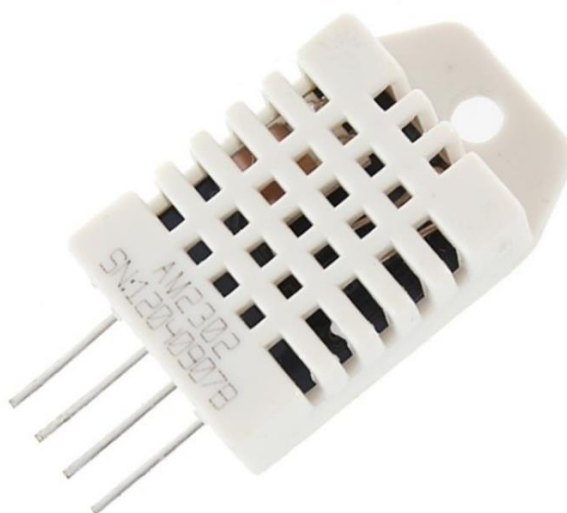
Para uma informação mais completa, as especificações técnicas encontram-se no Anexo G.

### **3.3.5 SENSOR DE TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA DHT22**

De forma a controlarmos as cargas consideradas através da aplicação, considerou-se imperativo realizar a medição dos valores de temperatura e de humidade relativa em diversos setores da área residencial. Depois de feita uma pesquisa sobre quais os potenciais sensores a utilizar neste tipo de medição destacaram-se 2, o DHT11 e o DHT22. Geralmente são estes os sensores considerados no que toca a projetos que tenham por base o Arduino. Ambos os sensores oferecem uma saída digital para facilmente se conectarem a um microcontrolador. Sendo que o DHT22 oferece, segundo a sua especificação, uma maior precisão e um maior alcance de valores de temperatura que possam ser medidos, optamos por usar este sensor.

Algumas das suas características são:

- Dimensões reduzidas
- Baixo consumo
- Transmissão de sinal até 20 metros
- Estabilidade durante longos períodos
- Possui um microcontrolador de 8 bits
- Sinal de saída digital, em barramento único



**Figura 6 - Sensor de temperatura e humidade relativa - DHT22**

As suas especificações encontram-se detalhadas na Figura 7.

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +/-2%RH(Max +/-5%RH); temperature <+/-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +/-1%RH; temperature +/-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+/-0.3%RH
Long-term Stability	+/-0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

**Figura 7 - Especificações técnicas do sensor DHT22**

O DHT22 pode ser alimentado com 5V e 3.3V, apesar de que o fabricante recomenda uma alimentação de 5V.

No que toca à aquisição de dados, devemos respeitar um intervalo de pelo menos 2 segundos entre leituras para evitarmos falhas na comunicação. Esta limitação prende-se com o facto de existirem certas limitações a nível do protocolo de comunicações utilizado, o SDA (*Serial Data*). No código implementado neste projeto são efetuadas leituras dos valores de temperatura e humidade a cada 15 segundos, sendo que a limitação não constituiu um problema. Outra limitação com o sensor DHT22 é que conectando-o ao Arduíno utilizando uma tensão de 3.3V o comprimento máximo do cabo para que não haja perda de comunicação será apenas de 1 metro, e não de 20 metros como permitido através da utilização de 5V. Na Tabela 5 é apresentada a descrição dos pinos de ligação para o sensor DHT22.

**Tabela 5 - Descrição dos pinos de conexão para o DHT22**

Pino	Nome	Descrição
1	VCC	Tensão (3.3V-6V)
2	SDA	Porta de dados série bidirecional
3	NC	Não utilizado
4	GND	Massa

### 3.3.6 ARDUINO UNO REV3

Arduíno é uma plataforma de prototipagem eletrónica de hardware livre e de placa única, projetada com um microcontrolador Atmel AVR com suporte de entrada/saída embutido, uma linguagem de programação padrão, a qual tem origem em *Wiring*, e é essencialmente C/C++. O objetivo do projeto é criar ferramentas que são acessíveis, com baixo custo, flexíveis e fáceis de se usar por principiantes e profissionais. Principalmente para aqueles que não teriam alcance aos controladores mais sofisticados e ferramentas mais complicadas.

Pode ser usado para o desenvolvimento de objetos interativos independentes, ou ainda para ser conectado a um computador hospedeiro. Uma típica placa Arduino é composta por um controlador, algumas linhas de E/S digital e analógica, além de uma interface serial ou USB, para interligar-se ao hospedeiro, que é usado para programá-la e interagi-la em tempo real. A placa em si não possui qualquer recurso de rede, porém é comum combinar um ou mais Arduíno deste modo, usando extensões apropriadas chamadas de *shields*.

O microcontrolador utilizado neste projeto foi o Arduíno UNO Rev3. As suas especificações técnicas estão detalhadas na Figura 8 . [15]

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

**Figura 8 - Especificações técnicas do Arduíno UNO Rev3**

### **3.3.7 RASPBERRY PI**

Raspberry Pi é uma série de computadores de placa única do tamanho reduzido, que se conecta a um monitor de computador ou TV, e usa um teclado e um mouse padrão, desenvolvido no Reino Unido pela Fundação Raspberry Pi. Todo o hardware é integrado numa única placa. O principal objetivo é promover o ensino em Ciência da Computação básica em escolas, inclusão e empoderamento social, sendo multiplataforma, considerando as mais consagradas marcas de videogames do mundo é também como parte deste processo uma excelente plataforma, tanto para a indústria quanto para as casas inteligentes e os IOT - Internet das Coisas.

Abaixo encontram-se as especificações técnicas para o Raspberry Pi 2 B+: [16]

- *Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz*
- *1GB LPDDR2 SDRAM*
- *2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE*
- *Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300 Mbps)*
- *Extended 40-pin GPIO header*
- *Full-size HDMI*
- *USB 2.0 ports*
- *CSI camera port for connecting a Raspberry Pi camera*
- *DSI display port for connecting a Raspberry Pi touchscreen display*
- *4-pole stereo output and composite video port*
- *Micro SD port for loading your operating system and storing data*
- *5V/2.5A DC power input*
- *Power-over-Ethernet (PoE) support (requires separate PoE HAT)*

### **3.3.8 INVERSOR SUNNY BOY (SB 2100TL)**

As especificações técnicas encontram-se detalhadas no Anexo C. [17]



# 4. DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE E TESTES EFETUADOS



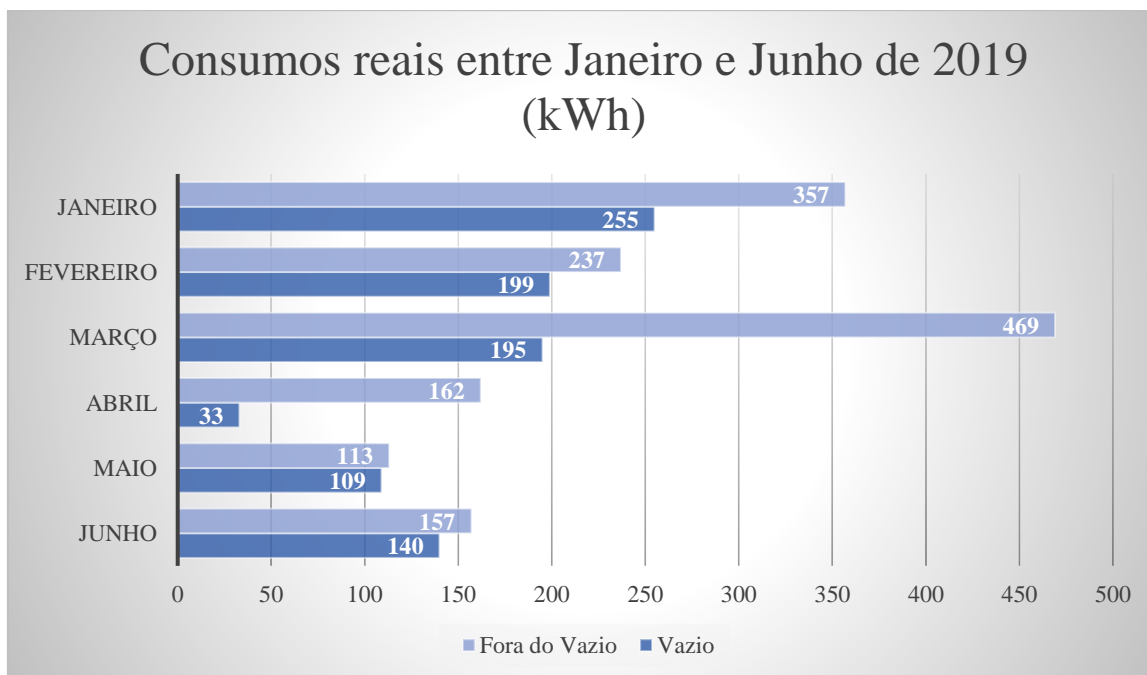
## **4.1 CASO DE ESTUDO**

O desenvolvimento desta ferramenta de medição de consumo e de controlo de cargas foi projetado para uso real numa habitação localizada no concelho de Braga, com latitude 41° 31'23.686" Norte e longitude 8°27'13.827" Oeste. Esta habitação tem paredes em alvenaria de tijolo furado revestidas exteriormente a ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*), estrutura em betão armado e as janelas são em alumínio de vidro duplo. A habitação possui dois andares, sendo que o rés do chão é utilizado para local de trabalho, e o 2º andar é usado como zona de habitação. Existe ainda uma zona de anexos e também uma zona de quintal.

Em termos de contrato de energia, está instalada uma potência contratada de 13.8 kVA, em BTN, com uma tarifa bi-horária, em ciclo semanal. A habitação possui um sistema fotovoltaico de 2kW, constituído por 8 painéis de 245 Watts, conectado a um inversor responsável pela conversão da energia contínua gerada pelos painéis em energia alternada, que é injetada no circuito elétrico da habitação. Desde 2014, data de aquisição do sistema fotovoltaico, os hábitos de consumo de energia foram sendo adaptados para rentabilizar ao máximo a energia solar em conjunto com a tarifa bi-horária.

### **4.1.1 DISTRIBUIÇÃO DE CONSUMOS**

Para uma análise da distribuição de consumos mensais durante o ano, foram considerados os consumos mensais reais dos últimos 8 meses, desde janeiro até agosto de 2019. O consumo anual, assim como as médias mensais e diárias estão representadas no gráfico da Figura 9:



**Figura 9 - Faturação energética nos últimos 7 meses**

Podemos concluir que na época de verão e de inverno o consumo de energia é maior, sendo menor na época da primavera e outono. Isto prende-se com o facto de no verão, alguma da energia extra consumida, é gasta no esforço adicional de máquinas de refrigeração como arcas e frigoríficos, assim como no funcionamento de soluções de refrigeração da habitação como ar condicionado. No inverno é gasta bastante energia em soluções de aquecimento, como ar condicionado, aquecedores ou termoventiladores.

## 4.2 DESCRIÇÃO FUNCIONAL DO SISTEMA

No começo procurei saber quais as melhores soluções para criar este tipo de projeto e deparei-me com 2 formas de o fazer. A primeira seria utilizar o Arduino tanto para ler os valores analógicos de tensão e corrente como para criar a base de dados e depois utilizar o Raspberry PI para ler a base de dados e criar a página web. Para isto seria necessário adicionar uma placa Arduino Ethernet Shield, visto que o Arduino não vem por defeito com uma saída de rede. Para além disto foi necessário instalar um cartão mini-SD no Ethernet Shield. Com esta solução tive dois problemas, por alguma razão relacionada com o cartão mini-SD ou com o Ethernet Shield, não consegui criar a base de dados no cartão, e o segundo problema, apesar de secundário, mas não menos importante, foi o custo. Visto que esta

solução necessita de um componente extra (Ethernet Shield), ainda um pouco caro, abandonei esta solução e decidi fazer o projeto com a 2ª opção.

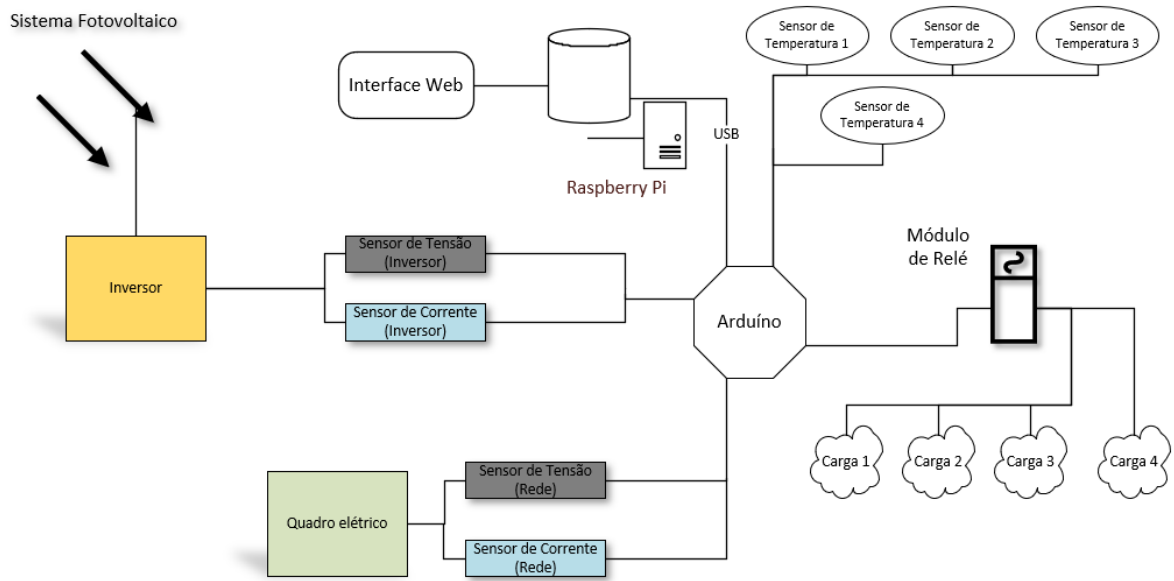
A 2ª solução utiliza apenas o Arduíno Uno e o Raspberry PI. O Arduíno envia os valores necessários para o Raspberry PI, que cria a base de dados e posteriormente a página web. O Raspberry PI age essencialmente como um servidor e sempre que queiramos aceder à página de monitorização o PI corre múltiplos ficheiros PHP, que apresentará depois a informação presente na página. Comparativamente com a 1ª solução, esta é mais barata e mais simples de implementar, visto que a base de dados se encontra no cartão SD do Raspberry PI.

Como já foi referenciado, o sistema de monitorização tem uma componente de Hardware e de Software. De forma a medirmos a corrente e tensão elétrica à saída do inversor, que será injetada na rede, utilizamos um sensor de corrente e de tensão. Estes sensores são depois ligados às entradas ADC (conversor analógico digital) do Arduíno Uno. O mesmo procedimento é feito para a medição do valor de potência consumida pela habitação.

