

SISTEMA INTELIGENTE DE APOIO À DECISÃO PARA A SELEÇÃO DO MELHOR COMERCIALIZADOR DE ENERGIA ELÉTRICA

Júlio Aires Hermenegildo



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2020

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Unidade Curricular de Projeto/Estágio, do 3º ano, da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Júlio Aires Hermenegildo, N° 1140586, 1140586@isep.ipp.pt

Orientação científica: António Quadros Flores, aqf@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

12 de julho de 2020

Agradecimentos

Gostaria de agradecer, primeiramente, à minha família que me apoiou a 100% neste desafio que é frequentar um curso no ensino superior, sem ajuda deles não seria possível concluir esta etapa.

Ao Engenheiro António Quadros Flores por ter aceite ser o meu orientador na realização deste projeto e por ter demonstrado toda a disponibilidade em ajudar na realização deste projeto.

A todas as pessoas que fizeram parte do meu percurso académico, a todos os amigos com quem fiz amizade durante o meu percurso e que estiveram sempre presentes para me ajudarem a ultrapassar qualquer obstáculo.

Resumo

Atualmente, grande parte dos consumidores de energia elétrica optaram por um comercializador de energia sem conhecimento prévio das suas vantagens monetárias, quer por desconhecimento ou dificuldade de acesso à informação, ou simplesmente pelo facto de ser trabalhoso calcular o melhor comercializador. Urge, assim, a necessidade de um sistema inteligente que, através da medição da energia elétrica consumida na habitação, auxilie o consumidor na escolha do comercializador mais benéfico. O sistema que se propõe irá efetuar a leitura da energia consumida através de um sensor de corrente ligado ao quadro elétrico da habitação e, utilizando os tarifários oferecidos pelos comercializadores, irá apresentar os valores monetários que o consumidor teria de pagar caso usufruísse dos seus serviços energéticos. Acresce que o sistema será capaz de apresentar ao utilizador os valores da energia elétrica consumida diariamente e mensalmente e, ainda, o seu custo monetário, consoante o tarifário e comercializador contratado. Por conseguinte, o utilizador terá acesso à informação através de uma aplicação Android previamente instalada no smartphone. Esta aplicação utiliza a tecnologia de comunicação *Bluetooth* para comunicar com o sistema de forma a receber e enviar os dados pretendidos. O software utilizado para a programação da aplicação móvel foi o Android Studio, uma vez que o sistema operativo escolhido para o desenvolvimento do projeto foi o *Android*.

Palavras-Chave

Monitorização de Energia Elétrica, Aconselhamento do Comercializador de Energia, Bluetooth, Android, Android Studio, Java.

Abstract

Nowadays, most electricity consumers have opted for an energy supplier without prior knowledge of their monetary advantages, either due to lack of knowledge or difficulty in accessing information, or simply because it is laborious to calculate the best supplier. Thus, there is an urgent need for an intelligent system that, by measuring the electricity consumed in the home, assists the consumer in choosing the most beneficial supplier. The proposed system will read the energy consumed through a current sensor connected to the electrical panel of the habitation and, using the tariffs offered by the traders, will present the monetary values that the consumer would have to pay if he used his energy services. In addition, the system will be able to present to the user the values of the electricity consumed daily and monthly, as well as its monetary cost, depending on the tariff and contracted supplier. Consequently, the user will have access to the information through an android application previously installed on the smartphone. This application uses Bluetooth communication technology to communicate with the system in order to receive and send the desired data. The software used for programming the mobile application was Android Studio, since the operating system chosen for the development of the project was Android.

Keywords

Electricity Monitoring, Energy Supplier Adviser, Bluetooth, Android, Android Studio, Java.

Índice

<i>Agradecimentos</i>	<i>i</i>
Resumo	<i>ii</i>
Abstract	<i>iii</i>
<i>Índice</i>	<i>iv</i>
<i>Índice de Figuras</i>	<i>vi</i>
<i>Índice de Tabelas</i>	<i>viii</i>
Acrónimos	<i>x</i>
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 ÂMBITO	1
1.2 DESCRIÇÃO DO PROJETO	2
1.3 CRONOGRAMA	2
1.4 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	3
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1 PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	5
2.2 SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA	7
2.3 HISTÓRIA DA COMUNICAÇÃO BLUETOOTH	9
2.4 SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO DE ENERGIA DA HABITAÇÃO	10
2.4.1 PLOGG	10
2.4.2 ECO-EYE ELITE	11
2.4.3 OWL CM 160	12
2.4.4 EFERGY ELITE	12
2.4.5 ENVIR AMB	13
3. ESTUDO PRELIMINAR DO PROJETO	15
3.1 ABORDAGEM INICIAL	15
3.2 MATERIAL UTILIZADO	16
3.4 MICROCONTROLADOR ATMEGA328	16
3.3 DISPLAY LCD 16X2	17
3.5 MÓDULO BLUETOOTH	18
3.6 SENSOR DE CORRENTE SCT	19
3.7 ANDROID STUDIO	20
3.8 ATMEL STUDIO	21

3.9	CIRCUITO DE OBTENÇÃO DO VALOR DA CORRENTE	22
3.10	TARIFÁRIOS E COMERCIALIZADORES.....	25
4.	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	29
4.1	PROTÓTIPO	29
4.2	MONTAGEM DO CIRCUITO DE OBTENÇÃO DO VALOR DA CORRENTE	31
4.3	MONTAGEM DO CIRCUITO REFERENTE AO MÓDULO BLUETOOTH	32
4.4	PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR ATMEGA328.....	33
4.4.1	INICIALIZAÇÕES.....	33
4.4.2	CÓDIGO PARA A LEITURA DO SENSOR SCT.....	33
4.4.3	CÓDIGO PARA A LEITURA E ENVIO DE DADOS VIA BLUETOOTH.....	34
4.5	PROGRAMAÇÃO DA APLICAÇÃO ANDROID.....	36
4.5.1	<i>LAYOUTS</i>	36
4.5.2	ACTIVITY.JAVA.....	41
5.	Testes experimentais	45
6.	Conclusões.....	47
7.	Referências documentais	50

Índice de Figuras

Figura 1 - Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal [2]	6
Figura 2 - Evolução da Produção de Eletricidade por Fonte em Portugal [11].....	7
Figura 3 - Sistema de Energia Elétrica [12]	8
Figura 4 – Dispositivo de monitorização de energia Plogg.....	11
Figura 5 - Dispositivo de monitorização de energia Eco-Eye Elite [4].....	11
Figura 6 - Sistema de monitorização de energia OWL [4].....	12
Figura 7 - Dispositivo de monitorização de energia Efergy Elite [4].....	13
Figura 8 - Sistema de monitorização de energia Envir AMB [4].....	14
Figura 9 – Fluxograma inicial	15
Figura 10 – Microcontrolador ATmega328 [13].....	17
Figura 11 – Display <i>lcd</i>	17
Figura 12 – Módulo HC-05 [14]	18
Figura 13 – Sensor de corrente SCT [16].....	19
Figura 18 – Android Studio.....	21
Figura 19 - Atmel Studio.....	21
Figura 20 – Sinal analógico da corrente à saída do SCT [16]	23
Figura 21 - Montagem do SCT com a resistência de carga [16].....	23
Figura 22 – Sinal analógico da corrente amplificado [16]	24
Figura 24 - Circuito de offset	25
Figura 25 - Sinal de tensão inicial e final.....	25
Figura 27 - Tarifa Simples	26
Figura 28 - Tarifa Bi-horário.....	27
Figura 29 - Tarifa Tri-horário.....	28
Figura 30 - Montagem do protótipo	29
Figura 31 - Montagem do protótipo	30
Figura 32 - Esquema Elétrico de ligação	30
Figura 33 - Placa de Circuito Impresso.....	31
Figura 34 - Circuito de obtenção de corrente	31
Figura 35 - Montagem do circuito referente ao módulo Bluetooth.....	32
Figura 36 - Fluxograma do envio de dados via Bluetooth	34
Figura 37 – Leitura dos dados via Bluetooth	35
Figura 38 – Seleção do tarifário, da potência e comercializador	36
Figura 39 - Layout inicial.....	37

Figura 40 - Layout das Definições	38
Figura 41 - Layout das Definições para alteração de tarifa.....	38
Figura 42 - Layout do Consumo	39
Figura 43 - Layout do preço a pagar com outra operadora	40
Figura 44 - Código para ativar Bluetooth.....	41
Figura 45 - Transmissão das variáveis	42
Figura 46 - Conexão Bluetooth	43
Figura 47 – Programação para a recepção dos dados no smartphone	44

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Cronograma.....	3
Tabela 2 – Pinos referentes ao módulo bluetooth	18
Tabela 3 - Modelos do sensor SCT-013.....	20
Tabela 4 - Resultados da medição da corrente	45
Tabela 5 – Preços a pagar pelo consumo de 11.37 kWh.....	46

Acrónimos

BTN – Baixa Tensão Normal

SEE – Sistema de Energia Elétrica

kWh – Kilowatt hora

W – Watt

I – Corrente

V – Tensão

R - Resistência

SCT - Split core current transformer

lcd - Liquid Crystal Display

EEPROM - Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory

I_1 - Corrente na bobina do Enrolamento Primário

I_2 - Corrente na bobina do Enrolamento Secundário

I_p - Corrente de Pico

VRMS - Tensão Eficaz

ADC - Analog to Digital Converter

1. INTRODUÇÃO

A eletricidade possui uma forte importância no dia-a-dia dos consumidores, é essencial para o atual dia-a-dia e a sua utilização tende a aumentar cada vez mais. Atualmente grande parte da produção de energia elétrica tem origem em recursos não renováveis e poluentes, como o petróleo e o carvão, mas devido à sua natureza finita e poluente, têm sido tomadas iniciativas de forma a reduzir a sua utilização. É principalmente através da produção de energia elétrica renovável e da eficiência energética que se espera reduzir a utilização dos recursos fósseis.

A monitorização dos consumos de eletricidade realizados na habitação é essencial para a gestão de energia, pelo que é fundamental para a mudança de comportamento o conhecimento de quando, quanto e como é realizado esse consumo. Atualmente o consumidor não tem acesso a nenhuma informação acerca do seu padrão de consumo, pois os contadores elétricos tradicionais não oferecem nenhuma informação sobre o mesmo, de tal forma que o consumidor dificilmente saberá como e onde reduzir o consumo.

Assim, é de grande interesse o desenvolvimento de um sistema de monitorização do consumo de energia, capaz de guardar diversos dados referentes ao consumo, que ofereça, em tempo real, o valor de energia que está a ser consumida pela habitação e que auxilie o consumidor a optar pelo comercializador mais vantajoso demonstrando os valores monetários que poderia economizar.

1.1 ÂMBITO

O projeto foi desenvolvido no âmbito da disciplina Projeto/Estágio, do departamento de Engenharia Eletrotécnica e Computadores do Instituto Superior de Engenharia do Porto, pelo aluno Júlio Aires Hermenegildo.

1.2 DESCRIÇÃO DO PROJETO

O projeto consiste no desenvolvimento de um sistema capaz de medir a energia elétrica consumida num dado período de tempo, por uma instalação de utilização do tipo habitação e extensível a comércio, ou indústria, dependendo dos dados inseridos relativos a cada comercializador de energia. O sistema terá como principal objetivo auxiliar o consumidor na escolha do comercializador mais vantajoso através do cálculo do preço que o consumidor teria de pagar se tivesse optado pelos serviços energéticos de qualquer outra operadora comercial e o valor que pouparia mensalmente e anualmente. O valor da energia elétrica consumida num dado período de tempo será dado pelo valor da corrente elétrica que passa no quadro elétrico da residência, obtido através do sensor não-intrusivo STC-013-000, multiplicado pela tensão da rede elétrica (230 V) e pelo período de tempo em que a medição foi realizada. Como o sistema foi apenas projetado para consumidores em BTN, onde a energia reativa não é faturada, não é necessário ter em conta o fator de potência da instalação.

O microcontrolador utilizado foi o *ATmega328* pertencente à família dos microcontroladores AVR Atmel. O microcontrolador será responsável por receber a informação enviada pelo sensor STC, utilizando esses dados para o cálculo da energia consumida. De seguida, é calculado o valor monetário a pagar por essa mesma energia, consoante o tarifário e o comercializador selecionado pelo utilizador. Por fim terá de ser capaz de enviar os dados processados através da tecnologia *Bluetooth*, para uma aplicação de um smartphone *Android* para fácil leitura do operador.

O módulo *Bluetooth* selecionado foi o módulo HC-05 utilizado em modo *slave*, ou seja, apenas permite a conexão de outros dispositivos a si mesmo.

Para a programação da aplicação android foi utilizado o ambiente de desenvolvimento integrado Android Studio, lançado pela Google, recorrendo à linguagem de programação *JavaScript*.

1.3 CRONOGRAMA

A tabela seguinte demonstra o tempo utilizado para o desenvolvimento de cada etapa sendo representadas pelos campos preenchidos a azul

Tabela 1 - Cronograma

Etapas	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Abr	Mai	Jun
Análise e estudo do projeto.											
Estudo do funcionamento do sensor SCT e do módulo Bluetooth HC-05.											
Pesquisa sobre o software de programação Android Studio.											
Programação do ATmega para a leitura do Sensor SCT e envio de dados via <i>Bluetooth</i> .											
Programação da aplicação android.											
Montagem do circuito numa placa de ensaio para realização de ensaios.											
Otimização do projeto e realização do respetivo relatório.											
Entrega do projeto.											

1.4 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Este relatório é dividido em quatro tópicos principais: Estado da Arte, Estudo Preliminar do Projeto, Desenvolvimento do Projeto e Conclusões. Cada um destes tópicos terá como objetivo explicar o desenvolvimento deste projeto, desde conceitos teóricos a montagens práticas.

No capítulo referente ao Estado da Arte é feita uma descrição do sistema de produção e comercialização da energia elétrica e são apresentados os módulos principais do *hardware/software*, nomeadamente a evolução da comunicação *Bluetooth* e descrição do microcontrolador *ATmega328*; além disso são referidas as tecnologias já existentes no mercado para a medição de energia elétrica.

No capítulo correspondente ao Estudo Preliminar do Projeto é demonstrada a abordagem inicial realizada, são definidas as características do produto a desenvolver, o material necessário a utilizar e alguns conceitos teóricos aplicáveis no projeto. Inicialmente são demonstradas as especificações do material utilizado, nomeadamente do microcontrolador *ATmega328*, do *Display lcd* e mais pormenorizadamente é explicado o funcionamento do sensor de corrente SCT, as suas características e o circuito necessário para a obtenção da corrente. De seguida é feita uma breve explicação sobre os módulos *Bluetooth* disponíveis para a utilização no projeto e referenciado o módulo optado para o projeto. Após isto, é feita uma pequena explicação sobre o *software* de programação da aplicação *Android*. Por fim, são expostas as tarifas e os comercializadores de energia elétrica atuais em Portugal.

De seguida, no tópico do Desenvolvimento do Projeto, é feita a descrição prática do que foi realizado até chegar ao produto final. São ilustradas as montagens necessárias para a obtenção da corrente através do sensor SCT, para o correto funcionamento do módulo *Bluetooth* HC-05 e do *display lcd*. Posteriormente, são demonstrados frações de códigos essenciais, referentes à programação do microcontrolador e da aplicação *Android*, para o funcionamento do projeto.

No capítulo referente às conclusões é realizada uma reflexão sobre todo o trabalho concebido, uma autoavaliação do produto em si e uma verificação aos objetivos cumpridos. São também abordadas as dificuldades encontradas ao longo da realização de todo o projeto e os possíveis melhoramentos futuros e otimizações.

2. ESTADO DA ARTE

O Estado da Arte de um projeto é uma secção importante devido ao facto de serem referenciados projetos e estudos semelhantes ao realizado, facilitando assim uma melhor apreciação quanto à inovação do projeto. Além disso auxilia na melhoria e inovação de projetos através da comparação com projetos semelhantes.

2.1 PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica, nos dias de hoje, é produzida através de diversas fontes de energia. Essas fontes de energia ou recursos energéticos podem ser classificados em dois grupos: energia renovável e energia não renovável.

As fontes de energia renovável são aquelas em que a sua utilização é renovável e pode ser aproveitada ao longo do tempo sem a possibilidade de esgotamento ou que podem ser repostas a curto ou médio prazo. São consideradas energias limpas pois a sua utilização causa um impacto nulo ou quase nulo no meio ambiente. O aproveitamento destas fontes de energia tem vindo a aumentar ao longo dos anos representando uma pequena parte da produção de energia elétrica mundial. Alguns exemplos de energias renováveis são:

- Hidroelétrica
- Solar
- Eólica
- Geotérmica
- Biomassa
- Marés e Oceanos
- Hidrogénio

Atualmente, a produção de energia provém fundamentalmente de fontes de energia não renovável. Encontram-se na natureza em grandes quantidades, mas uma vez esgotadas, não são regeneradas ou é necessário muito tempo para a sua formação na natureza. Ao contrário da energia renovável, são consideradas energias poluentes pois a sua utilização causa um grande impacto no meio ambiente. Alguns exemplos de energia não renovável são:

- Combustíveis fósseis: petróleo, carvão e gás natural
- Energia nuclear

Em Portugal, a produção de energia renovável tem aumentado substancialmente ao longo dos anos, nomeadamente no aproveitamento da energia hídrica e eólica, chegando a ter uma percentagem de 55.2 da energia produzida no primeiro semestre de junho de 2019, segundo os dados adquiridos pela Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN) [2].