Para além disto foram colocados sensores de temperatura e humidade relativa em diferentes zonas da habitação. Estes sensores enviam a informação para o Arduíno que através de um algoritmo se encarrega de controlar as cargas tendo em conta outros fatores definidos pelo utilizador, como tarifa horária, temperatura limite para ligar/desligar as cargas e produção fotovoltaica.

O Arduíno foi programado para receber e tratar os dados, e enviá-los pela porta USB. De seguida o Raspberry Pi recebe esses mesmos dados e cria uma base de dados com os valores recebidos, valores que são depois utilizados para construir os gráficos e todas as outras informações presentes na interface web.

Na Figura 10 encontra-se representado o esquema funcional simplificado do sistema de monitorização.



**Figura 10 - Representação do sistema de monitorização**

### 4.3 DIAGRAMA ELÉTRICO

Conforme foi já mencionado, o esquema foi desenvolvido com recurso ao *software* Eagle. As bibliotecas relativas aos componentes utilizados estão na sua maioria disponíveis no GitHub, plataforma também já apresentada. Na Figura 11 está apresentado o esquema desenvolvido.

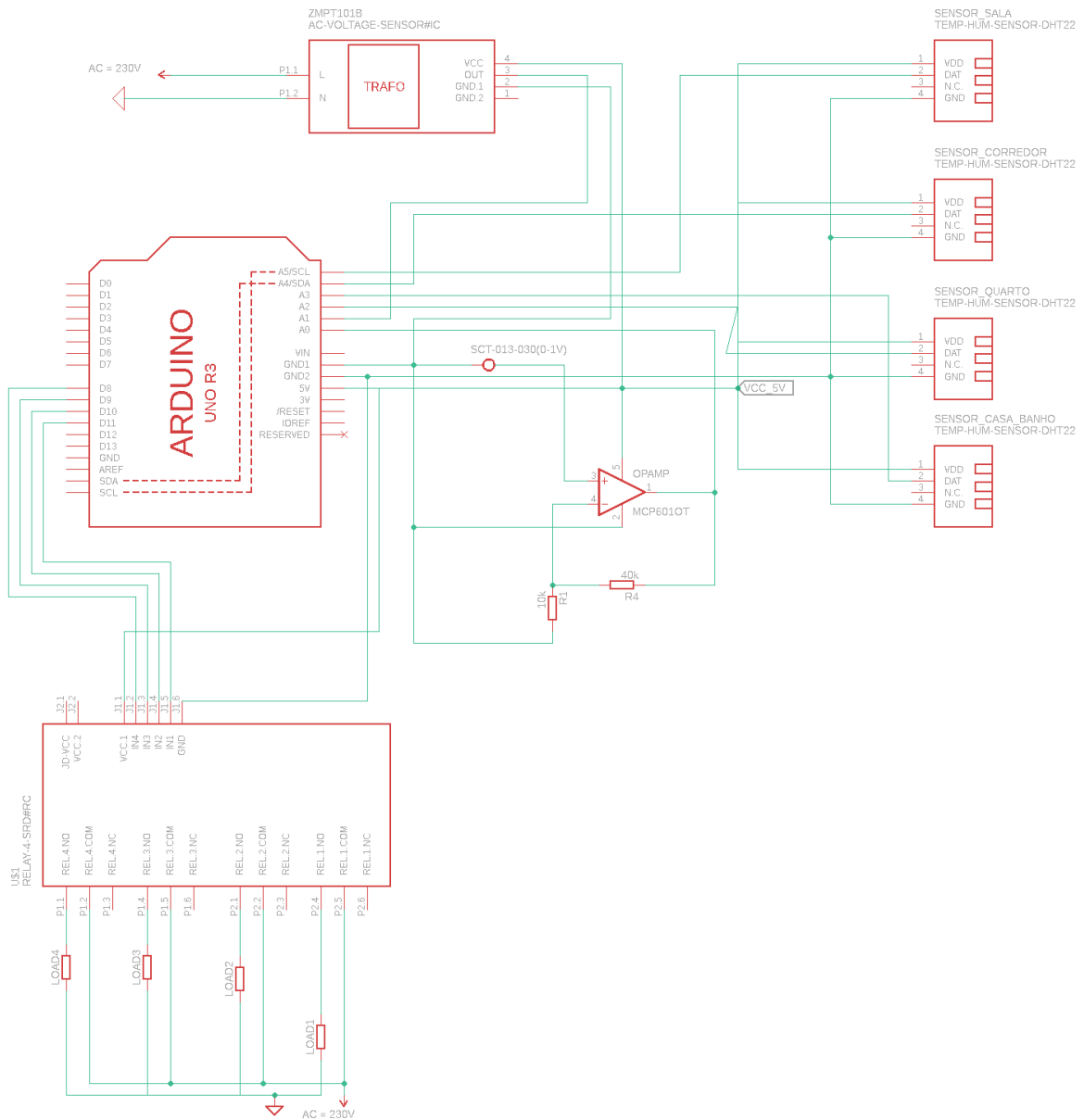


Figura 11 - Esquema de ligação entre os componentes do projeto

#### 4.4 ALGORITMO DE GESTÃO DE CARGAS

O controlo das cargas para efeitos de climatização é feito de forma automática tendo em conta a produção fotovoltaica atual, o ciclo horário do utilizador assim como os valores de temperatura/humidade das zonas de habitação consideradas. Foram também considerados os valores típicos de consumo de outras cargas durante o dia, para um utilizador residencial.

Primeiramente o utilizador deverá introduzir através de um menu disponível na página da interface “Gestão e Controlo de Cargas” um conjunto de informação necessária à programação automática da gestão das cargas como:

- Seleção dos níveis de temperatura e humidade relativa de conforto para a habitação (sala e corredor)
  
- Seleção da temperatura de conforto para a casa de banho

Estes dados de configuração são recolhidos e enviados para o Arduíno através da porta USB. Estes são os dados que serão utilizados para fazer a gestão automática das cargas.

Para controlo da solução de aquecimento/arrefecimento para a sala e o corredor verificamos se a temperatura de conforto já foi atingida. Enquanto a temperatura não for atingida a solução de aquecimento/arrefecimento mantém-se desligada. Em caso positivo verificamos se o utilizador possui bi-horário e caso tal se verifique será considerada a potência atualmente gerada pelos painéis fotovoltaicos. Caso esta seja maior do que, tomando como o limite definido, 1000W, as duas cargas são ligadas. Se a potência PV gerada estiver abaixo do limite imposto é verificada a hora atual e a solução será ligada entre as 3h e 7h da manhã. O aquecimento/arrefecimento não será ativado enquanto não forem cumpridas estas duas condições. No caso de o utilizador possuir uma tarifa simples, cujo preço do kWh é constante durante o dia, as cargas serão ligadas apenas quando a potência PV for maior do que 800 W.

## 4.5 CONDICIONAMENTO DE SINAL

O Arduíno possui um conversor analógico-digital de 10 bits (ADC). Isto possibilita a leitura analógica de tensões de 0 a 5V, e a sua conversão para valores inteiros de 0 a 1023. No caso do Arduíno UNO, esta conversão dá-nos um valor de 0.0049 V (4.9 mV) por unidade:

$$5V/(1024 \text{ unidades}) = 0.0049 \text{ V/unidade} \quad (1)$$

Para efetuar a leitura do valor de corrente à saída do inversor, o sensor utilizado neste projeto (SCT-013-030), tem uma tensão de saída de 0 a 1V. Isto significa que, não efetuando um condicionamento de sinal, estaríamos apenas a utilizar cerca de 20% da resolução total do ADC.

De forma a contornar este problema, será feito um condicionamento do sinal de tensão, à saída do sensor de corrente.

No condicionamento de sinal foi selecionado um amplificador operacional (AMPOP) não inversor, de forma a que a tensão à sua saída seja positiva. O cálculo do ganho a obter pelo AMPOP é feito da seguinte forma:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{5V}{1V}, \text{ ou } A_v = 1 + \frac{R_3}{R_1} \quad (2)$$

Fixando o valor de  $R_1$  em 10 k $\Omega$ , e sendo que queremos um ganho de 5, o valor de  $R_3$  é dado por:

$$R_3 = (A_v - 1) * R_1 = 40k\Omega \quad (3)$$

A simulação do circuito de condicionamento está representada na Figura 12:

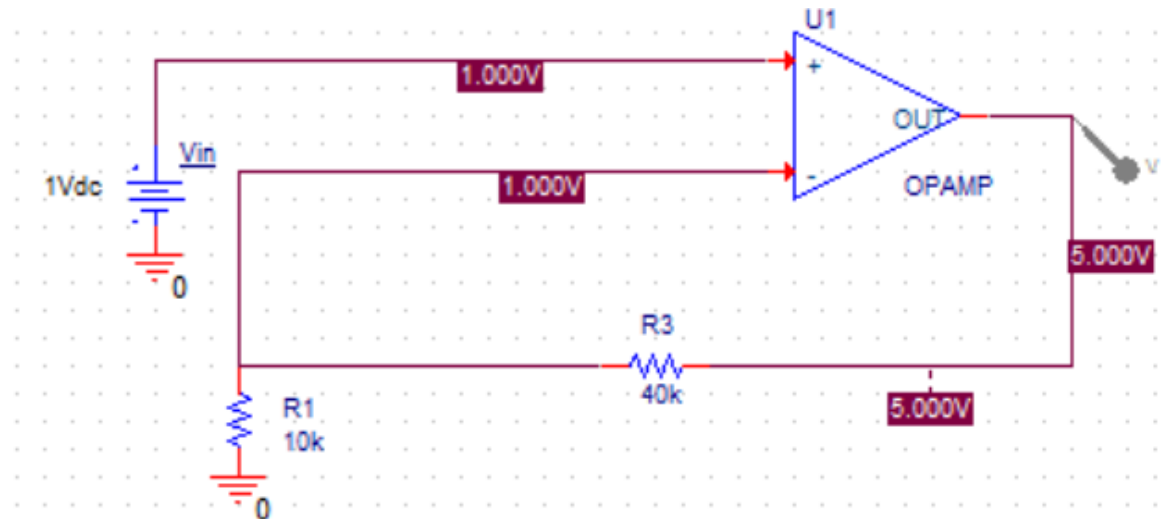


Figura 12 - Circuito implementado para condicionamento de sinal

## 4.6 DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

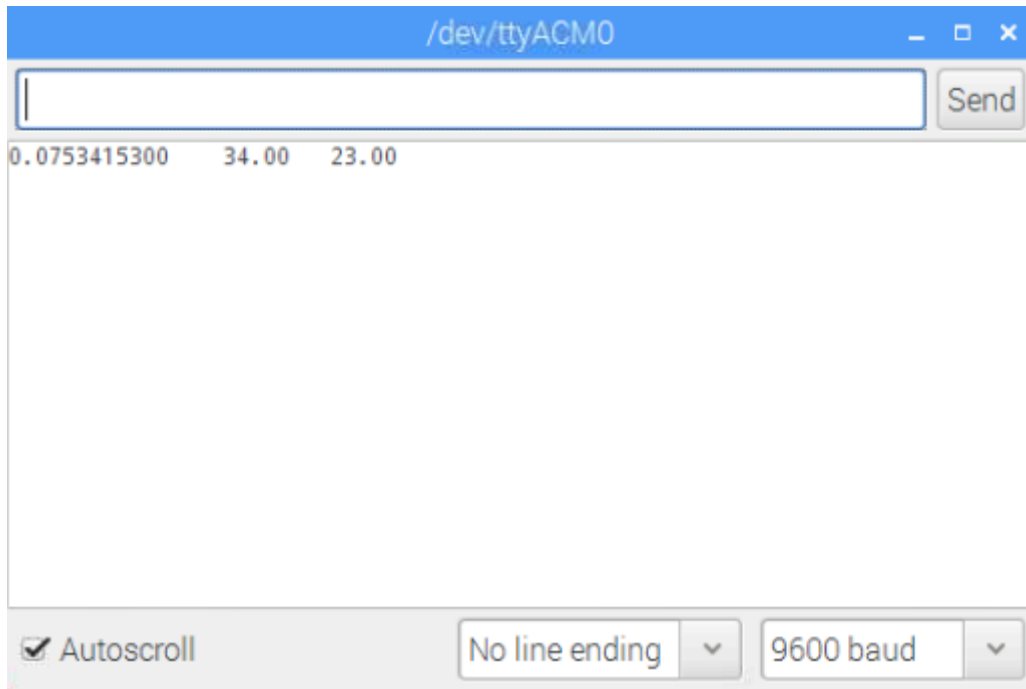
### 4.6.1 CONEXÃO ARDUÍNO – RASPBERRY PI

Como já foi referido, o Arduino envia os dados através da porta USB, e por sua vez o Raspberry Pi recebe também os dados por uma das suas portas USB. Na interligação entre os dois aparelhos havia 2 opções, por USB ou por I2C, sendo que acabei por escolher o USB visto esta ser a opção mais simples, mesmo não sendo uma forma de comunicação entre dispositivos tão fiável como o I2C.

O Raspberry Pi tem instalado no seu cartão SD o Raspbian, uma distribuição Linux feita especialmente para o Pi.

Para efetuar a comunicação entre o Arduino e o Pi foi utilizado um script escrito em linguagem Python. Este script é executado sempre que o sistema operativo do Raspberry Pi é iniciado, através da linha de comandos, sendo que caso haja uma falha de energia ou o Pi seja reiniciado manualmente, o script correrá automaticamente.

No início do *script* é feita a ligação à base de dados “pi”. Os dados são enviados pela porta USB separados por uma “tab”, como podemos ver no monitor série do Arduido IDE, na Figura 13.



**Figura 13 - Output da porta série do Arduino**

No caso de quisermos enviar mais do que um valor de dados, no script *python* depois é necessário separar os dados pela “tab”. O código utilizado para tal encontra-se em baixo.

```
conn = MySQLdb.connect (host = "localhost",
                        user = "****",
                        passwd = "****",
                        db = "pi")

while True:

    timestamp = int(time.time())
    ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0');
    ser.open

    line = ser.readline()
    pieces = line.split(" \t") #split the data by the
                               tab

    cursor = conn.cursor()
    cursor.execute("""INSERT INTO solar(Power)
                   VALUES(%s)""", (pieces[0]))

    cursor.execute("""INSERT INTO sensor_temp(humidade,
                                               temperatura)
                   VALUES(%s, %s)""", (pieces[1], pieces[2]))
```

Caso a ligação não consiga ser estabelecida é apresentada uma mensagem de erro. Caso a ligação seja efetuada com sucesso os valores recebidos pelo Raspberry Pi através do Arduino são separados pela “tab” e colocados nas tabelas corretas.