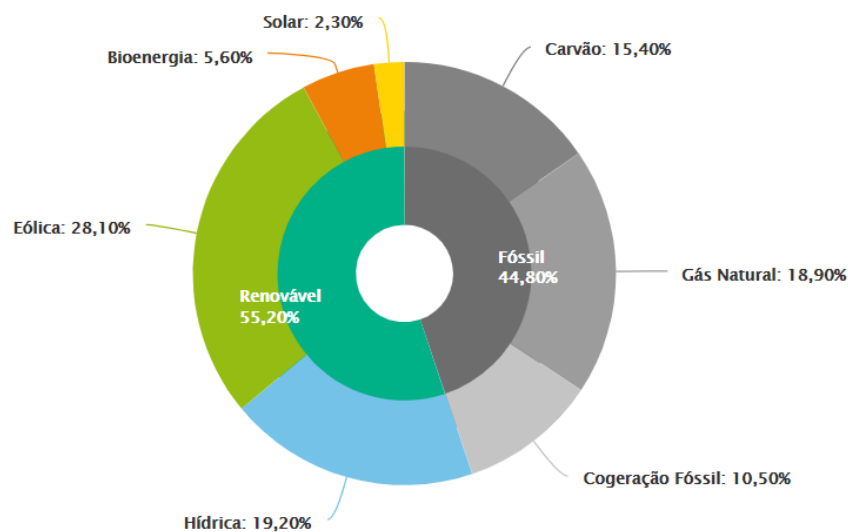


Figura 1 - Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal [2]

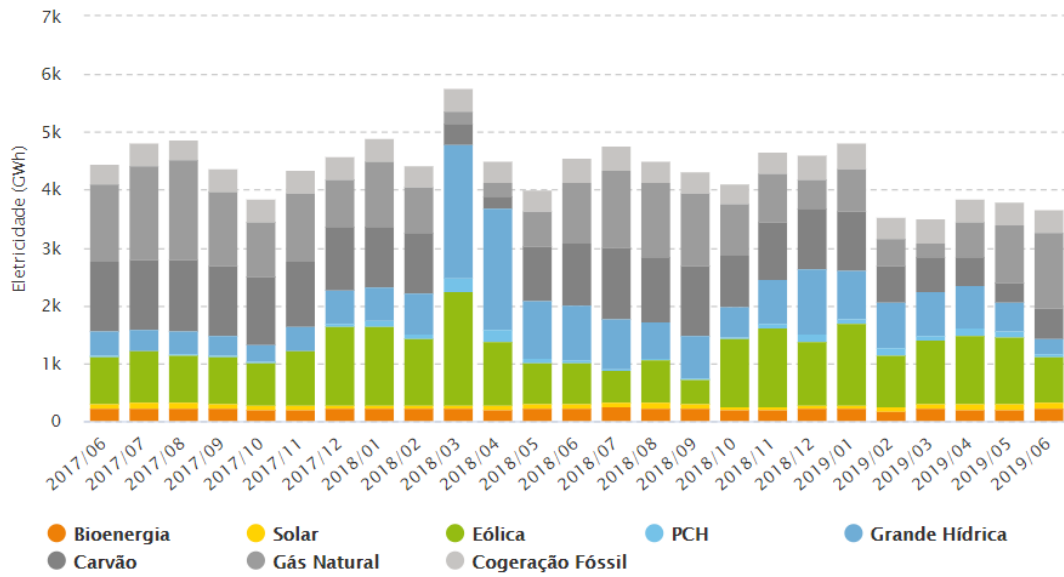


Figura 2 - Evolução da Produção de Eletricidade por Fonte em Portugal [11]

2.2 SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA

O Sistema de Energia Elétrica (SEE) foi concebido com a função principal de entregar energia elétrica aos consumidores. A energia elétrica é produzida em centrais elétricas que normalmente se situam em locais afastados dos locais de consumo e sendo assim, é necessário transportar a energia desde o local onde é produzida até aos locais onde é consumida. Para o transporte de energia elétrica são necessárias infraestruturas físicas, constituídas por linhas aéreas ou cabos subterrâneos. A estas estruturas físicas estão acoplados os transformadores de energia que criam condições para que o transporte da energia se realize com as menores perdas possíveis elevando a tensão a altas tensões e reduzindo a corrente mantendo assim a potência fornecida constante. Assim, quanto menor for a intensidade de corrente, menor será a potência dissipada por efeito de Joule, dada pela equação:

$$P_{dissipada} = R * \int_{t1}^{t2} I^2 dt \quad (1)$$

A figura seguinte ilustra todo o processo da energia elétrica.

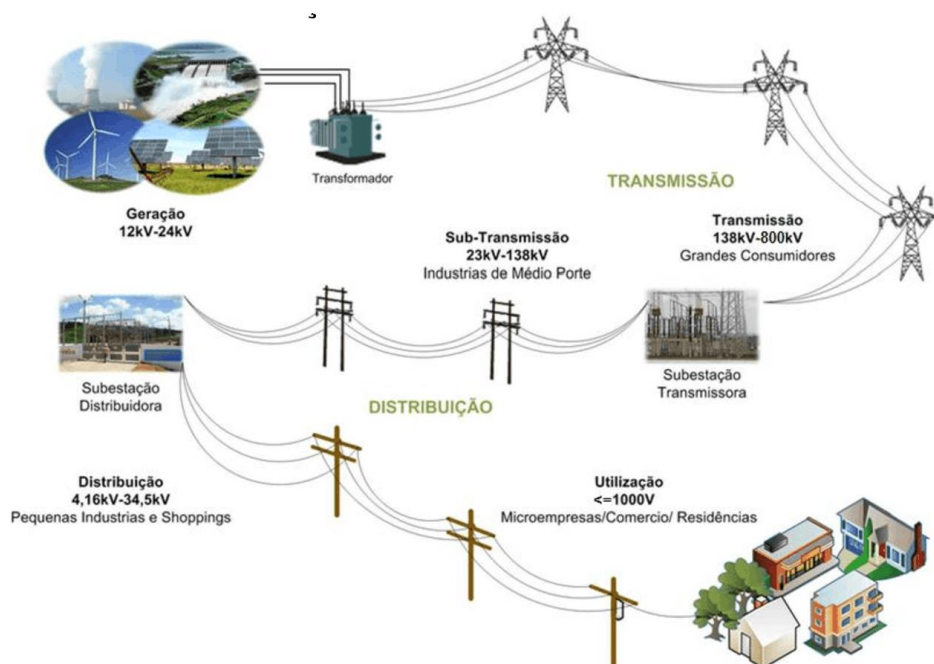


Figura 3 - Sistema de Energia Elétrica [12]

A corrente elétrica é um fluxo organizado de eletrões que percorre um material. Nos metais, existem eletrões que podem libertar-se da estrutura da nuvem eletrónica e mover-se livremente através do material, originando, assim, uma corrente elétrica. Para manter a corrente de eletrões, é preciso fornecer energia, uma vez que os eletrões vão perdendo, nas colisões com a estrutura do material. É por esta razão que os fios condutores aquecem quando são percorridos por correntes elétricas dando origem a perdas por efeito de Joule. [3]

O funcionamento do SEE é bastante complexo, por diversas razões, a principal das quais é a necessidade de obedecer a uma condição essencial: a produção de energia elétrica tem de igualar, em cada instante, o consumo verificado nesse instante adicionando das perdas observadas na transmissão da energia elétrica. A satisfação desta condição é essencial, uma vez que as características da energia elétrica não a tornam adequada a ser armazenada. Na verdade, a energia elétrica pode ser armazenada, utilizando, para o efeito, as conhecidas baterias. No entanto, a quantidade de energia elétrica que é possível armazenar em baterias é mínima, quando comparada com os movimentos de energia associados à satisfação do consumo de um país. Não sendo possível armazenar energia

na sua forma elétrica, a condição referida tem de ser assegurada em cada instante. Apesar de se usarem técnicas avançadas de previsão dos consumos, é evidente que a sua eficácia não pode ser total, pelo que a utilização de sistemas de controlo é essencial para regular a energia fornecida pelas centrais elétricas com essa capacidade. Para além deste requisito, existem outros requisitos igualmente importantes no SEE [3], nomeadamente:

- A energia elétrica deve ser fornecida em qualquer local solicitado
- Os custos de produção devem ser minimizados
- O impacto ambiental deve ser mínimo

2.3 HISTÓRIA DA COMUNICAÇÃO BLUETOOTH

Criado em 1994 o *Bluetooth* é uma tecnologia de comunicação de curta distância com o objetivo de substituir os fios que conectam os dispositivos móveis (ou fixos), garantindo a mesma segurança na comunicação. O nome “Bluetooth” provém de uma homenagem a um rei Dinamarquês do século X Harald Blåtand Gormsen também conhecido como Harald “Bluetooth” Gormsen, pois este rei ajudou a unir fações em guerra nos territórios que atualmente correspondem à Noruega, Suécia e Dinamarca e esta tecnologia consiste numa forma de unificação e comunicação entre diferentes dispositivos.

A empresa Ericsson foi uma das pioneiras no desenvolvimento desta tecnologia, começando as suas pesquisas por volta do ano de 1994 procurando investir no desenvolvimento de uma forma de comunicação sem fios entre dispositivos móveis.

Inicialmente, as primeiras comunicações *Bluetooth* não tinham a melhor qualidade, mas com a evolução tecnológica e com as novas descobertas científicas, acabou por se tornar numa forma de comunicação bastante fiável e rápida.

Neste projeto vai ser utilizada a comunicação *Bluetooth* para a transmissão de dados entre o microcontrolador *ATmega328* e a aplicação *android* do *smartphone*. Primeiramente será utilizada a comunicação *Bluetooth* aquando da instalação do projeto na habitação de modo a que o utilizador possa transmitir para o microcontrolador qual a comercializador de energia que fornece a energia, qual a potência contratada e a tarifa que usufrui (Simples, Bi-Horário ou Tri-Horário). Caso tenham existido alterações

relativamente ao custo do kWh e da potência contratada, o utilizador será capaz de realizar a alteração através do smartphone ou se pretender inserir uma tarifa e um comercializador novo. De seguida, a comunicação *Bluetooth* somente será utilizada para a transmissão dos dados calculados pelo microcontrolador para a aplicação *Android*, de modo a que o utilizador consiga consultar pela aplicação, sempre que pretender, os consumos realizados pela sua habitação.

2.4 SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO DE ENERGIA DA HABITAÇÃO

Este capítulo apresenta os sistemas de monitorização de energia disponíveis para a monitorização do consumo de energia elétrica de apenas um equipamento elétrico e ou os consumos totais de eletricidade numa habitação. Ao contrário destes sistemas, o sistema desenvolvido tem como objetivo, não só o controlo e redução do consumo energético, mas principalmente auxiliar o consumidor na escolha do comercializador com mais vantagens a nível económico.