## **4.6.2 BASE DE DADOS ESCOLHIDA E PROCESSAMENTO DOS DADOS**

Optei por utilizar uma base de dados baseada em Mysql, em que os valores podem ser introduzidos automaticamente através do script Python, já anteriormente falado, ou então manualmente, através da plataforma phpMyAdmin, que fora previamente instalada no PI.

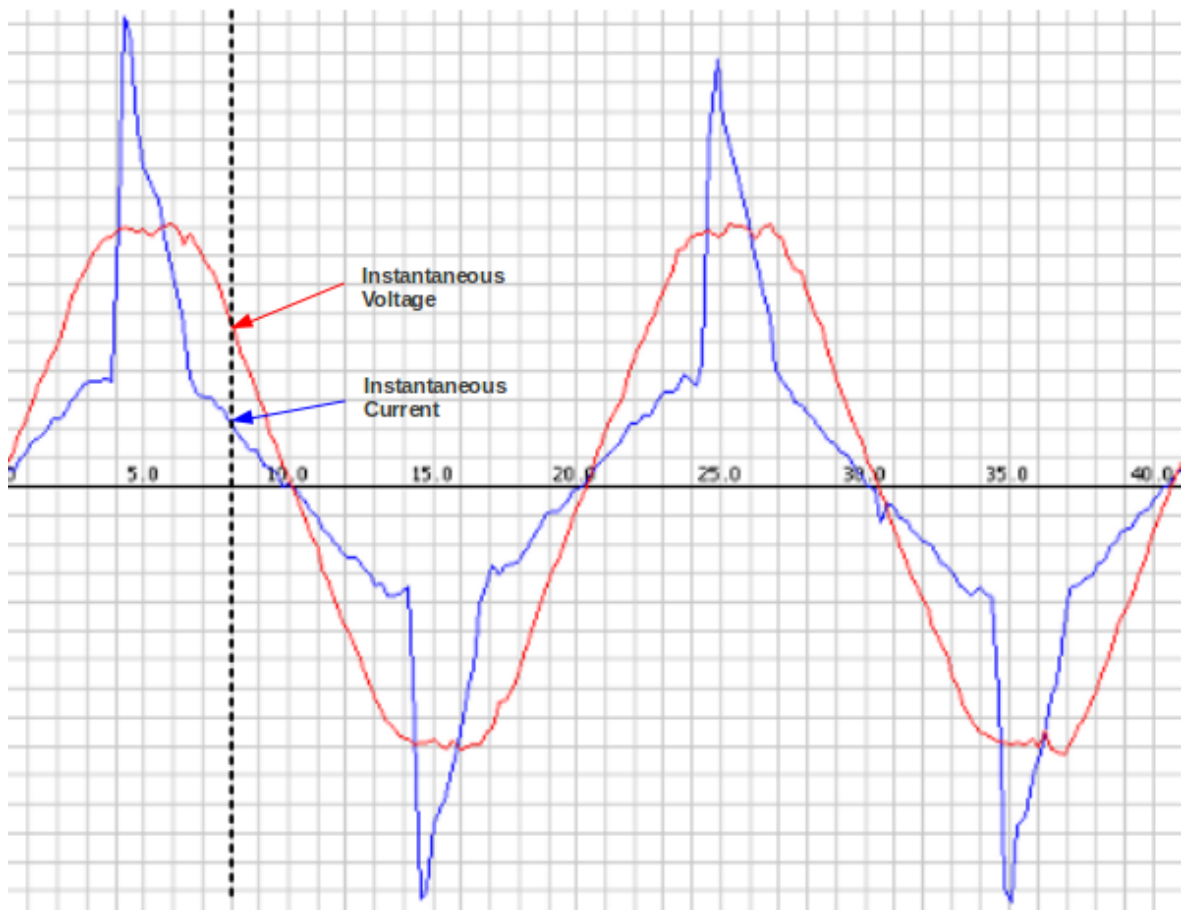
Foi criada uma só base de dados, “pi”. A tabela com o maior número de dados é a tabela “solar”, que guarda todos os registos da potência fotovoltaica até então produzidos. Durante a implementação da interface web, verificou-se que sensivelmente a partir dos 50000 registos, a obtenção e o processamento dos dados sofria um decréscimo abrupto de velocidade, tornando a interface bastante mais lenta.

Para contornar este problema foram adicionadas tabelas que seriam preenchidas através de eventos SQL realizados em certos períodos do dia. Estas tabelas contêm os valores produzidos por hora, dia, mês e ano.

## **4.6.3 CÓDIGO ARDUÍNO**

### **4.6.3.1 TENSÃO E CORRENTE INSTANTÂNEA**

No gráfico da Figura 14 está representada uma amostra da forma de onda da tensão e corrente de uma fonte de alimentação de um computador portátil, juntamente com uma lâmpada incandescente. A imagem foi obtida recolhendo amostras da corrente e tensão da tomada elétrica da habitação. A biblioteca *Emon.lib* utilizada no Arduino faz entre 50 e 100 medições a cada 20 milissegundos, mais concretamente 100 caso estejamos só a medir a corrente e 50, caso estejamos a medir corrente e tensão. Esta pequena limitação está relacionada com o comando de leitura analógica e com o poder de cálculo do Arduino.



**Figura 14 - Representação da corrente e tensão ao longo do tempo numa tomada da habitação**

#### **4.6.3.2 CÁLCULO DO VALOR DE CORRENTE E TENSÃO À SAÍDA DO INVERSOR**

O valor da corrente à saída do inversor foi medido através do sensor de corrente SCT-013-030. Começamos por instalar a biblioteca `emonLib` no Arduino IDE, que é utilizada no projeto *opensource* “OpenEnergyMonitor” para efetuar os cálculos da tensão e corrente alternada a partir das amostras recolhidas pelo ADC do microcontrolador.

É feita a leitura dos valores de tensão sinusoidal a partir dos canais 0 e 1 do ADC. Os valores analógicos (0 a 5V) são depois convertidos para um valor numérico, de 0 a 1023. A função,

```
emon1.current(0, 29.7);
```

disponível na página “*OpenEnergyMonitor*”, recebe o valor do pino do ADC que estamos a utilizar e também, como segundo argumento, um valor de calibração, que varia com o sensor de corrente que utilizámos. No nosso caso em particular foi utilizado um valor de 29.7, sendo que é este valor que mais nos aproxima do valor da potência AC medida pelo inversor. De seguida calculámos o valor da corrente eficaz a partir de uma função disponibilizada na página “Open Energy Monitor”.

Tal como na leitura do valor de corrente, na leitura da tensão alternada é utilizado um fator de calibração (VOLT\_CAL). Esta variável tem como função fazer uma compensação no cálculo, pois os componentes utilizados na construção de cada sensor podem ter valores um pouco diferentes do especificado (considerar a tolerância do componente).

No código, a variável VOLT\_CAL está com o valor de 211.6, no entanto, pode ser necessário fazermos a alteração da mesma. Isto vai depender do valor de tensão AC que será apresentado no monitor serial do ambiente de programação do Arduino. O valor de calibração foi ajustado até obtermos o valor mais próximo possível ao apresentado pelo inversor. [18]

#### **4.6.3.3 CÁLCULO DO VALOR DE POTÊNCIA À SAÍDA DO INVERSOR**

Utilizando o valor da corrente e tensão eficaz calculamos o valor de potência que é produzida, multiplicando o valor da corrente pelo valor lido da tensão alternada (Tensão RMS):

```
power = Irms*Vrms;
```

Os valores calculados são depois enviados pelo Arduino para o Raspberry Pi através da porta USB, em intervalos de 15 s.

#### 4.6.4 INTERFACE WEB

Todo o design da página web foi feito utilizando HTML5/CSS, usando o *Bootstrap* como *framework*. A obtenção dos valores utilizados nos gráficos e nas restantes informações apresentadas nas várias páginas web, foi possível utilizando as linguagens PHP e Javascript.

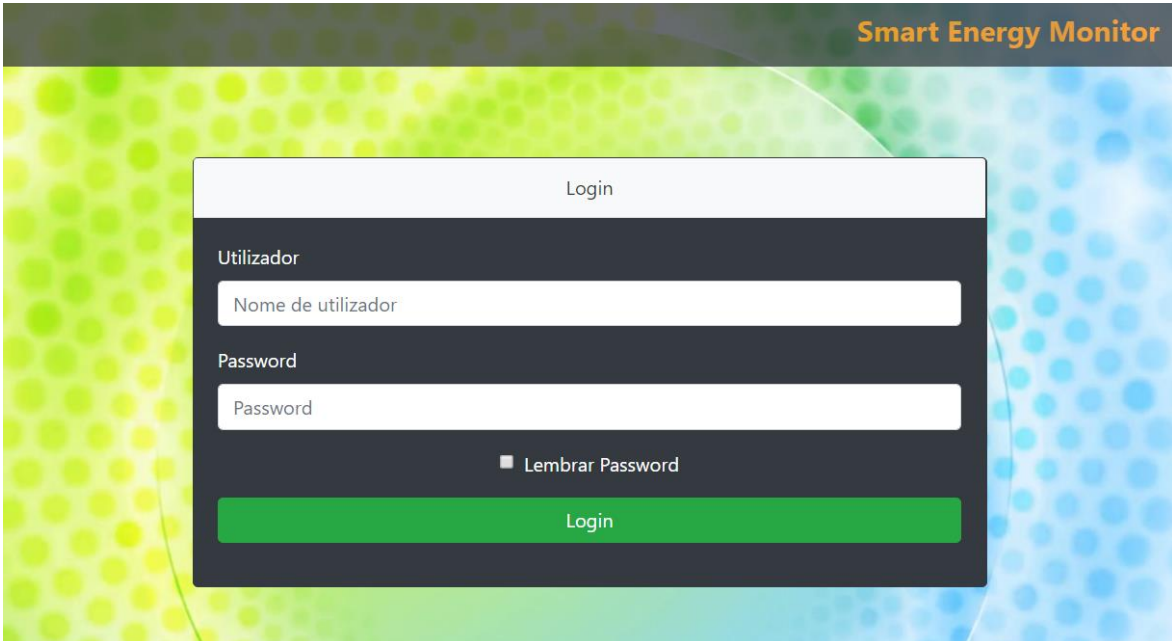
Os dados do sistema fotovoltaico serão apresentados sob a forma de uma interface web. Esta página será constituída por:

- *Dashboard*:
  - Produção atual fotovoltaica e potência instalada do mesmo pelo utilizador
  - Gráfico com a produção fotovoltaica do dia atual (em kWh)
  - Informação contratual do utilizador: potência contratada, tarifa e ciclo horário
  
- Histórico:
  - Gráfico da produção diária, mensal e anual de energia
  - Total da energia gerada até ao momento.
  - Total, em €, que já foram poupados até ao momento
  
- Gestão e controlo das cargas alimentadas pelo sistema PV
  - O controlo das cargas é feito de forma automática, tendo em conta um conjunto de opções definidas pelo utilizador
  - Podemos ligar e desligar cada uma das cargas
  - Informação da temperatura e humidade em vários locais da habitação
  
- Menu de administrador que contém:
  - Página de login
  - Contactos
  - Página de configuração onde teremos de indicar os valores da potência fotovoltaica instalada, ciclo horário e valores a pagar pelas horas fora de vazio e em vazio.

#### 4.6.4.1 ADMINISTRADOR

Neste menu podemos seleccionar a opção de login e de configuração.

Na página de Login, não existe uma verificação de utilizador ou de password, qualquer valor inserido pode ser utilizado para aceder à interface web. Ambos os campos devem ser preenchidos para avançarmos para a página web *default* (*index.php*). Na Figura 15 temos a página inicial de login.



The image shows a login form for 'Smart Energy Monitor'. The form is dark grey with a white title bar that says 'Login'. It contains two input fields: 'Utilizador' (with the placeholder 'Nome de utilizador') and 'Password' (with the placeholder 'Password'). Below the password field is a checkbox labeled 'Lembrar Password'. At the bottom of the form is a large green button labeled 'Login'. The background of the page is a light green and blue pattern of circles.

**Figura 15 - Página de login**

Na página de configurações o utilizador tem de preencher obrigatoriamente todos os campos. De notar que seleccionando a tarifa horária, dependendo da opção escolhida, irão surgir duas caixas de texto para inserção dos valores do preço da energia, no caso da tarifa bi-Horária, ou uma caixa de texto no caso de o utilizador escolher a opção de tarifa simples.

A Figura 16 representa o menu de configurações.

Configurações

Potência PV instalada (W)

Potência contratada (kVA)

Selecione a Tarifa Horária

Valor do IVA atual (%)

Inserir Configurações

[Voltar Atrás](#)

**Figura 16 - Menu de Configurações**

#### **4.6.4.2 DASHBOARD**

A Dashboard é constituída pelos seguintes painéis:

- Painel de Produção PV
  - Gráfico da produção instantânea fotovoltaica, que contém o consumo atual assim como a margem restante de produção, tendo como referência a potência fotovoltaica instalada
  - Informação em texto sobre a produção atual
  - Informação em texto sobre a potência instalada
- Produção de Hoje
  - Gráfico da produção fotovoltaica do presente dia.
  - Informação em texto sobre a produção fotovoltaica do presente dia.
- Plano Energético
  - Informação sobre a tarifa horária escolhida pelo utilizador.
  - Informação sobre a potência contratada pelo utilizador.
- Distribuição de energia

- Gráfico que compara a produção de energia do sistema fotovoltaico com a energia consumida pela habitação no dia atual
- Informação em texto sobre a produção fotovoltaica
- Informação em texto sobre a energia consumida pela habitação

A interface web utiliza linguagem PHP, Javascript e HTML. Os elementos gráficos são processados utilizando Javascript, usando a biblioteca *open source* Chart.js.

Dentro dos vários ficheiros PHP, foi necessário criar uma ligação à base de dados Mysql, de forma a utilizar os seus valores nos vários gráficos e em toda a informação presente na página. Este procedimento encontra-se detalhado no capítulo seguinte.

#### **4.6.4.2.1 LIGAÇÃO À BASE DE DADOS**

Em todas as páginas web deste projeto o script php necessita de se ligar à base de dados SQL. Isto é feito a partir do seguinte código:

```
$mysqli = new mysqli("localhost", $user,  
$password, $database);
```

De seguida é feita uma verificação da ligação e caso esta não seja feita com sucesso é retornada uma mensagem de erro no browser “Connect failed” seguida do código de erro:

```
/* check connection */  
if (mysqli_connect_errno()) {  
    printf("Connect failed: %s\n",  
mysqli_connect_error());  
    exit();  
}
```

#### **4.6.4.2.2 OBTENÇÃO DOS VALORES DA BASE DE DADOS NUM SCRIPT PHP**

Como iremos ver várias vezes neste capítulo, é necessário adquirir múltiplas vezes valores da base de dados e transformá-los numa variável *php* para que a possamos utilizar na página web.

Em primeiro lugar é necessário fazer um “*query*”, um pedido à base de dados, através da função *mysql\_query()*. No caso de querermos pedir a data atual do sistema, chamamos a função “CURDATE”:

```
$query_data=mysql_query("SELECT CURDATE()");
```

Ao fazer isto temos uma variável “*\$query\_data*”, que é basicamente um apontador. De forma a termos o valor numérico da data temos que usar a função *mysql\_fetch\_array()*:

```
$data=mysql_fetch_array($query_data);
```

Agora para termos o nosso valor numérico da data atual guardado sob a forma de uma string podemos fazer:

```
$data_atual=$data[0];
```

#### **4.6.4.2.3 COMO UTILIZAR VALORES PHP NUM SCRIPT JAVA**

De forma a utilizar os valores da base de dados que obtemos através do código php, dentro de um script java, é necessário utilizar uma função que converta uma variável php numa variável java. Para o efeito utilizei a função *json\_encode()*. O seguinte código representa uma aplicação desta função:

```
var dia_6=<?php echo json_encode($tp_6); ?>*1;
```

#### **4.6.4.2.4 PAINEL DE PRODUÇÃO PV**

Aqui é apresentado um gráfico semicircular para representar o nível de produção do sistema PV em termos de potência face a potência total instalada.

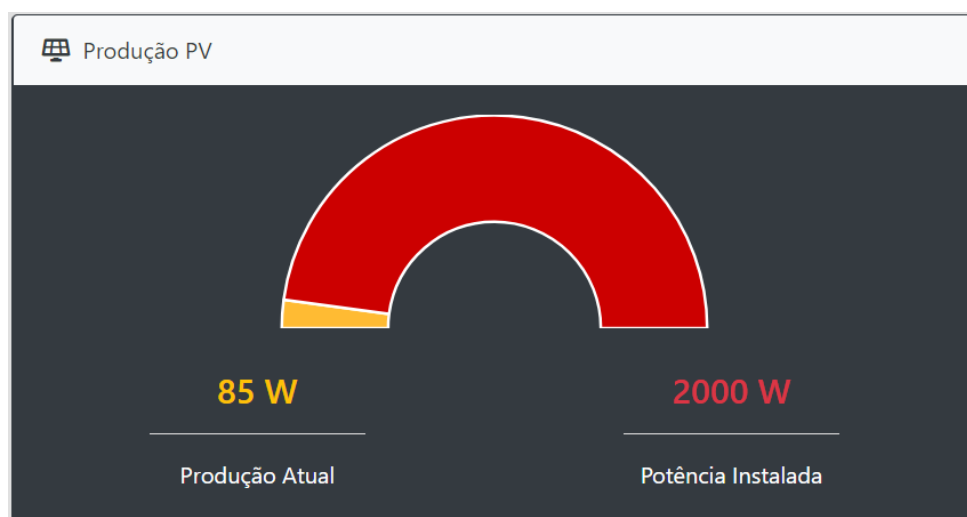
De forma a termos o valor mais recente da potência instantânea, é utilizado o último valor da coluna “Power” na tabela “solar”. Isto foi feito através do seguinte código:

```
$potencia_ultimo=$mysqli->query("SELECT Power FROM solar ORDER BY solarID DESC LIMIT 3");
```

O valor da potência instalada do sistema fotovoltaico é obtido a partir do valor introduzido no painel de Configuração, nas opções de Administrador. O valor é guardado na base de dados na tabela “*config*”. Para adquirirmos o valor fazemos:

```
$potencia_contratada=$mysqli->query("SELECT
    potencia_contratada FROM config");
$potencia_contratada_valor =
mysqli_fetch_array($potencia_contratada);
```

A Figura 17 representa o painel de “Produção PV”:



**Figura 17 - Produção PV atual e potência instalada**

#### **4.6.4.2.5 PAINEL DA PRODUÇÃO DE HOJE**

No gráfico da “Produção de Hoje” estão representados os consumos ao longo do dia, desde as 6h até às 21h, com os valores de produção para cada hora. Não foram consideradas as restantes horas do dia pois os painéis não geram energia nos restantes períodos. Os valores são obtidos a partir da tabela “*solar\_total\_hora*”, que contém todos os valores da potência produzida, em kWh, para cada hora do dia. De forma a organizar os dados na base de dados,

foram criados eventos que correm a uma determinada hora do dia. Neste caso em específico o código presente no evento é o seguinte:

```
        for ($h=6; $h<=21; $h++)
            {
$total_power=$mysqli->query("SELECT
    HOUR('TIMESTAMP'), SUM(Power) FROM solar_total_hora
    WHERE Data BETWEEN '$ano_atual-$mes_atual-$dia_atual
    $h:00:00' AND '$ano_atual-$mes_atual-$dia_atual
    $h:59:59'");

$tp = mysqli_fetch_array($total_power)

switch ($h)
            {

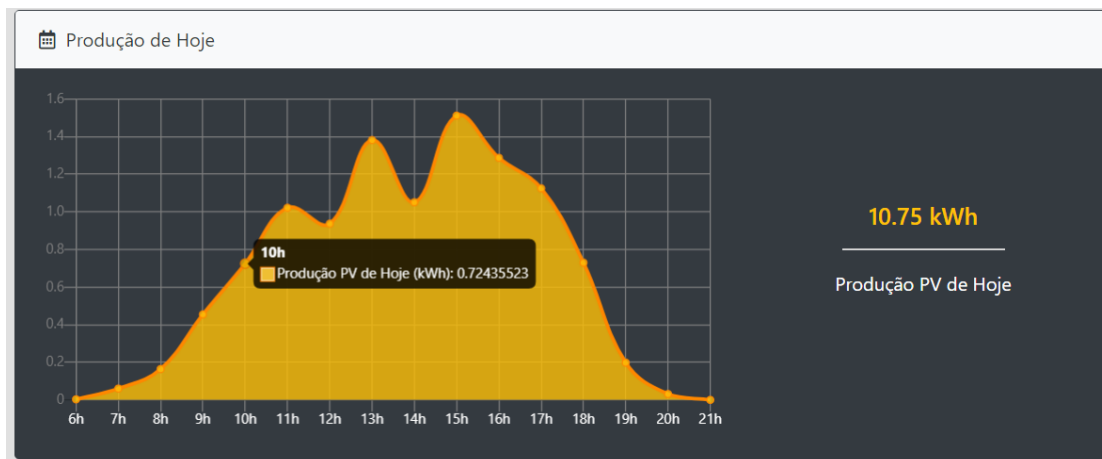
    case 6:$tpdia_6=$tp[1];
                break;
    case 7:$tpdia_7=$tp[1];
                break;

                ...

    case 21:
                break;
            }
    }
```

Primeiramente executamos uma *query* que agrupa os dados por hora num vetor de dados, tendo em conta o *timestamp* atual. De seguida é executado um ciclo que coloca os valores de cada hora numa variável. Todas estas variáveis são colocadas no código *javascript* que será responsável por fazer o *display* do gráfico. O valor da produção PV do dia é o resultado da soma de todos os valores obtidos anteriormente.

Na Figura 18 está representado o painel “Produção de Hoje”:



**Figura 18 - Gráfico de linhas da produção fotovoltaica diária**

#### **4.6.4.2.6 PAINEL DO PLANO ENERGÉTICO**

Os valores apresentados no “Painel Energético” são os valores introduzidos pelo utilizador, da potência contratada e da sua tarifa horária. Estes valores são introduzidos na tabela “config” na base de dados. Na Figura 19 está representado o painel “Plano Energético”:

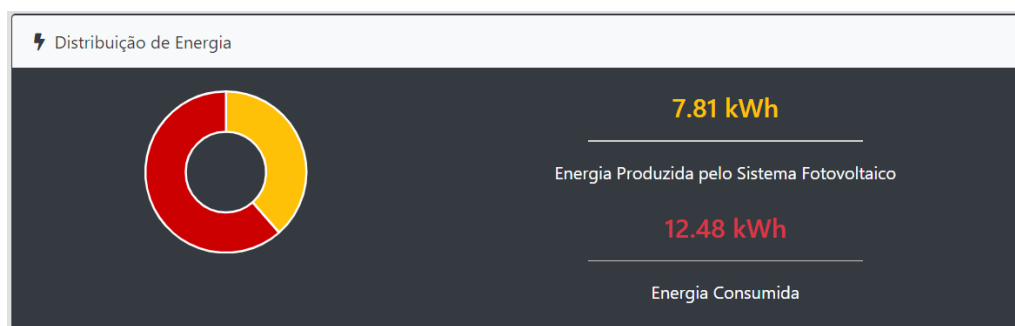


**Figura 19 - Potência contratada e ciclo horário do utilizador**

#### **4.6.4.2.7 PAINEL DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA**

No painel de “Distribuição de energia” está apresentada a energia produzida pelos painéis solares assim como a energia consumida pela habitação. A forma como adquirimos o valor da produção fotovoltaica é exatamente a mesma que foi utilizada no gráfico da “Produção de Hoje”. O valor da energia consumida pela habitação é obtido de forma semelhante, mas a partir da tabela da base de dados, “rede”.

Na Figura 20 está representado o painel “Distribuição de Energia”:

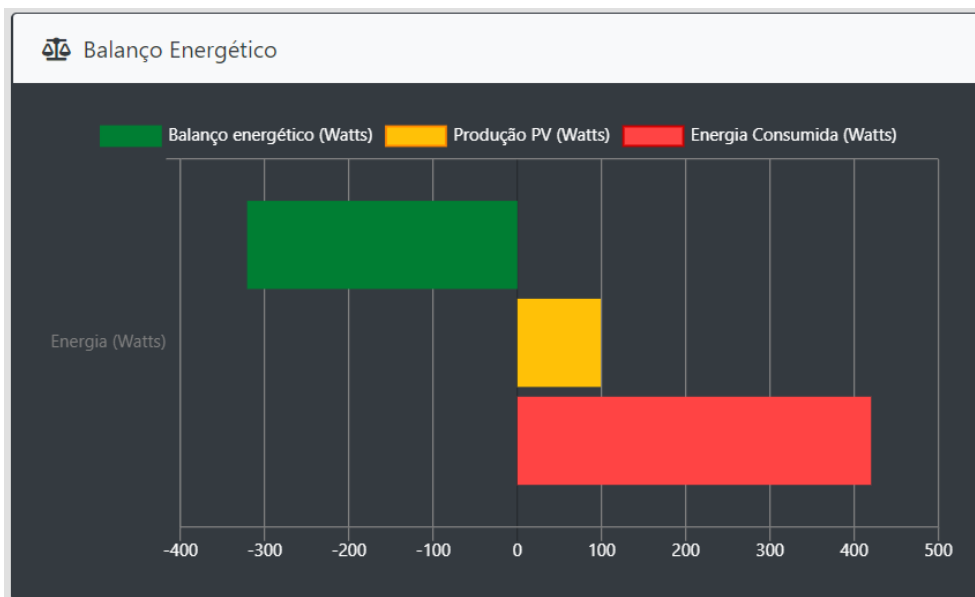


**Figura 20 - Distribuição de energia**

#### **4.6.4.2.8 PAINEL DO BALANÇO ENERGÉTICO**

Visto a solução adotada nesta habitação ser uma solução de autoconsumo sem venda do excedente de energia à rede, torna-se de máxima importância tentar aproveitar ao máximo toda a energia produzida pelo sistema PV. Sendo que a energia consumida pela habitação também é medida criou-se um gráfico que compara a produção e o consumo, e que nos dá a informação se estamos a produzir mais energia do que aquela que estamos a consumir. Isto permite-nos ligar ou desligar aparelhos quando for mais conveniente, para minimizar o desperdício de energia.

Na Figura 21 está representado o painel “Balanço Energético”:



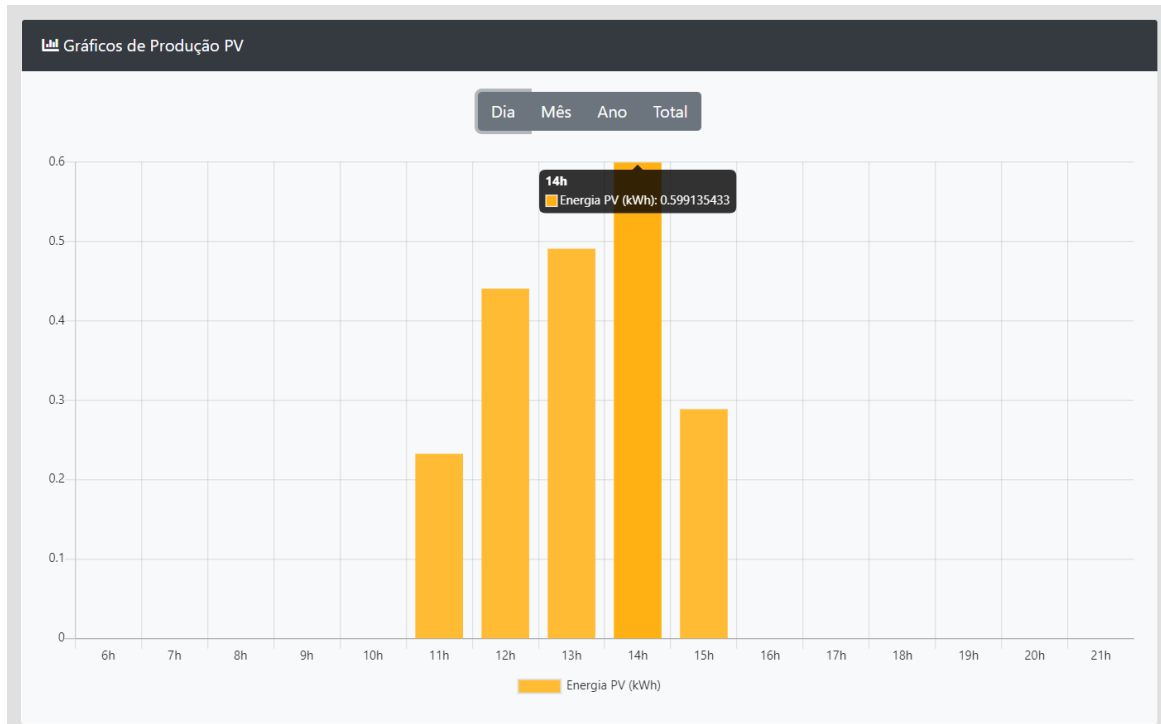
**Figura 21 - Balanço Energético**

#### **4.6.4.3 HISTÓRICO DE PRODUÇÃO**

No separador “Histórico” da interface web são apresentados 2 painéis. O primeiro, “Gráficos de Produção PV” contém informação sobre a produção diária, mensal, anual e o total até à data. Podemos alternar entre os gráficos clicando nos botões “Dia, Mês, Ano e Total”.