2.4.1 PLOGG

Desenvolvido por uma empresa britânica, o *Plogg*, é um aparelho do tipo *plug-in* e pode ser utilizado para monitorizar o consumo de energia em aparelhos domésticos, tais como arcas frigoríficas e fogões elétricos, entre outros. Para além de realizar medições acerca do consumo de energia numa tomada elétrica, efetua também o controlo remoto do aparelho, permitindo por exemplo ligar ou desligar aparelhos para funcionarem num determinado horário.

É comercializada também uma versão com um sensor de corrente externo, do tipo *split-core*, semelhante ao utilizado neste projeto, podendo ser instalado no quadro elétrico de uma habitação possibilitando assim a monitorização dos consumos de energia de toda a habitação.

A informação obtida pelo dispositivo é enviada para um servidor central via internet e pode ser consultada através de uma página *web*. [4]

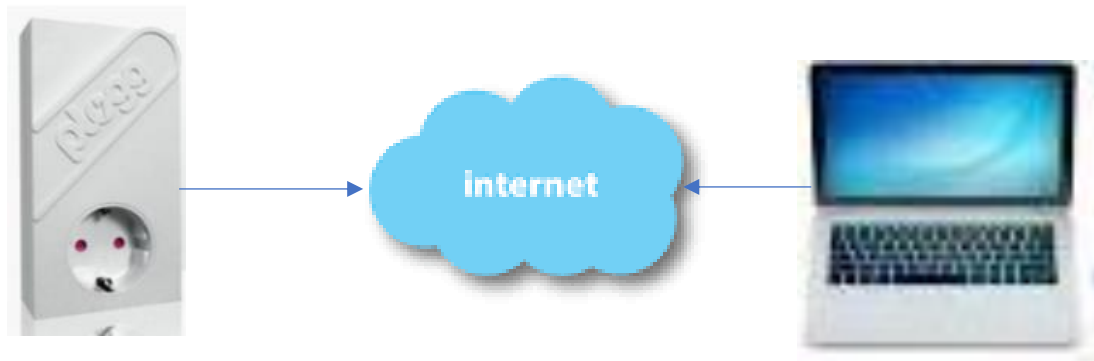


Figura 4 – Dispositivo de monitorização de energia Plogg

2.4.2 ECO-EYE ELITE

O *Eco-Eye Elite*, ilustrado na figura 7, é constituído por um sensor de corrente do tipo *split-core*, um transmissor sem fios e *lcd* portátil. Este sistema permite a monitorização de ligações elétricas com uma ou mais fases e efetua a amostragem da corrente a cada 4 segundos. O *lcd* exibe o custo de energia consumida por hora, por dia, por semana, por mês ou por ano, permite a programação de até sete tarifas diferentes e também apresenta valores equivalentes de emissão de CO_2 para a atmosfera. [4]



Figura 5 - Dispositivo de monitorização de energia Eco-Eye Elite [4]

2.4.3 OWL CM 160

O sistema de monitorização *OWL*, ilustrado na figura 8, possui um sensor de corrente, um transmissor sem fios e uma unidade de visualização que pode ser colocada até 30 metros do transmissor. Este sistema efetua a medição da corrente que passa no cabo para calcular o consumo de eletricidade em euros ou em kWh, assim como das emissões de gases de efeito estufa. Permite ainda guardar os dados das medições efetuadas, assim como realizar uma comparação entre os períodos de consumo. [4]

Este sistema possibilita ao utilizador inserir os valores das tarifas aplicadas nos países que usam o dólar ou o euro como moeda. Assim o utilizador pode definir os seguintes parâmetros:

- Programar até 4 tarifas;
- Definir alarmes consoante o consumo ou hora a partir do qual o alarme soa;
- Tensão nominal (110 ou 230 V);



Figura 6 - Sistema de monitorização de energia OWL [4]

2.4.4 EFERGY ELITE

O sistema de monitorização *Efergy Elite*, ilustrado na Figura 9, é constituído por um sensor de corrente, módulo de transmissão sem fios e módulo de visualização. Este

sistema possibilita uma monitorização instantânea, diária, semanal ou mensal do consumo de energia. O módulo de visualização disponibiliza também informação sobre os custos por hora de acordo com vários tarifários, sendo possível configurar no máximo dois tarifários, assim como a emissão estimada de CO₂ para a atmosfera.

No entanto este sistema não possui nenhuma plataforma de acesso aos dados através do computador ou telemóvel, apenas podem ser consultados através do módulo de visualização. [4]



Figura 7 - Dispositivo de monitorização de energia Efergy Elite [4]

2.4.5 ENVIR AMB

O sistema de medição de energia *Envir Amb*, ilustrado na Figura 10, foi lançado pela empresa Current Cost em 2011, e é constituído por um sensor de corrente, módulo de transmissão sem fios e módulo de visualização. Para além de efetuar a monitorização ao nível do quadro elétrico, uma das funcionalidades que este sistema apresenta é a monitorização de até nove equipamentos individuais, através de dispositivos opcionais do tipo *plug-in* designados por “Individual Appliance Monitors (IAM)”. Através de uma ligação USB e de Software Open Source é possível visualizar a monitorização dos nove aparelhos em simultâneo.

O visor deste sistema disponibiliza vários dados, nomeadamente o número de sensores instalados, a energia consumida e o custo instantâneo, energia e custo acumulados durante o mês. Apresenta também um gráfico do consumo durante três períodos de tempo, das 7 horas da manhã às 3 horas da tarde, das 3 horas da tarde às 11 horas da noite, e por fim das 11 horas da noite às 7 horas da manhã. [4]



Figura 8 - Sistema de monitorização de energia Envir AMB [4]

3. ESTUDO PRELIMINAR DO PROJETO

3.1 ABORDAGEM INICIAL

Inicialmente, após estudos e pesquisas sobre a realização do projeto a desenvolver foi produzido um diagrama de blocos com o intuito de ter uma melhor compreensão o projeto a realizar.

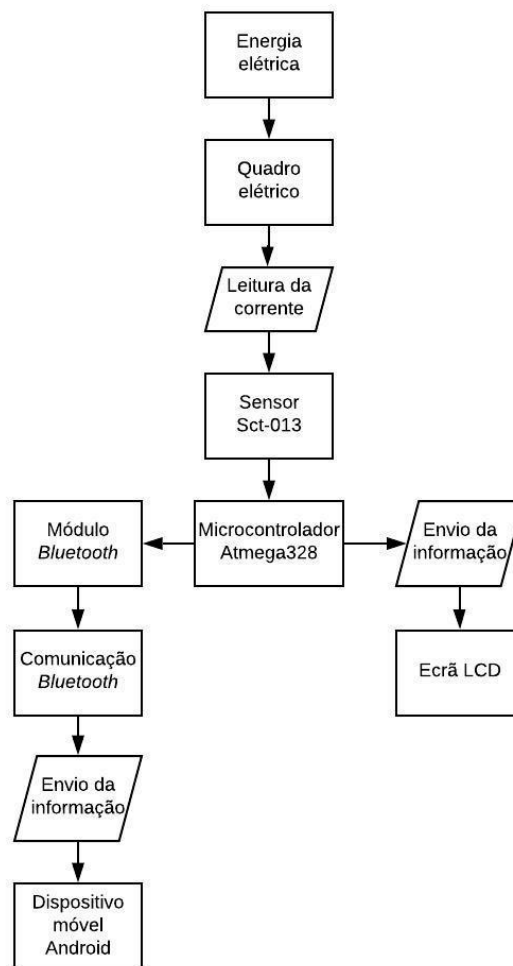


Figura 9 – Fluxograma inicial

Após a realização do esquema e definidas as características do produto foi necessário fazer uma lista com o material necessário para a montagem do projeto, sendo esta composta pelos componentes do capítulo seguinte.

3.2 MATERIAL UTILIZADO

Na realização deste projeto utilizaram-se diversos componentes, grande parte fornecidos pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto, compatíveis com o microcontrolador *ATmega328*. Para além do *ATmega328*, foi utilizado o seguinte material:

- Microcontrolador *Atmega328*;
- Ecrã *lcd* interligado ao *ATmega* através das portas digitais;
- Módulo *Bluetooth* que interliga o *ATmega* com o telemóvel;
- Sensor de corrente SCT para a obtenção da corrente elétrica;
- Resistências;
- Condensadores;
- Potenciómetro;
- *Software* de programação Atmel Studio;
- *Software* de programação Android;

3.4 MICROCONTROLADOR ATMEGA328

O microcontrolador escolhido para a realização deste projeto foi o *ATmega328*. Este microcontrolador faz parte da família de microcontroladores AVR da Atmel e foi programado utilizando o *software* Atmel Studio. Possui 32 kBytes de memória flash, 23 pinos I/O programáveis e executa a maioria das instruções apenas num ciclo de *clock*, equilibrando assim o consumo de energia com a capacidade de processamento. Este dispositivo opera entre os valores para as tensões de entrada de 1,8 Vdc a 5,5 Vdc.

(PCINT14/RESET) PC6	1	28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RXD) PD0	2	27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD) PD1	3	26	PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0) PD2	4	25	PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24	PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	23	PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	7	22	GND
GND	8	21	AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18	PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PD7	13	16	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	14	15	PB1 (OC1A/PCINT1)

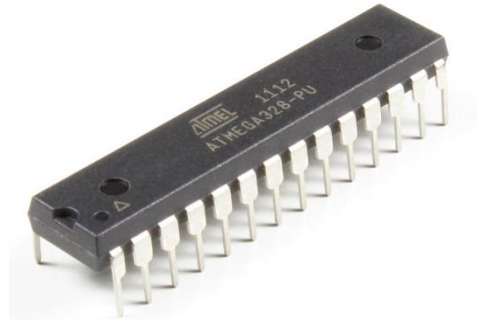


Figura 10 – Microcontrolador ATmega328 [13]

3.3 DISPLAY LCD 16X2

O *display lcd* 16x2 é uma pequena tela com fundo verde muito utilizado em projetos de robótica e de automação. Este display destaca-se pelo seu design moderno e compacto e pelo facto de ser compatível com um grande número de sistemas microcontroladores.



Figura 11 – Display lcd

O uso do *display lcd* neste projeto destina-se à apresentação e visualização da corrente que atravessa o quadro elétrico, da potência ativa (1) e da energia consumida em kWh (2), calculados através das seguintes equações:

$$P = I * V \quad (2)$$

$$E = \frac{P * \Delta t}{1000 * 60 * 60} \quad (3)$$

Como a potência possui como unidade de medida o W e o Δt (intervalo de tempo para cada aquisição da corrente) é dado em segundos, efetuou-se a divisão demonstrada na equação (2) de forma a obter como unidade final o kWh.

3.5 MÓDULO BLUETOOTH

Os módulos *Bluetooth* são divididos em dois tipos: HC-06 e HC-05. O módulo HC-06 enquadra-se nos módulos que trabalham em modo escravo (*slave*), ou seja, apenas aceitam conexões de outros dispositivos. O HC-05 trabalha tanto em modo escravo como em modo mestre (*master*), permitindo a conexão com outros dispositivos Bluetooth.

O módulo *Bluetooth* escolhido para realizar este projeto foi o módulo HC-05 da Velleman, e possui as características enunciadas na figura seguinte.

Tabela 2 – Pinos referentes ao módulo bluetooth



Figura 12 – Módulo HC-05 [14]

KEY	Pino para acionar o modo de configuração.
VCC	Pino de alimentação.
GND	Pino de ligação à massa.
TXD	Pino responsável por transmitir dados
RXD	Pino responsável por receber dados
STATE	Pino responsável por indicar o estado da ligação.

Os pinos de comunicação do módulo trabalham com um nível de tensão de 3,3 Vdc, ou seja, apesar de a tensão necessária para alimentar o módulo ser de 5 Vdc, os pinos RXD e TXD utilizam sinais de 3,3 Vdc para realizar as comunicações. Desta forma,

optou-se por fazer um divisor de tensão, por forma a baixar a tensão no pino RXD para os 3,3 Vdc a partir da saída de 5 Vdc do pino do *ATmega328*.

Como o pino do *ATmega328* ao qual está conectado o pino TXD do módulo apenas irá receber os sinais lógicos do HC-05 e entende os 3,3 Vdc como nível alto, não existe a necessidade de fazer o divisor de tensão para o pino TXD do módulo *Bluetooth*. Apenas existe essa necessidade para o pino RXD do módulo que irá receber sinais vindos do microcontrolador, de modo a não danificar o módulo *Bluetooth*.

3.6 SENSOR DE CORRENTE SCT

O sensor de corrente SCT-013-000 é um transformador de corrente não invasivo, o que significa que não é necessário a abertura do circuito ao qual se pretende medir a corrente para o ligar em série, é apenas necessário envolver um fio condutor do circuito para efetuar a medição. Este sensor possui dois cabos ligados a um conector P2 no seu terminal, que por sua vez está conectado a um adaptador Jack P2. A medição efetuada através deste componente é necessária para calcular o consumo efetuado por uma habitação durante um determinado período de tempo.



Figura 13 – Sensor de corrente SCT [16]

O sensor de corrente utilizado no projeto foi o sensor SCT-013-000, o único que tem saída do tipo corrente. A seguinte tabela ilustra os diferentes sensores SCT.

Tabela 3 - Modelos do sensor SCT-013

Modelo	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Entrada de corrente	0 - 100 A	0 - 5 A	0 - 10 A	0 - 15 A	0 - 20 A
Tipo de saída	0 - 50 mA	0 - 1 V	0 - 1 V	0 - 1 V	0 - 1 V
Modelo	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-000V
Entrada de corrente	0 - 25 A	0 - 30 A	0 - 50 A	0 - 60 A	0 - 100 A
Tipo de saída	0 - 1 V	0 - 1 V	0 - 1 V	0 - 1 V	0 - 1 V

3.7 ANDROID STUDIO

O Android Studio é o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) oficial para o desenvolvimento de aplicações Android e é baseado no IntelliJ IDEA. IntelliJ IDEA é um Java IDE desenvolvido pela JetBrains, para computadores que possuam um sistema operativo Linux e oferece suporte para todos os programadores desenvolvam aplicações para dispositivos móveis.

Além do editor de código e das ferramentas de programação avançadas do IntelliJ, o Android Studio oferece ainda mais recursos para aumentar a produtividade, tais como, compatibilidade com C++ e NDK e até modelos de códigos e integração com GitHub para ajudar a criar recursos comuns dos aplicativos e importar exemplos de código.



Figura 14 – Android Studio

O Android Studio oferece as ferramentas mais rápidas para a criação de aplicativos em todos os tipos de dispositivos *Android*. Recursos como edição de código de nível global, depuração, ferramentas de desempenho, sistema flexível de compilação e criação/implantação instâncias são outras das funcionalidades desta ferramenta.

3.8 ATMEL STUDIO

Atmel Studio é uma plataforma de desenvolvimento disponibilizada gratuitamente pela Microchip para o desenvolvimento de projetos com os seus microcontroladores. Suporta tanto os Atmel AVR quanto os Atmel ARM Cortex. Nesta ferramenta é possível desenvolver projetos em C/C++ ou *Assembly*, além de depurar o programa tanto com ferramentas externas como em um simulador integrado. Além do Atmel Studio existem outras ferramentas que auxiliam o desenvolvimento com microcontroladores Atmel AVR, entre elas podemos citar o compilador AVR GCC e o programador por linha de comando AVRDUDE, ambos open-source.



Figura 15 - Atmel Studio

3.9 CIRCUITO DE OBTENÇÃO DO VALOR DA CORRENTE

O sensor SCT mede um valor de corrente alternada máxima de 100 A. Esse valor de 100 A é o valor RMS, valor eficaz. Para objetivo pretendido é necessário o valor de pico da corrente, dado pela seguinte equação (4):

$$I_{RMS} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Então, tem-se que a corrente de pico, I_p , medida é 141,4 A, como demonstrado pelo seguinte cálculo:

$$I_{RMS} * \sqrt{2} = I_{pico} \Leftrightarrow I_p = 100 A * 1.414 = 141,4 A$$

Sabendo que para uma corrente de 100 A, o sensor produz na saída uma corrente de 50 mA, pela seguinte fórmula (5) da relação de transformação é possível saber o número de espiras do sensor.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (5)$$

Sendo N_1 o número de espiras do primário e N_2 o número de espiras do secundário. Neste caso o número de espiras do primário é igual a 1.

$$\frac{1}{N_2} = \frac{0,05 A}{100 A} \Leftrightarrow N_2 = 2000 \text{ espiras}$$

Utilizando a mesma equação, calcula-se o valor de pico da corrente à saída do sensor.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Ip_2}{Ip_1} \Leftrightarrow Ipico_2 = \frac{141,4 A}{2000} = 0,0707 A$$

Assim, à saída do sensor, o sinal analógico da corrente encontra-se representado figura seguinte.

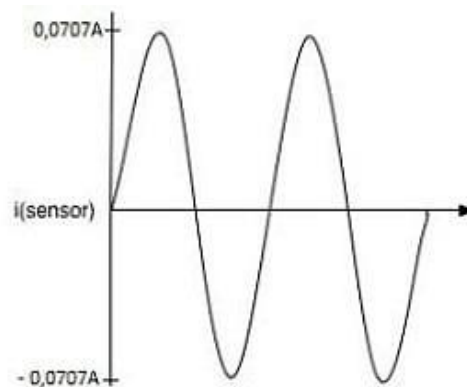


Figura 16 – Sinal analógico da corrente à saída do SCT [16]

Como o microcontrolador, nos seus pinos de entrada analógica, só realiza a leitura de valores em tensão, entre 0 V a 5 V, é necessário converter o sinal de corrente alternada do SCT para um sinal de tensão legível pela entrada do microcontrolador. Para tal, é necessário implementar um divisor de corrente adicionando uma resistência de carga em paralelo com os polos do SCT como na seguinte figura.