Os gráficos têm dois eixos, no eixo vertical, a informação dos kWh gerados, e no eixo horizontal, o período de geração de energia.

#### 4.6.4.3.1 HISTÓRICO DE PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA DURANTE O DIA

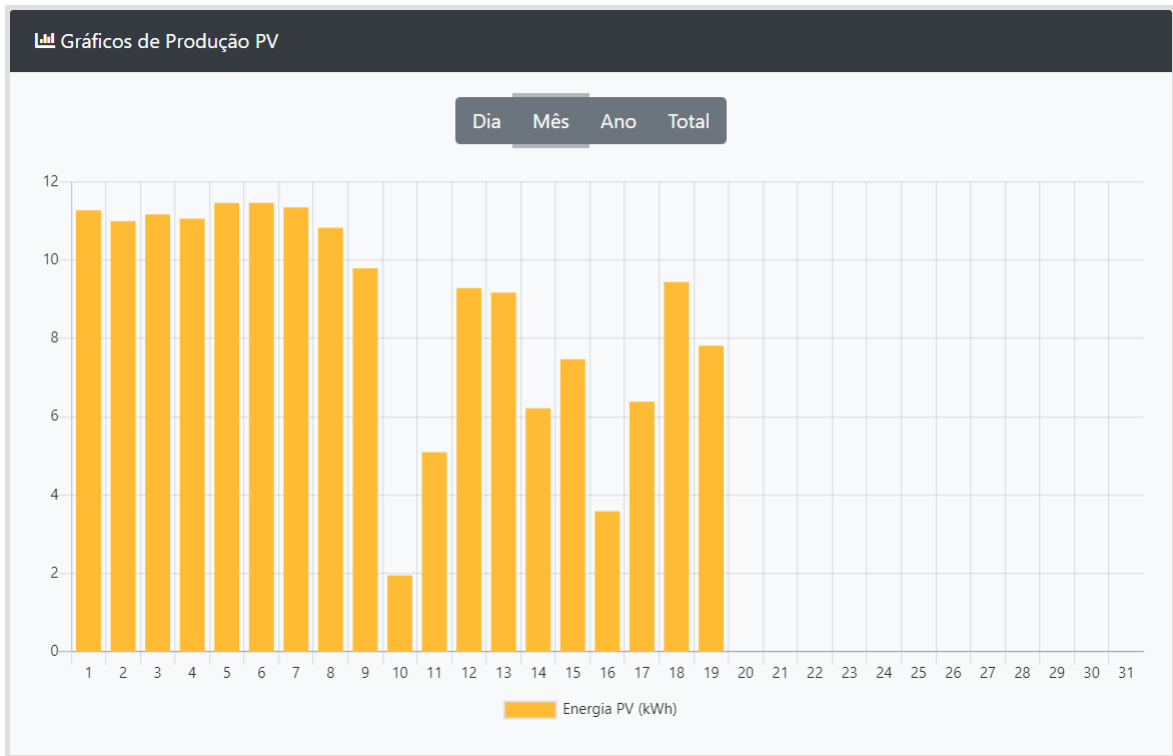


**Figura 22 - Gráfico do histórico de produção fotovoltaica durante o dia**

No gráfico da Figura 22 podemos ver o que vai sendo produzido ao longo do dia. Sendo que os painéis apenas produzem energia, no melhor dos casos, entre as 6h e 21h, apenas foram apresentados dados desse período. A informação é apresentada utilizando um gráfico de barras.

Os valores são obtidos a partir da tabela “solar\_total\_hora”, que contém todos os valores da potência produzida, em kWh, para cada hora do dia. A forma como obtemos os dados é similar ao método usado na obtenção da informação para o “Painel da Produção de Hoje”. Para além do gráfico principal podemos colocar o cursor do rato em cima de qualquer uma das barras para obtermos o valor exato da energia produzida.

#### 4.6.4.3.2 HISTÓRICO DE PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA DURANTE O MÊS



**Figura 23 - Gráfico do histórico de produção fotovoltaica durante o mês**

No gráfico da Figura 23 podemos ver o que vai sendo produzido ao longo do mês. Considerei que todos os meses teriam 31 dias. Naturalmente, nos meses com menos de 31, não serão registados quaisquer valores. Para sabermos o valor exato da produção clicámos numa das barras, e teremos informação sobre o dia seleccionado e o valor da energia produzida nesse dia. Em baixo, temos o excerto de código responsável pela forma como preenchemos corretamente o gráfico:

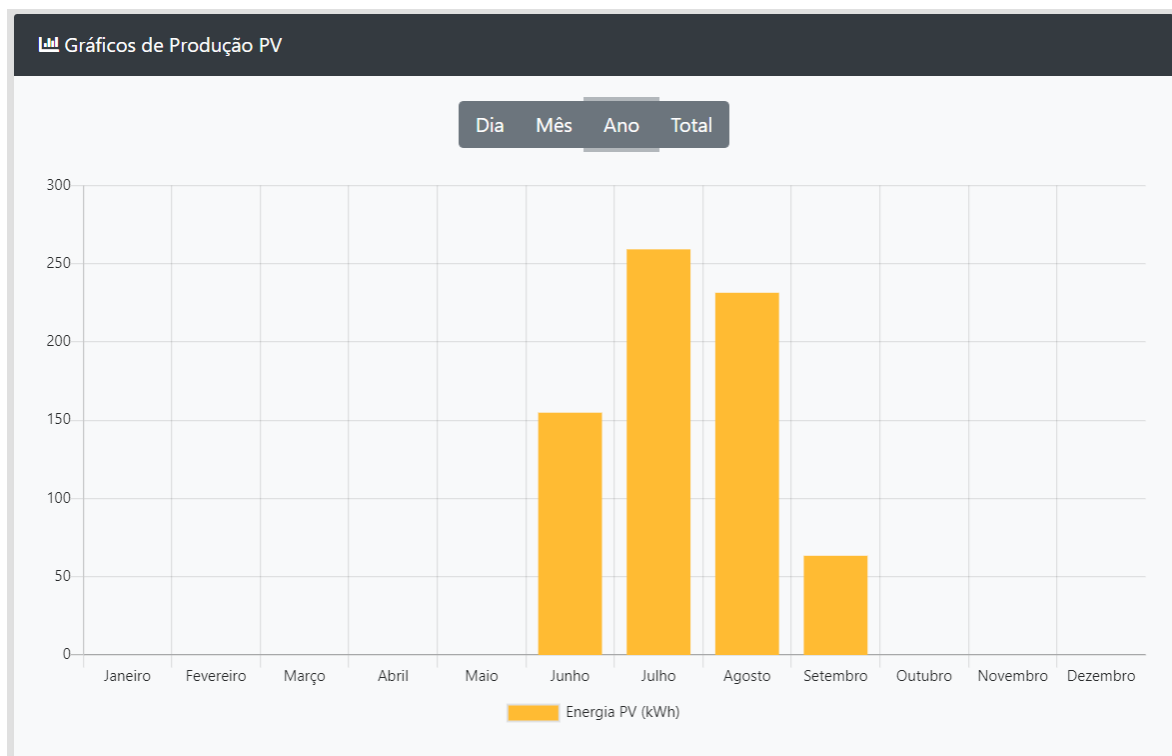
```
DELETE FROM solar_total_dia
WHERE DAY (Data) = DAY (CURRENT_DATE ()) AND
MONTH (Data) = MONTH (CURRENT_DATE ()) AND YEAR (Data) =
YEAR (CURRENT_DATE ());

INSERT INTO solar_total_dia (Power)
SELECT SUM (Power) FROM solar
```

```
WHERE DAY(Data) = DAY(CURRENT_DATE()) AND MONTH(Data)
= MONTH(CURRENT_DATE()) AND YEAR(Data) =
YEAR(CURRENT_DATE());
```

O código é executado a partir de um evento periódico na base de dados. Primeiramente os dados da tabela “solar\_total\_dia” são apagados, e novos dados são adicionados. De seguida, os dados da tabela principal, “solar”, são agrupados por dia tendo em conta sempre a data atual, e são colocados na tabela “solar\_total\_dia”.

#### 4.6.4.3 HISTÓRICO DE PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA DURANTE O ANO



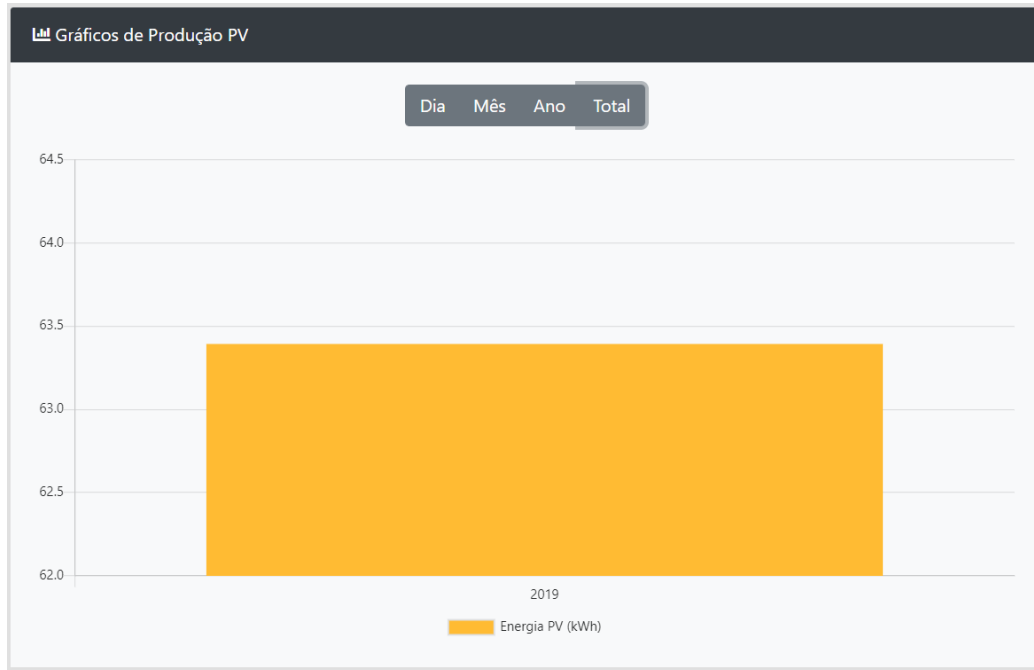
**Figura 24 - Gráfico do histórico de produção fotovoltaica durante o ano**

No gráfico da Figura 24 podemos ver a produção ao longo do ano, agrupada num gráfico de 12 barras, em que cada uma delas contém a quantidade de energia produzida durante todo o mês. Tal como em todos os gráficos, podemos colocar o cursor do rato em cima de qualquer uma das barras para obtermos o valor exato da energia produzida.

Como exemplo, todos os valores que tenham sido registados no mês de agosto, são somados e o resultado é colocado no gráfico, em kWh, preenchendo a barra do mês de agosto. O procedimento é idêntico para os restantes meses do ano.

#### 4.6.4.3.4 HISTÓRICO DE PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA TOTAL

Para terminar, na Figura 25, é apresentado o valor total da energia produzida até hoje.



**Figura 25 - Gráfico do histórico de produção fotovoltaica total**

Em baixo, temos o excerto de código responsável pela forma como preenchemos corretamente o gráfico:

```
DELETE FROM solar_total_ano
WHERE YEAR(Data) = YEAR(CURRENT_DATE());

INSERT INTO solar_total_ano (Power)
SELECT SUM(Power) FROM solar
WHERE YEAR(Data) = YEAR(CURRENT_DATE());
```

Depois de eliminados todos os dados da tabela “solar\_total\_ano”, os dados da tabela principal, “solar”, são agrupados por ano, e são colocados na tabela “solar\_total\_ano”.

#### 4.6.4.3.5 INFORMAÇÃO ADICIONAL

O painel de Informação adicional está representado na Figura 26 e contém dois tipos de informação.



**Figura 26 - Informação adicional**

Na parte superior está apresentado o valor de toda a energia que foi produzida até hoje. Isto é feito através do seguinte código:

```
$total_power=$mysqli->query("SELECT Power FROM solar_total_ano ORDER BY Data DESC LIMIT 3");  
  
$tp = mysqli_fetch_array($total_power);  
  
$tp_2019=$tp[0];
```

Todos os valores da tabela “solar\_total\_ano” são somados e apresentados na interface.

Na parte inferior está apresentada, a título de curiosidade, a quantidade de CO2 que não foi enviada para a atmosfera.

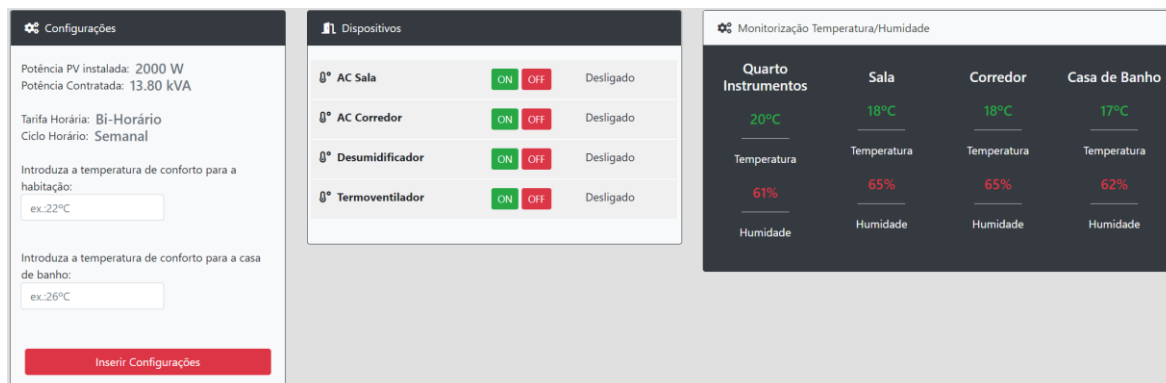
#### **4.6.4.4 GESTÃO E CONTROLO DE CARGAS**

O software desenvolvido no âmbito desta dissertação faz o controlo e monitorização dos aparelhos utilizados para aquecimento e arrefecimento da habitação. Os equipamentos considerados foram os seguintes:

- Ar condicionado (Sala)
- Ar condicionado (Corredor)

- Desumidificador
- Termoventilador

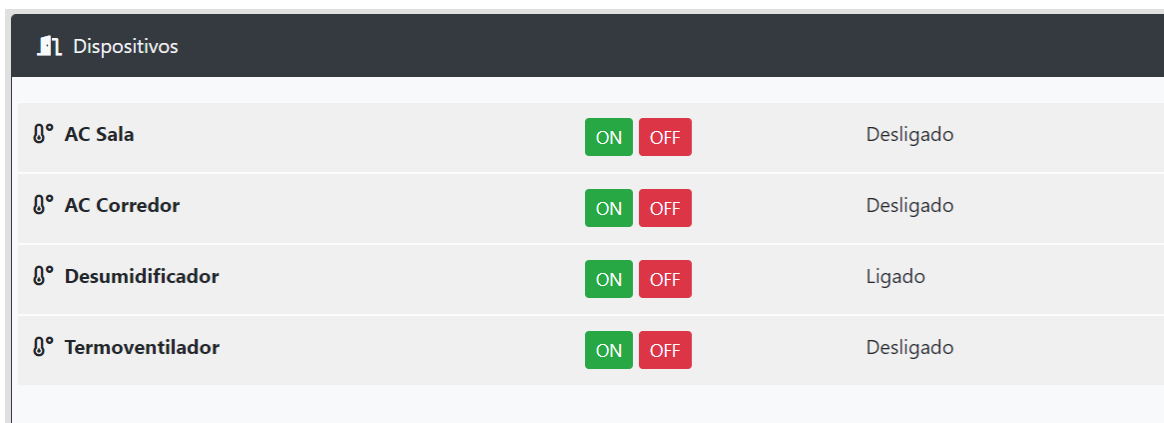
Na Figura 27 está representada a interface para a gestão e monitorização de cargas.



**Figura 27 - Visão geral do separador "Gestão e Controlo de Cargas"**

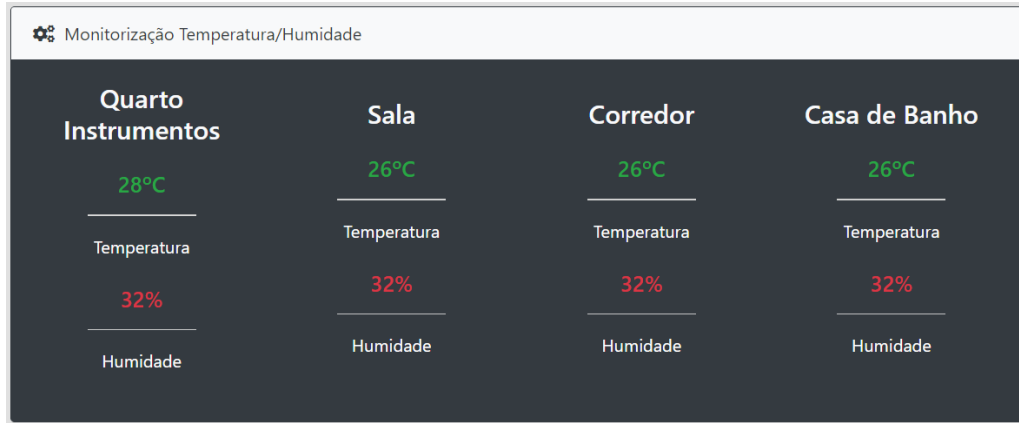
No painel Configurações é pedido ao utilizador que introduza a temperatura desejada para a habitação assim como a temperatura para a casa de banho. Ao clicar no botão “Inserir Configurações” é chamado um script *python* que envia os dados das temperaturas definidas assim como a tarifa e ciclo horário para o Arduino através de comunicação série, tal como foi feito para o envio dos dados do Arduino para o Raspberry Pi.

A partir do painel “Dispositivos”, representado na Figura 28 é possível ligar e desligar cada uma das cargas caso seja necessário. É-nos também dada informação sobre o estado de ligação de cada aparelho.



**Figura 28 - Dispositivos utilizados no controlo de cargas**

No painel “Monitorização Temperatura/Humidade”, representado na Figura 29 é possível obter informação sobre a temperatura e o valor da humidade nas 4 divisões da habitação equipadas com o sensor de temperatura/humidade:



**Figura 29 - Monitorização Temperatura/Humidade**

#### **4.6.4.4.1 CONTROLO DAS CARGAS PELO ARDUINO**

No que toca ao controlo de cargas feito pelo microcontrolador este começa por receber os valores da temperatura definidos assim como os valores de estado dos equipamentos, pela porta USB. Estes valores são posteriormente atribuídos a variáveis que são usadas no algoritmo para ligar e desligar os 4 relés.

No Arduíno IDE são definidos 4 pinos do microcontrolador como *inputs*:

```
#define RELAY_SALA 6
#define RELAY_CORR 7
#define RELAY_QUARTO 8
#define RELAY_BANHO 9
```

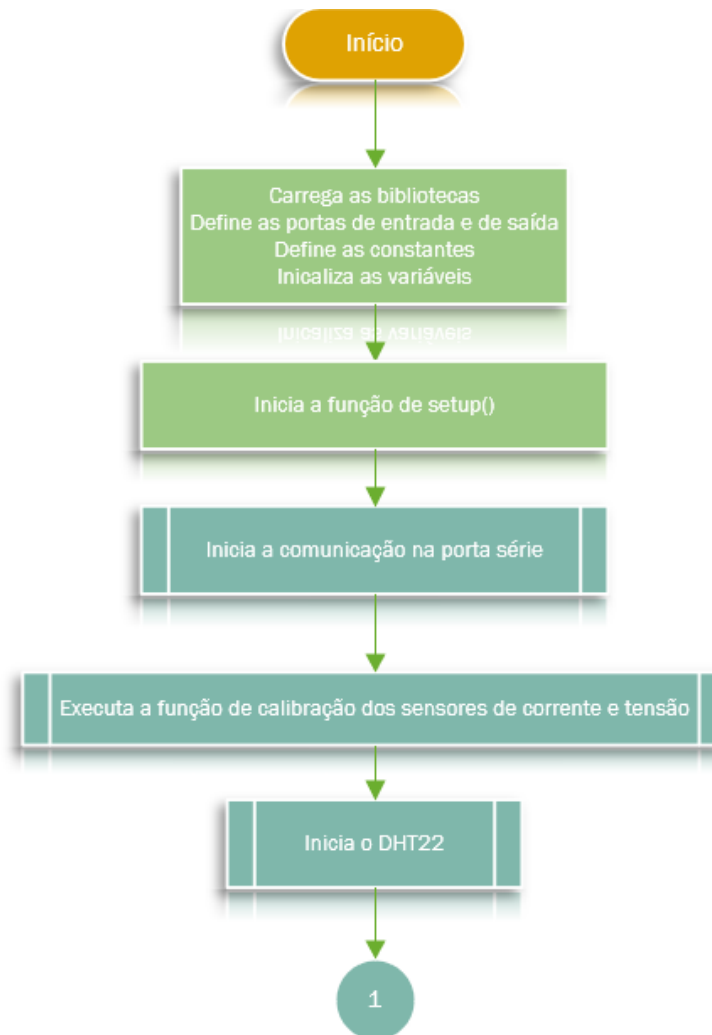
Sempre que queiramos ligar um dos relés podemos fazê-lo através do seguinte código:

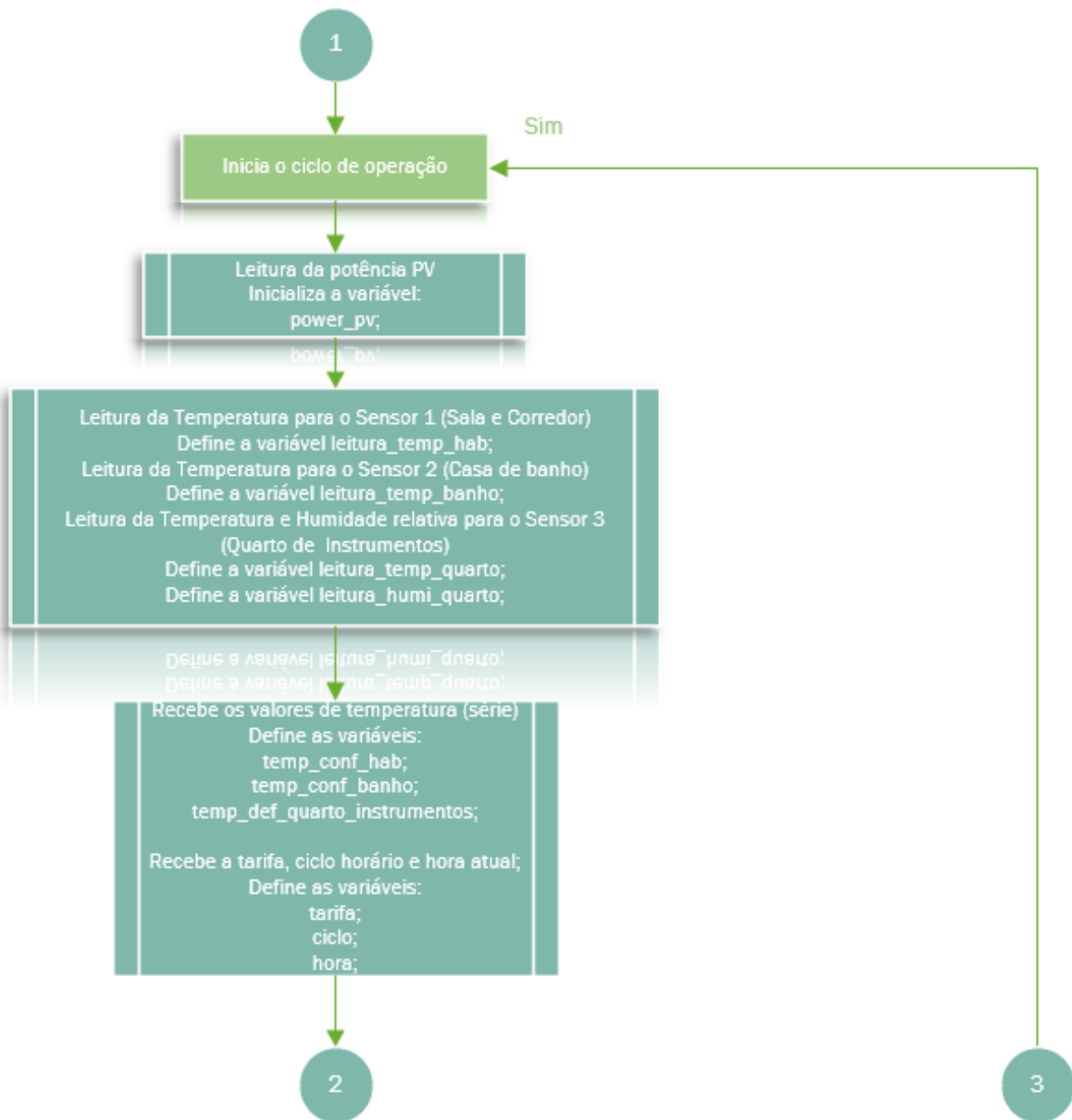
```
digitalWrite(RELAY_SALA, LOW);
```

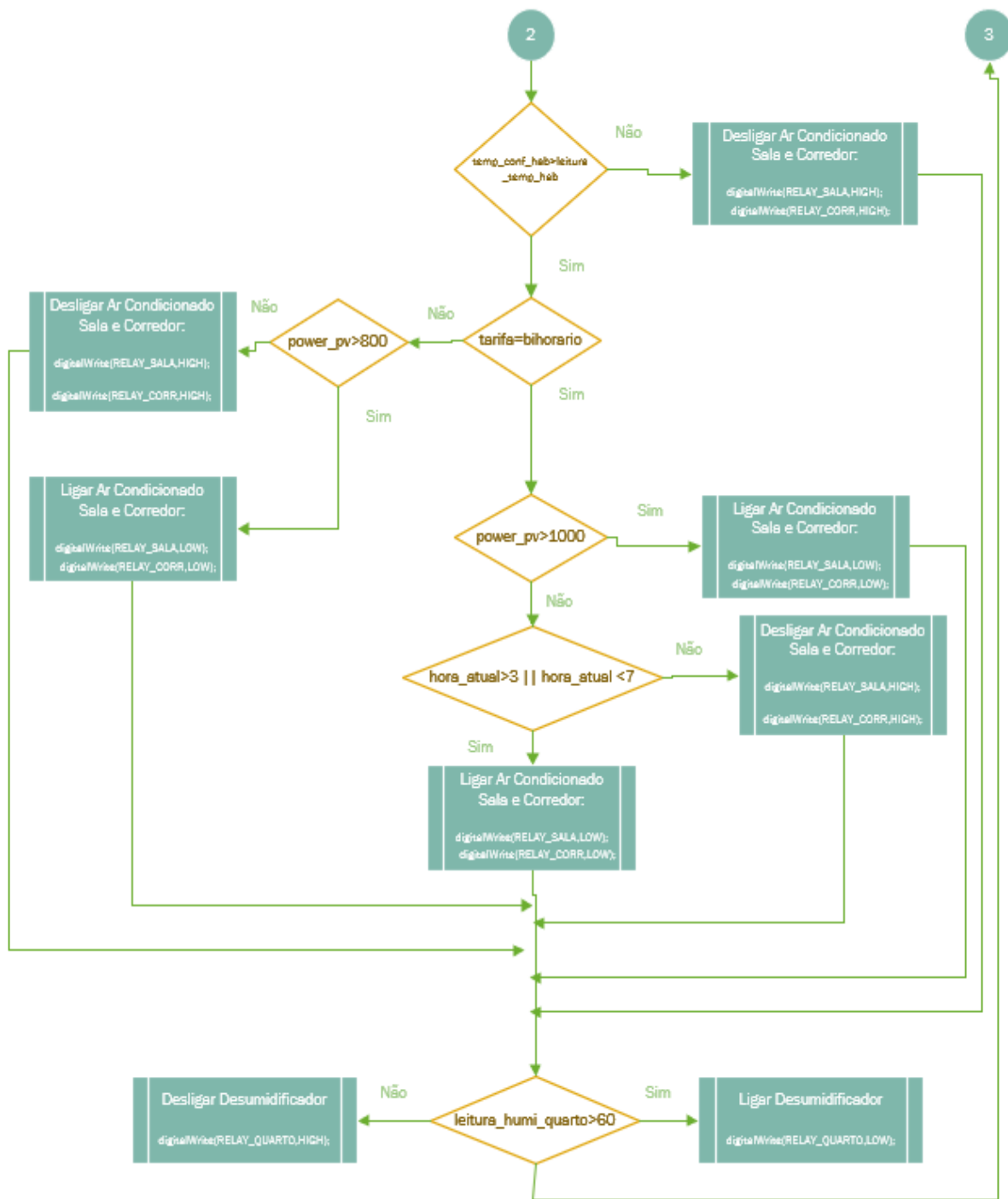
De forma similar podemos desligar um dos relés através do seguinte código:

```
digitalWrite(RELAY_QUARTO, HIGH);
```

O código desenvolvido para integrar o microcontrolador foi concebido no Arduino IDE. Antes de ser escrito, foi elaborando um fluxograma com a logica a implementar, e que se apresenta em seguida.







## 4.7 COMPARAÇÃO DE MEDIÇÃO DE VALORES ENTRE INVERSOR E SOLUÇÃO DESENVOLVIDA

O inversor SMA utilizado pela solução fotovoltaica possui um display LCD com a informação sobre os valores de potência a serem produzidos pelos painéis.