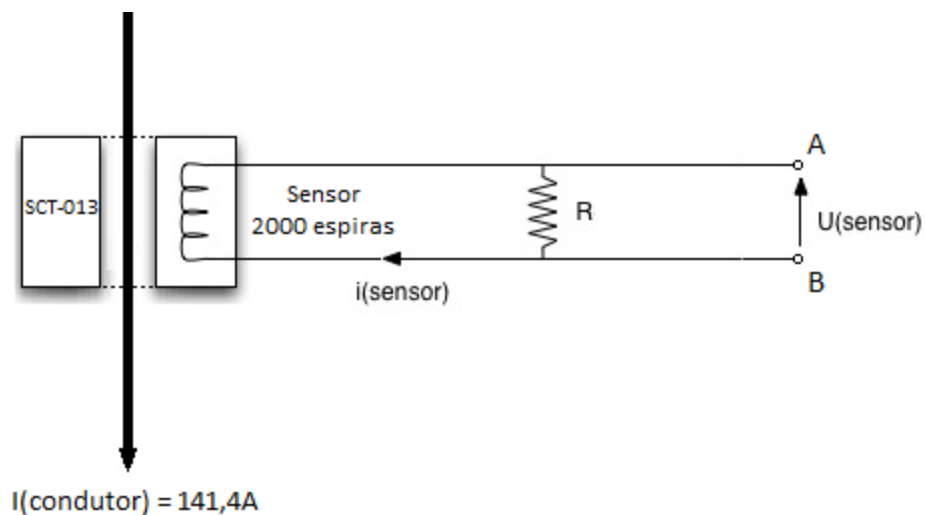


Figura 17 - Montagem do SCT com a resistência de carga [16]

Utilizando a lei de Ohm para o cálculo da resistência, calcula-se a mesma de forma a ter um valor máximo de tensão de 2,5 V na saída.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2,5 \text{ V}}{70,7 \text{ mA}} = 35,4 \, \Omega \quad (6)$$

Como não existem resistências de 35,4 Ω , foram utilizadas duas resistências, de 22 Ω e de 10 Ω , em série de modo a obter uma resistência próxima do valor calculado. Posto isto, obtemos o sinal de tensão ilustrado pela seguinte figura.

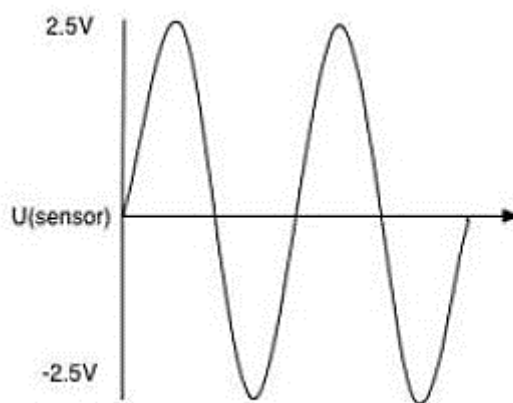


Figura 18 – Sinal analógico da corrente amplificado [16]

O sinal de tensão alternada obtido varia agora entre -2,5 V e +2,5 V, contudo, o *ATmega328* não tem a capacidade de medir tensão negativa. Assim, é necessário somar 2,5 V de *offset* ao sinal de tensão de modo a que este passe a variar de 0 V a 5 V.

O primeiro passo para a obtenção de 2,5 V de *offset*, é a montagem de um divisor de tensão, utilizando a saída de 5 V que o microcontrolador fornece. Como é apenas necessária metade do valor de 5 V, as resistências a considerar, R1 e R2, serão iguais, de modo a que tensão se divida igualmente entre elas obtendo os 2,5 V pretendidos. Neste projeto foram utilizadas resistências de 10 k Ω . De seguida, foi adicionado um condensador de 10 μ F entre o GND e a saída de 2,5V.

Na figura seguinte está representado o esquema elétrico obtido.

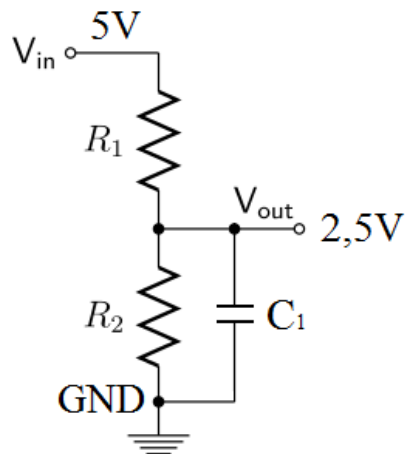


Figura 19 - Circuito de offset

Concluído o circuito de offset, passou-se de ter um sinal de tensão a variar entre $-70,7$ mV e $+70,7$ mV, para um sinal de tensão a variar entre 0 V e 5 V, ilustrados nas seguintes figuras.

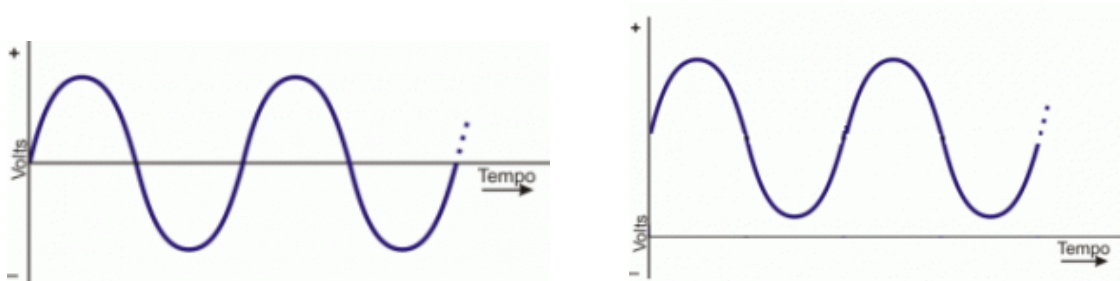


Figura 20 - Sinal de tensão inicial e final.

3.10 TARIFÁRIOS E COMERCIALIZADORES

As empresas comercializadoras de energia elétrica oferecem aos consumidores uma série de preços da energia elétrica correspondentes à tarifa e à potência contratada escolhidas. Os preços praticados por cada uma são diferentes e podem ser consultados nos seus *websites*.

Neste projeto foram abordados os principais comercializadores, sendo elas:

- EDP Comercial
- Galp Energia
- Endesa
- Fenosa
- Luz Boa
- YLCE
- Audaz
- Golden Energy
- Iberdrola

O consumidor poderá contratar 3 diferentes tarifas: Simples, Bi-horário e Tri-horário. Consoante a tarifa contratada, o preço da energia elétrica varia consoante o horário em que a mesma é consumida com exceção da tarifa simples, em que o preço pelo kWh consumido é constante. A fatura da eletricidade possui o termo de potência, valor fixo a pagar relativo à potência contratada, e o termo de consumo, valor a pagar pelo kWh consumido. As tarifas são descritas a seguir.

- **Tarifa Simples** - Possui um preço fixo para a potência contratada, bem como, para o termo de energia, termo que corresponde ao preço pelo consumo de cada kWh. O consumidor pagará o mesmo seja qual for o horário do consumo.

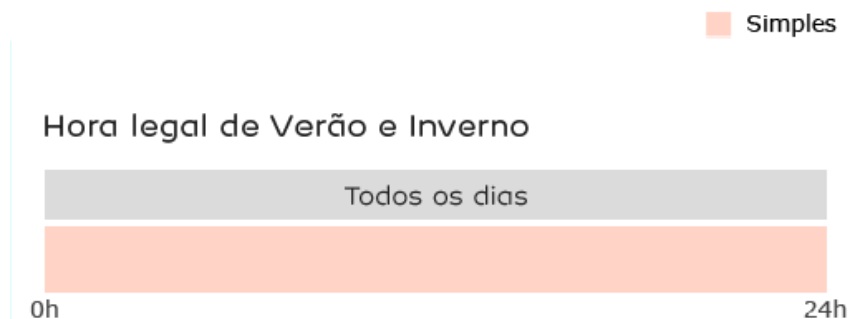


Figura 21 - Tarifa Simples

- **Tarifa Bi-horário** - O período de consumo divide-se em dois horários: vazio e fora de vazio. Esta tarifa possui 2 ciclos distintos aos quais o consumidor pode optar: ciclo diário, mais vantajoso para quem tem um consumo homogêneo durante a semana, e o ciclo semanal, mais proveitoso para quem usa eletricidade com maior intensidade aos fins de semana.

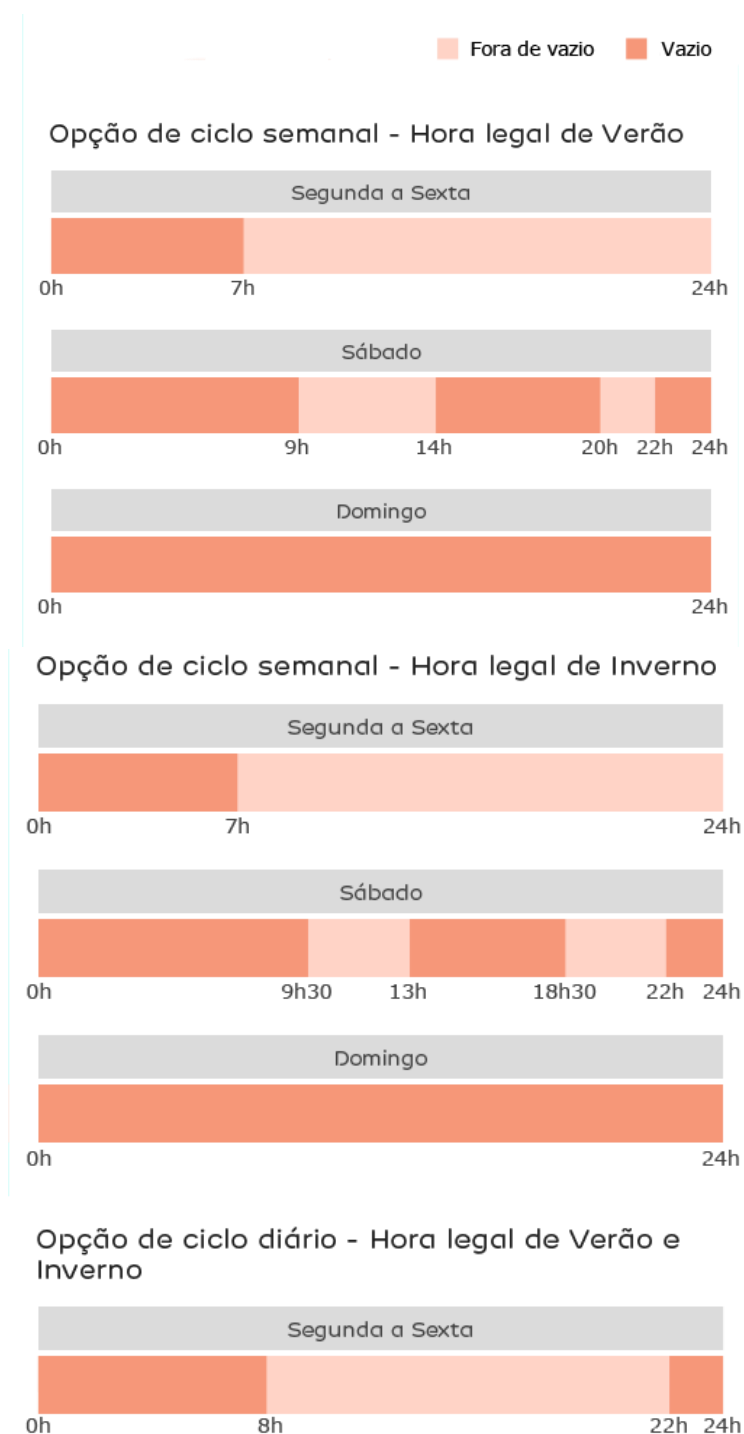


Figura 22 - Tarifa Bi-horário

- **Tarifa Tri-horário** - Esta tarifa geralmente é utilizada por empresas e não por consumidores residenciais, devido ao facto de a maioria das comercializadores só oferecerem esta tarifa para potências contratadas acima de 20.7kVA, uma potência muito acima do necessário para residências. Nestas, o preço do kwh possui 3 preços diferentes consoante a altura do dia abaixo ilustrada: horas de ponta, cheias e vazio.

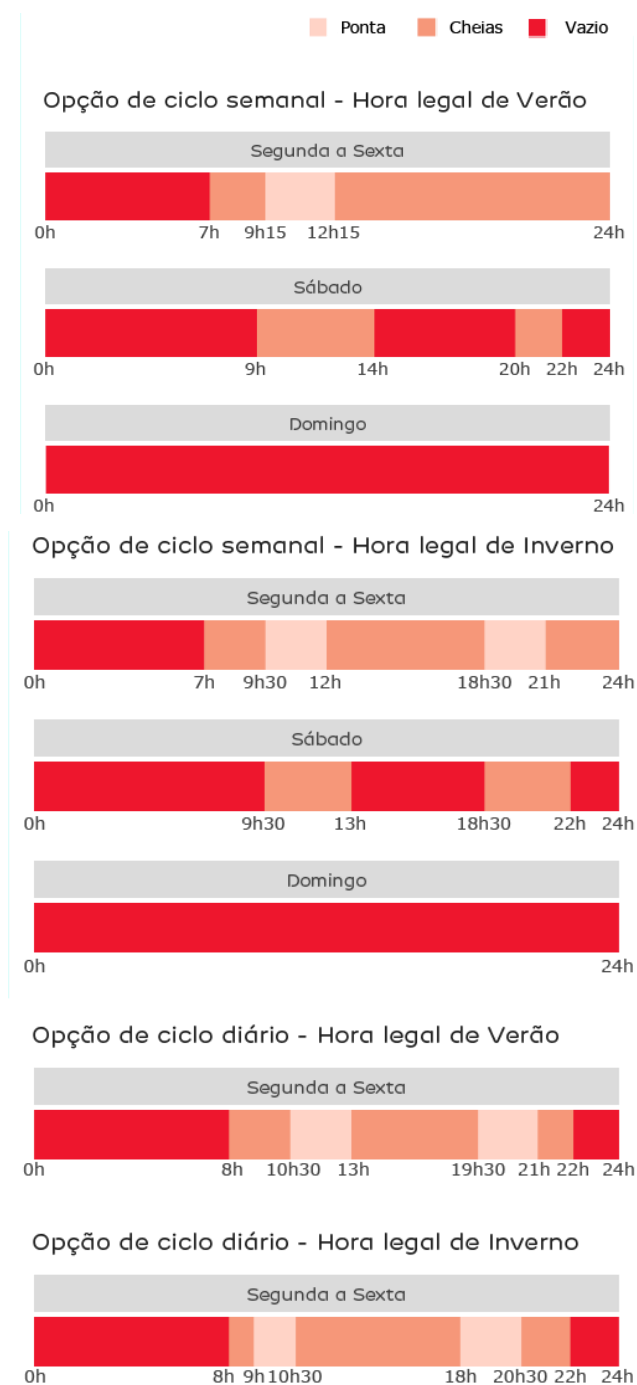


Figura 23 - Tarifa Tri-horário

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

4.1 PROTÓTIPO

O protótipo do medido de energia foi desenvolvido numa placa de ensaio, conectando devidamente todos componentes. A figura seguinte ilustra a montagem do protótipo.

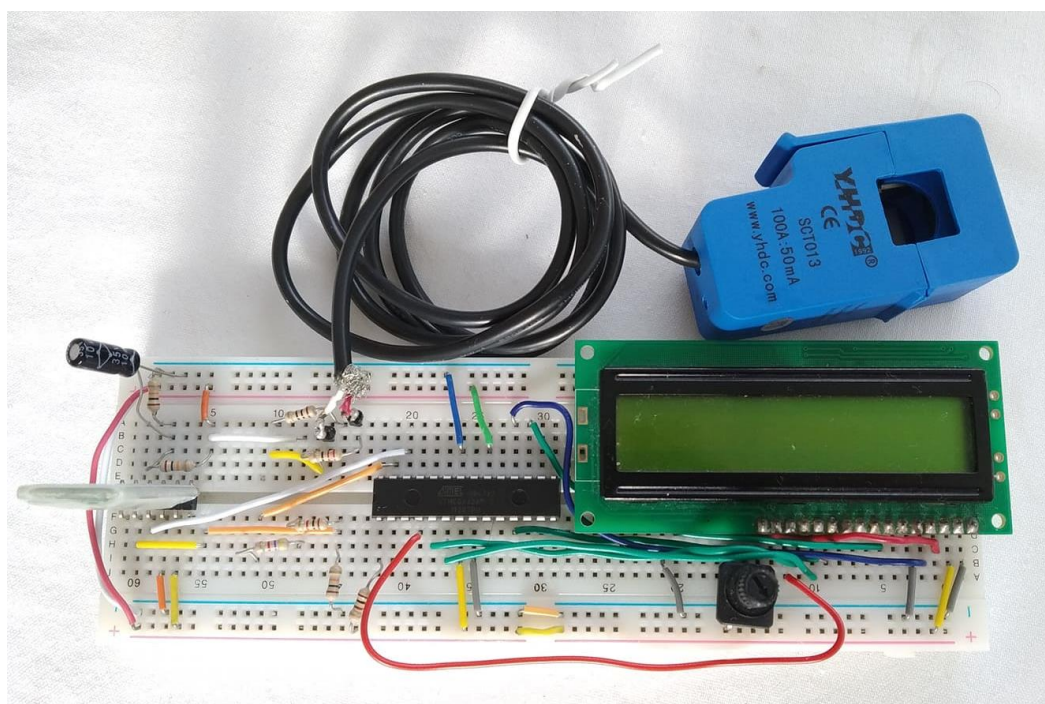


Figura 24 - Montagem do protótipo

A montagem do protótipo com as ligações dos componentes foi projetada utilizando o *software* Fritzing da Interaction Design Lab Potsdam, obtendo de seguida o esquema elétrico e o esquema elétrico em PCB (Placa de Circuito Impresso), ilustrado nas seguintes figuras.