De forma a termos uma noção sobre o grau de diferença entre a solução comercial disponível e a solução desenvolvida, foi efetuada uma comparação dos valores de potência entre as duas soluções, em 5 níveis de potência que se aproximassem o mais possível dos valores de 150W, 500W, 1000W, 1500W e 2000W. Depois de vários ajustes à variável de calibração, já anteriormente falada, que é utilizada no Arduino conseguimos chegar as margens de erro de medição bastantes reduzidas. Os valores obtidos encontram-se na Tabela 6 .

**Tabela 6 - Erro percentual entre aparelho comercial e a solução desenvolvida**

<b>Leitura obtida pelo Inversor SMA</b>	<b>Leitura obtida pela solução desenvolvida</b>	<b>% erro</b>
<b>Potência (W)</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>(Inversor/Monitor Energia)</b>
<b>148 W</b>	<b>135 W</b>	<b>0.88 %</b>
<b>495 W</b>	<b>491 W</b>	<b>0.81 %</b>
<b>991 W</b>	<b>986 W</b>	<b>0.5 %</b>
<b>1497 W</b>	<b>1492 W</b>	<b>0.33 %</b>
<b>1932 W</b>	<b>1927 W</b>	<b>0.29 %</b>

A percentagem de erro foi calculada com base na seguinte expressão:

$$\%erro = \frac{|leitura\ inversor - leitura\ solução\ desenvolvida|}{|leitura\ inversor|} * 100$$

## 4.8 CUSTO DA SOLUÇÃO

Na Tabela 7 estão discriminados os custos de cada componente assim como o custo total da solução arquitetada. De notar que os valores apresentados se referem ao valor despendido para a aquisição dos componentes em pequenas quantidades. Estima-se que o valor total da solução caia para metade caso considerássemos uma produção em escala. Os preços foram retirados do site <https://pt.mouser.com/> e <https://www.electrofun.pt/> .

**Tabela 7 - Custos previsto para a elaboração da solução de hardware**

<b>Quantidade</b>	<b>Componente</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Custo</b>
1	Arduíno	18,7 €	18,7 €
2	ZMPT101B	8,65 €	17,3 €
2	SCT-013-030	13,25 €	26,5 €
4	DHT 22	8,95 €	35,8 €
1	Raspberry Pi 3 Model B+	33,76 €	33,76 €
1	MCP601-I/SN	0,41 €	0,41 €
1	SRD-05VDC-SL-C (Módulo de 4 relés)	3,99 €	7,98 €
1	Resistência 10 K $\Omega$	0,10 €	0,10 €
1	Resistência 40 K $\Omega$	0,10 €	0,10 €
<b>Custo total:</b>			<b>140,65 €</b>

# 5. CONCLUSÕES



## **5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Parti para este projeto com o objetivo de aumentar os meus conhecimentos na área da programação PHP, JAVA, HTML. Visto que nas 2 cadeiras da licenciatura que abordaram estas áreas da programação não foram exploradas a fundo aproveitei este projeto para as explorar um pouco mais.

Todo o trabalho implicou um imenso trabalho de pesquisa. Visto ser um projeto que envolvia áreas que ainda não tinham sido exploradas um pouco mais a fundo, a implementação de muitas das funções do projeto tornou-se um pouco trabalhosa. Graças à interligação necessária entre as diferentes componentes de software, nomeadamente, código do Arduíno, script Python, base de dados MySQL e página WEB, qualquer pequena alteração feita numa das componentes implicava alterações na seguinte.

A comunicação de dados feita através da ligação USB entre o Arduíno e o Raspberry PI deu alguns problemas que acabaram por ser resolvidos apenas no final do projeto, com uma pequena alteração do código do Arduíno. A manipulação da base de dados feita através da plataforma SQL, phpMyAdmin acelerou bastante o desenvolvimento e otimização da base de dados.

Em suma, os resultados obtidos são satisfatórios considerando os objetivos definidos, em que não se desejava um produto comercial, e por esse motivo foi suportado em plataformas grátis. A nível académico, os princípios de funcionamento e todo o código necessário para que funcione, foram assegurados. Algumas funcionalidades interessantes não foram implementadas, mas a solução criada faz tudo aquilo que era pretendido.

## **5.2 LIMITAÇÕES DO PROGRAMA / A MELHORAR**

- Não é possível, de momento, escolher qualquer data do calendário, que naturalmente tenha dados, para poder visualizar o seu gráfico de produção de energia.
- Caso a base de dados falhe, não será possível receber os valores atuais de da potência produzida, pois os valores mostrados nos gráficos são os últimos valores guardados na base de dados.
- Na página de Login, não existe uma verificação de utilizador ou de password, qualquer valor inserido pode ser utilizado para aceder à interface web.

- No que toca à gestão das cargas, foi considerado o uso de ar condicionado para a sala e corredor. Contudo, num contexto prático o simples controlo de um sistema de ar condicionado vai para além de um simples controlo através de um relé. Visto que os fabricantes possuem protocolos de comunicação específicos para cada um dos seus aparelhos e que a grande maioria destes protocolos não é *open source* a implementação prática não poderia ser feita de uma forma tão simples como a que foi documentada.
- Arduíno (código):
  - O Arduíno envia dados para o Raspberry PI a cada 15 s, isto pode introduzir um pouco de erro caso haja variações atmosféricas bruscas durante esse intervalo. Essencialmente estamos a considerar que o valor da potência gerada pelos painéis nesses 15 s é constante, o que na realidade não o é. Esta limitação prende-se com o facto de que a cada 15 s são colocados valores na base de dados e caso o intervalo de tempo em que enviamos dados fosse de por exemplo, de 3 s, o número de valores na base de dados seria 5x maior.

## *Referências Documentais*

- [1] Arnulf Jaeger-Waldau, Gaëtan Masson, Izumi Kaizuka, Alice Detollenaere, Johan Lindahl, Mary Brunisholz, “IEA PVPS Reporting Countries,” 2019. [Online]. Available: [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS\\_T1\\_35\\_Snapshot2019-Report.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_T1_35_Snapshot2019-Report.pdf). [Acedido em 25 8 2019].
- [2] Agency, 2018 IRENA - International Renewable Energy, “IRENA - International Renewable Energy,” 2018. [Online]. Available: <https://www.irena.org/en/solar>. [Acedido em 3 4 2019].
- [3] DGEG/MEc, PORDATA, “PORDATA - Consumo de energia elétrica: total e por tipo de consumo,” 19 12 2018. [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+por+tipo+de+consumo-1124>.
- [4] O. MINISTÉRIO DO AMBIENTE, “Decreto-Lei n.º 153/2014,” 20 10 2014. [Online]. Available: <https://dre.pt/application/conteudo/58406974>.
- [5] FF Solar - Energias Renováveis, LDA, “FF Solar,” 22 6 2017. [Online]. Available: [https://www.ffiolar.com/pdf/UPAC\\_vs\\_UPP20170622\\_pt.pdf](https://www.ffiolar.com/pdf/UPAC_vs_UPP20170622_pt.pdf).
- [6] R. P. FOUNDATION. [Online]. Available: <https://www.raspbian.org/>. [Acedido em 19 5 2019].
- [7] Wikipédia, “Servidor Apache - Wikipédia, a enciclopédia livre,” [Online]. Available: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Servidor\\_Apache](https://pt.wikipedia.org/wiki/Servidor_Apache). [Acedido em 14 10 2019].
- [8] Wikipédia, “JavaScript - Wikipédia, a enciclopédia livre,” [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/JavaScript>. [Acedido em 22 10 2019].
- [9] Wikipédia, “MySQL - Wikipédia, a enciclopédia livre,” [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/MySQL>. [Acedido em 9 10 2019].

- [10] Wikipédia, “PHP -Wikipédia, a enciclopédia livre,” [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/PHP>. [Acedido em 25 10 2019].
- [11] Wikipédia, “Python - Wikipédia, a enciclopédia livre,” [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Python>. [Acedido em 15 10 2019].
- [12] Renesola, “Renesola 156 Poly 235w-250w Datasheet RENVU-1,” 7 2012. [Online]. Available: [https://www.rebatsystems.com/uploads/products/rebat\\_systems\\_2699542016-04-29-23-42-49.pdf](https://www.rebatsystems.com/uploads/products/rebat_systems_2699542016-04-29-23-42-49.pdf). [Acedido em 28 7 2019].
- [13] YHDC, “SCT013,” [Online]. Available: [https://www.mcielectronics.cl/website\\_MCI/static/documents/Datasheet\\_SCT013.pdf](https://www.mcielectronics.cl/website_MCI/static/documents/Datasheet_SCT013.pdf). [Acedido em 27 10 2019].
- [14] Q. Z. L. Electronic, “2mA/2mA Voltage Transformer,” [Online]. Available: <https://www.micro-transformer.com/2ma-2ma-voltage-transformer-ZMPT101B.html>. [Acedido em 27 10 2019].
- [15] ARDUINO, “Arduino Uno Rev3,” [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. [Acedido em 27 10 2019].
- [16] RASPBERRY PI FOUNDATION, “Buy a Raspberry Pi 3 Model B+ - Raspberry Pi,” [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>. [Acedido em 27 10 2019].
- [17] SMA Solar Technology AG, “Operating Manual - SUNNY BOY 1300TL / 1600TL / 2100TL,” [Online]. Available: <http://files.sma.de/dl/5684/SB13-21TL-BE-en-11.pdf>. [Acedido em 8 20 2019].
- [18] “Home | OpenEnergyMonitor,” Open Energy Monitor, [Online]. Available: <https://openenergymonitor.org/>. [Acedido em 27 10 2019].

# Anexo A. Horários das tarifas simples e bi-horária

## Simple

Simple

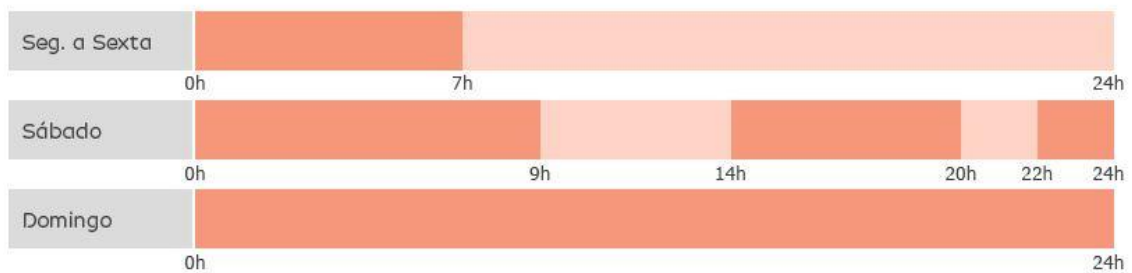
Hora legal de Verão e Inverno



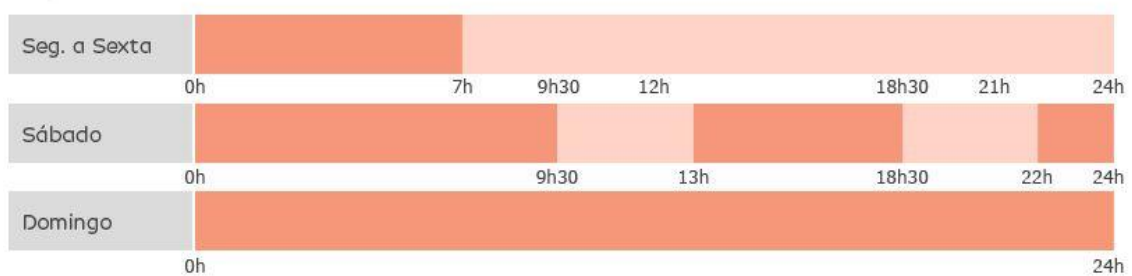
## Bi-Horária

Fora de vazio Vazio

Opção de ciclo semanal - Hora legal de Verão



Opção de ciclo semanal - Hora legal de Inverno



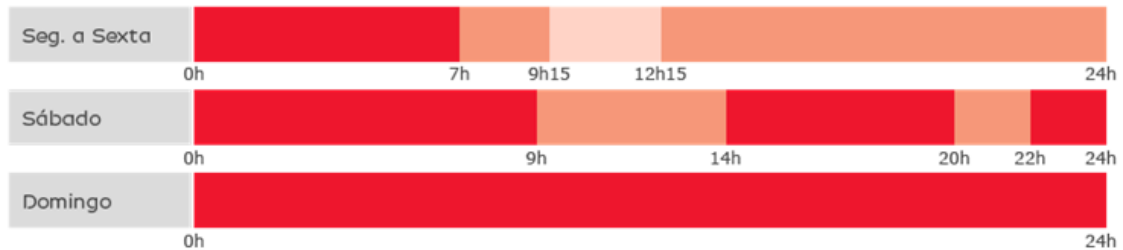
Opção de ciclo diário - Hora legal de Verão e Inverno



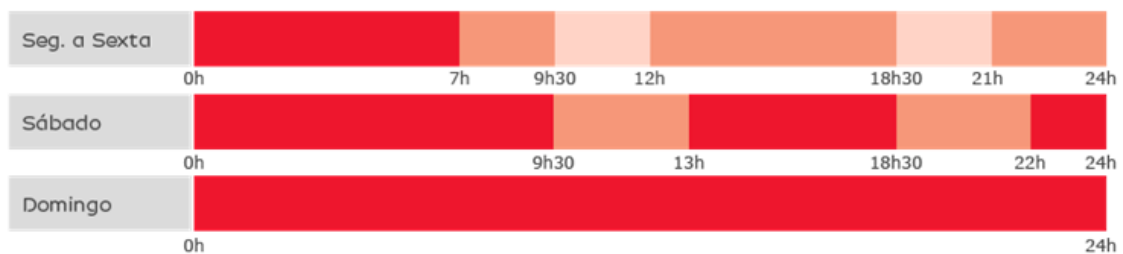
## Anexo B. Horários da tarifa tri-horária

■ Ponta
 ■ Cheias
 ■ Vazio

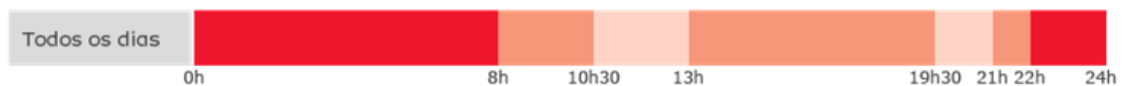
### Opção de ciclo semanal - Hora legal de Verão



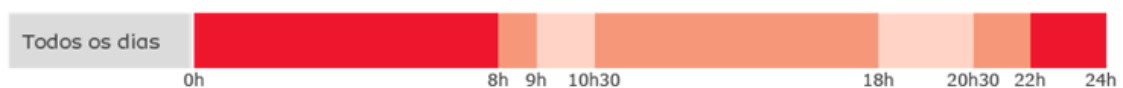
### Opção de ciclo semanal - Hora legal de Inverno



### Opção de ciclo diário - Hora legal de Verão



### Opção de ciclo diário - Hora legal de Inverno



## Anexo C. Especificação técnica do inversor SMA SUNNY BOY 2100TL

### DC Input

	SB 1300TL-10	SB 1600TL-10	SB 2100TL
Maximum DC power at $\cos \varphi = 1$	1,400 W	1,700 V	2,200 W
Maximum input voltage	600 V	600 V	600 V
MPP voltage range	115 V to 480 V	155 V to 480 V	200 V to 480 V
Rated input voltage	400 V	400 V	400 V
Minimum input voltage	100 V	125 V	125 V
Initial input voltage	120 V	150 V	150 V
Maximum input current	12 A	12 A	12 A
Maximum short-circuit current*	18 A	18 A	18 A
Maximum reverse current from the inverter in the system for max. 1 ms	0 A	0 A	0 A
Number of independent MPP inputs	1	1	1
Overvoltage category in accordance with IEC 60664-1	II	II	II

\* In accordance with IEC 62109-2: ISC PV

### AC Output

	SB 1300TL-10	SB 1600TL-10	SB 2100TL
Rated power at 230 V, 50 Hz	1,300 W	1,600 W	1,950 W
Maximum apparent AC power at $\cos \varphi = 1$	1,300 VA	1,600 VA	2,100 VA
Rated grid voltage	230 V	230 V	230 V
Nominal AC voltage	220 V / 230 V / 240 V	220 V / 230 V / 240 V	220 V / 230 V / 240 V
AC voltage range	180 V to 260 V	180 V to 260 V	180 V to 260 V
Nominal AC current at 220 V	5.9 A	7.3 A	8.7 A
Nominal AC current at 230 V	5.7 A	7.0 A	8.5 A
Nominal AC current at 240 V	5.4 A	6.7 A	8.1 A
Maximum output current	7.2 A	8.9 A	11.0 A
Inrush current	0 A	0 A	0 A
Total harmonic distortion of the output current with total harmonic distortion of the AC voltage < 2%, and AC power > 50% of the rated power	≤3%	≤3%	≤3%
Rated power frequency	50 Hz	50 Hz	50 Hz
AC power frequency	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz
Operating range at AC power frequency 50 Hz	44 Hz to 55 Hz	44 Hz to 55 Hz	44 Hz to 55 Hz
Operating range at AC power frequency 60 Hz	54 Hz to 65 Hz	54 Hz to 65 Hz	54 Hz to 65 Hz
Power factor at rated power	1	1	1
Feed-in phases	1	1	1
Connection phases	1	1	1
Overvoltage category in accordance with IEC 60664-1	III	III	III

### Efficiency

	SB 1300TL-10	SB 1600TL-10	SB 2100TL
Maximum efficiency, $\eta_{max}$	96.0%	96.0%	96.0%
European efficiency, $\eta_{EU}$	94.3%	95.0%	95.2%

# Anexo D. Especificação técnica do sensor de corrente SCT-013

**Model: SCT-013** **Rated input current: 5A/100A**

**Characteristics:** Opening size: 13mm\*13mm,  
 Non-linearity±3% (10%—120% of rated input current)  
 1m leading wire, standard Φ3.5 three core plug output.  
 Current output type and voltage output type (voltage output type built-in sampling resistor)

**Purpose:** Used for current measurement, monitor and protection for AC motor, lighting equipment, air compressor etc

**Core material:** ferrite

**Mechanical strength:** the number of switching is not less than 1000 times(test at 25°C)

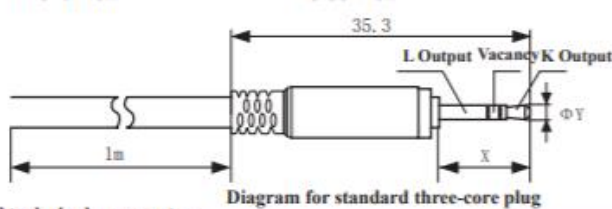
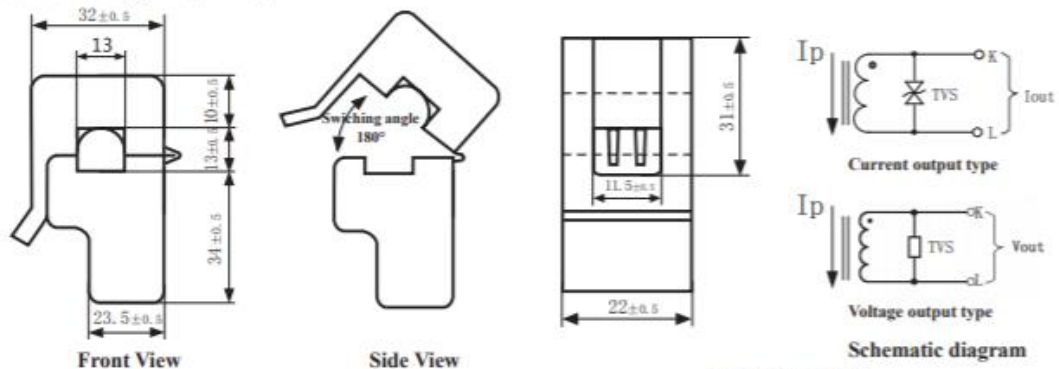
**Safety index:** Dielectric strength(between shell and output)1000V AC/1min

**Fire resistance property:** In accordance with UL94-Vo

**Work temperature:** -25°C~+70°C



**Outline size diagram: (in mm)**



Three-core plug size

	X	Y	
2.5mm Audio Plug	11.9	2.5	Optional
3.5mm Audio Plug	15.0	3.5	standard

**Table of technical parameter:**

<b>Model</b>	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
<b>Input current</b>	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
<b>Output type</b>	0-50mA	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V
<b>Model</b>	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-000V
<b>Input current</b>	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	0-100A
<b>Output type</b>	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V

※ Output type: voltage output type built-in sampling resistor, current output type built-in protective diode.

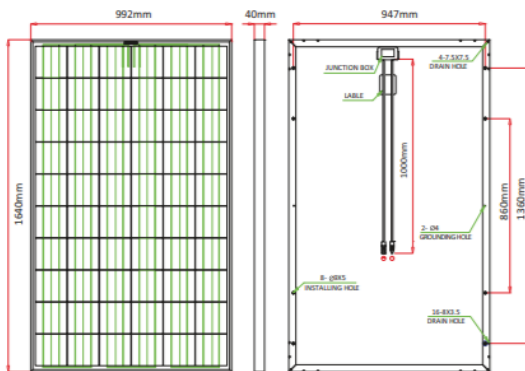
# Anexo E. Especificação técnica do módulo dólar Renesola JC245M-24/Bb

## ReneSola

### 156 Series Polycrystalline Solar Module

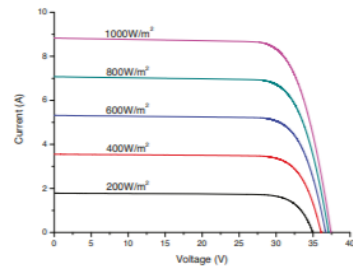
235W, 240W, 245W, 250W

#### Dimension



Drawing Only for Reference

#### I-V Curves



#### Efficiency at Varied Irradiation

Irradiance	200W/m <sup>2</sup>	400W/m <sup>2</sup>	600W/m <sup>2</sup>	800W/m <sup>2</sup>	1000W/m <sup>2</sup>
Efficiency	15.1%	15.4%	15.5%	15.5%	15.4%

#### Electrical Characteristics STC

	JC235M-24/Bb	JC240M-24/Bb	JC245M-24/Bb	JC250M-24/Bb
Maximum Power (Pmax)	235 W	240 W	245 W	250 W
Power Tolerance	0 ~ +5W	0 ~ +5W	0 ~ +5W	0 ~ +5W
Module Efficiency	14.4%	14.8%	15.1%	15.4%
Maximum Power Current (Imp)	8.03 A	8.08 A	8.19 A	8.31 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	29.3 V	29.7 V	29.9 V	30.1 V
Short Circuit Current (Isc)	8.58 A	8.64 A	8.73 A	8.83 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.0 V	37.2 V	37.3 V	37.4 V

Values at Standard Test Conditions STC (Air Mass AM1.5, Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C)

#### Electrical Characteristics NOCT

	JC235M-24/Bb	JC240M-24/Bb	JC245M-24/Bb	JC250M-24/Bb
Maximum Power (Pmax)	174 W	178 W	182 W	185 W
Maximum Power Current (Imp)	6.42 A	6.51 A	6.53 A	6.57 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	27.1 V	27.4 V	27.9 V	28.2 V
Short Circuit Current (Isc)	6.92 A	6.97 A	7.04 A	7.12 A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.4 V	34.7 V	35.0 V	35.0 V

Values at Normal Operating Cell Temperature, Irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s

#### Mechanical Characteristics

Cell Type	156 x156 mm Polycrystalline, 60 (6x10) pcs in series
Glass	High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminum Alloy
Junction Box	IP65/IP67 rated, with bypass diodes
Dimension	*1640 x 992 x 40 mm
Output Cable	4mm <sup>2</sup> (EU)/12 AWG(US), 1000mm
Weight	19 Kg
Installation Hole Location	See Drawing Above

#### Characteristics

Temperature Coefficient of Voc	-0.30%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.04%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.40%/°C
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C

#### Packing Information

	20' GP	40' GP	40' HQ
Container	20' GP	40' GP	40' HQ
Pallets per Container	12	28	28
Pieces per Container	300	700	770

Rev No: JC1705/2012.07 \*Contact Renesola for tolerance specification  
CAUTION: All rights reserved. Design and specification are subject to change without prior notice.

#### Maximum Ratings

Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Maximum System Voltage	1000VDC (EU) / 600VDC (US)
Maximum Series Fuse Rating	20A (EU) / 15A (US)

# Anexo F. Especificação técnica do sensor de tensão ZMPT101B

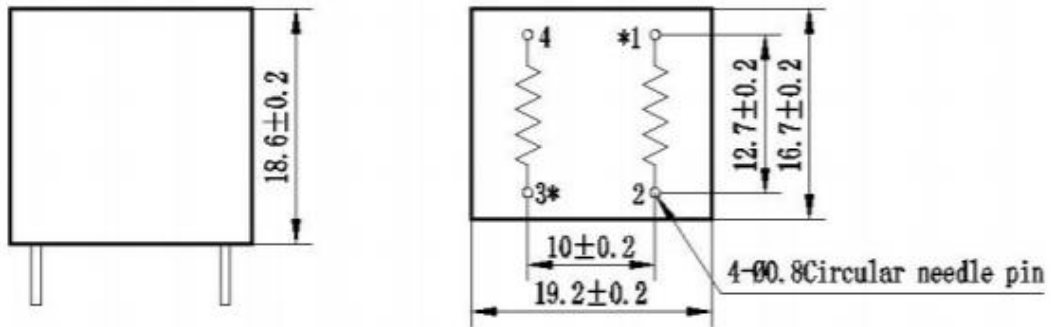
Qingxian Zeming Langxi Electronic

www.micro-transformer.com

## ZMPT101B Current-type Voltage Transformer

Small size, high accuracy, good consistency, for voltage and power measurement

### Structural parameters:



Remarks: primary input: 1, 2 pins secondary output: 3, 4pins  
Or  
primary input: 3, 4 pins secondary output: 1, 2pins  
\*\*\* Same polarity

Front view

Bottom view

### The main technical parameters:

Model	ZMPT101B
Rated input current	2mA
Rated output current	2mA
turns ratio	1000:1000
phase angle error	$\leq 20'$ (input 2mA, sampling resistor 100 $\Omega$ )
<b>operating range</b>	<b>0~1000V 0~10mA (sampling resistor 100<math>\Omega</math>)</b>
linearity	$\leq 0.2\%$ (20% dot ~ 120% dot)
Permissible error	$-0.3\% \leq f \leq +0.2\%$ (input 2mA, sampling resistor 100 $\Omega$ )
isolation voltage	4000V
application	voltage and power measurement
Encapsulation	Epoxy
installation	PCB mounting (Pin Length > 3mm)
Operating temperature	-40 $^{\circ}$ C ~ +60 $^{\circ}$ C
<b>Case Material</b>	<b>ABS (Note: ABS CASE is NOT available for wave-soldering)</b>

Tel: 86-25-52601870

E-mail: zm@zeming-e.com

# Anexo G. Especificação técnica do relé SRD-12VDC-SL-C

## 6. COIL DATA CHART (AT20°C)

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance ( $\Omega$ ) $\pm 10\%$	Power Consumption (W)	Pull-In Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max-Allowable Voltage (VDC)
SRD (High Sensitivity)	03	03	120	25	abt. 0.36W	75%Max.	10% Min.	120%
	05	05	71.4	70				
	06	06	60	100				
	09	09	40	225				
	12	12	30	400				
	24	24	15	1600				
SRD (Standard)	03	03	150	20	abt. 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	05	05	89.3	55				
	06	06	75	80				
	09	09	50	180				
	12	12	37.5	320				
	24	24	18.7	1280				
	48	48	10	4500	abt. 0.51W			

## 7. CONTACT RATING

Item	Type	SRD	
		FORM C	FORM A
Contact Capacity		7A 28VDC	10A 28VDC
Resistive Load ( $\cos\phi=1$ )		10A 125VAC 7A 240VAC	10A 240VAC
Inductive Load ( $\cos\phi=0.4$ L/R=7msec)		3A 120VAC 3A 28VDC	5A 120VAC 5A 28VDC
Max. Allowable Voltage		250VAC/110VDC	250VAC/110VDC
Max. Allowable Power Force		800VAC/240W	1200VA/300W
Contact Material		AgCdO	AgCdO

## 8. PERFORMANCE (at initial value)

Item	Type	SRD
Contact Resistance		100m $\Omega$ Max.
Operation Time		10msec Max.
Release Time		5msec Max.
Dielectric Strength	Between coil & contact	1500VAC 50/60HZ (1 minute)
	Between contacts	1000VAC 50/60HZ (1 minute)
Insulation Resistance		100 M $\Omega$ Min. (500VDC)
Max. ON/OFF Switching	Mechanically	300 operation/min
	Electrically	30 operation/min
Ambient Temperature		-25°C to +70°C
Operating Humidity		45 to 85% RH
Vibration	Endurance	10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
	Error Operation	10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Shock	Endurance	100G Min.
	Error Operation	10G Min.
Life Expectancy	Mechanically	10 <sup>7</sup> operations. Min. (no load)
	Electrically	10 <sup>5</sup> operations. Min. (at rated coil voltage)
Weight		abt. 10grs.

## 9. REFERENCE DATA