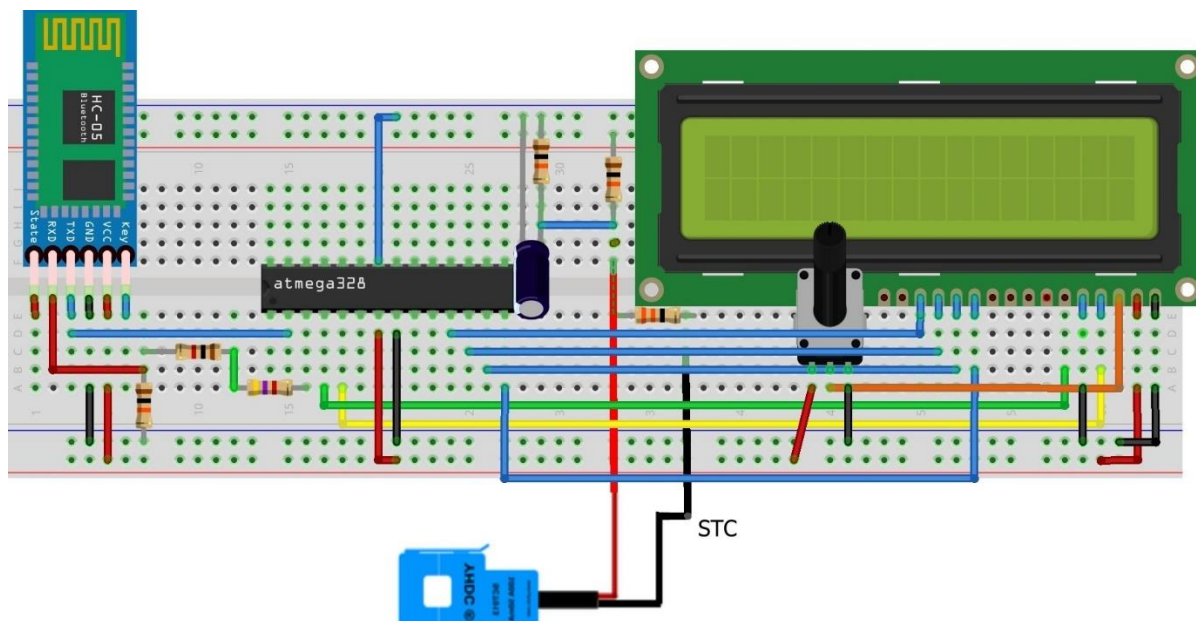


Figura 25 - Montagem do protótipo

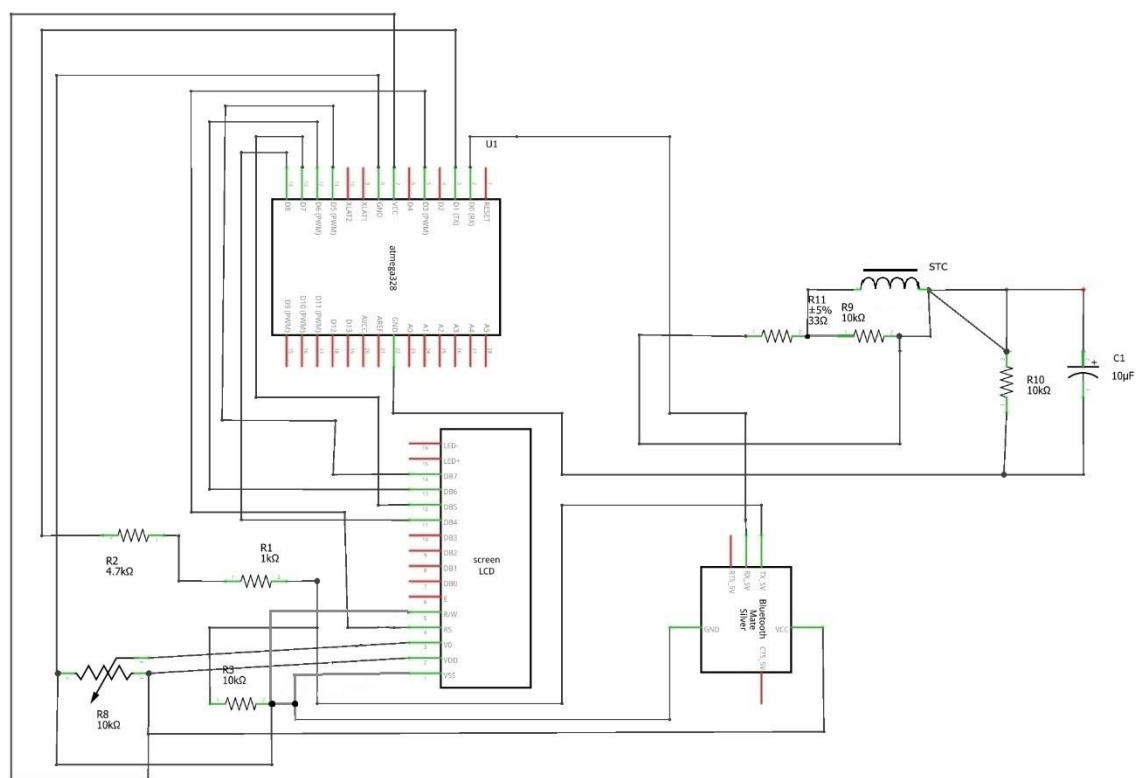


Figura 26 - Esquema Elétrico

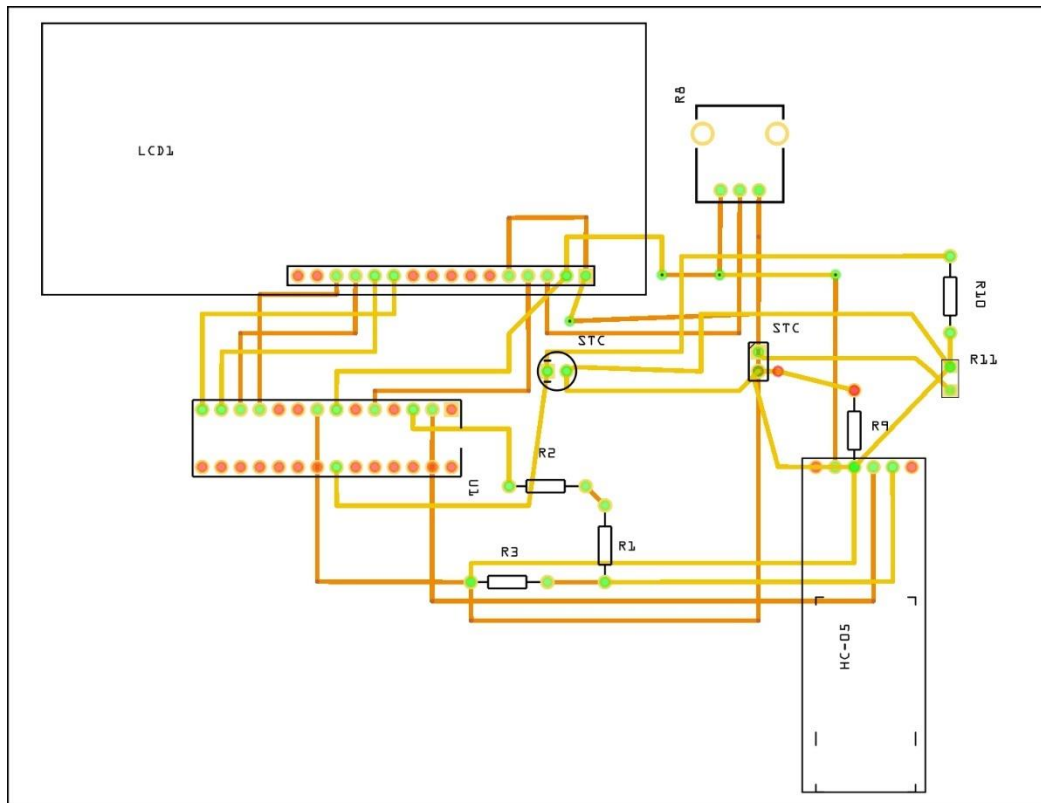
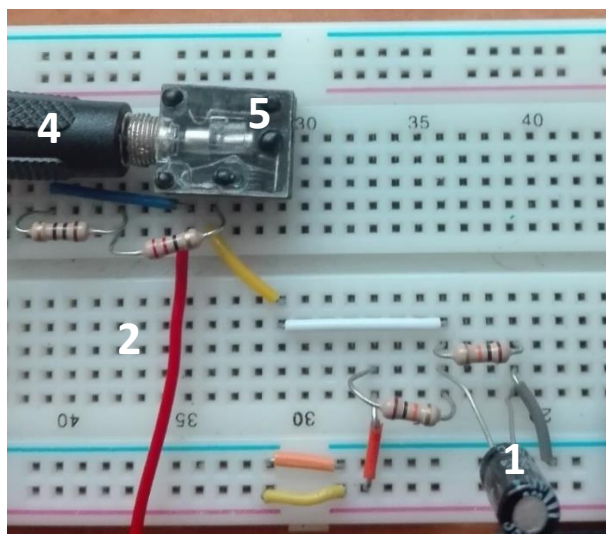


Figura 27 - Placa de Circuito Impresso

4.2 MONTAGEM DO CIRCUITO DE OBTENÇÃO DO VALOR DA CORRENTE

Na figura seguinte são apresentadas as ligações necessárias para a obtenção da corrente fornecida pela rede.



Legenda:

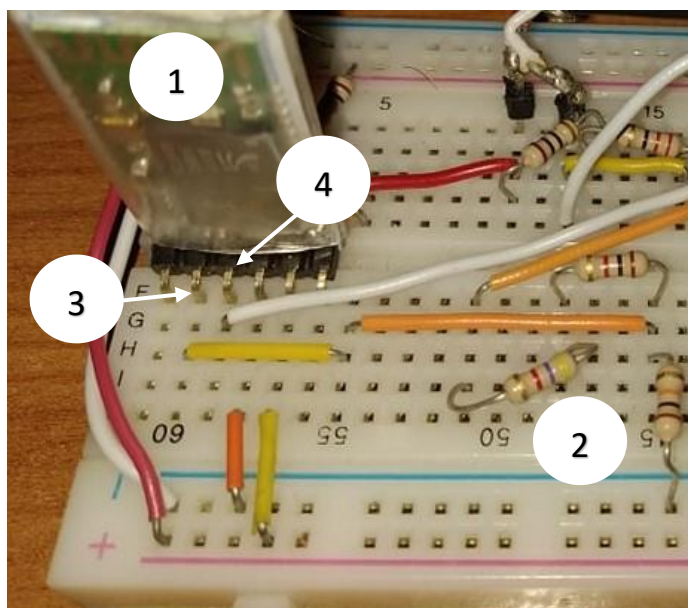
- 1- Divisor de tensão
- 2- Resistência de carga
- 3- Saída em tensão
- 4- Sensor SCT
- 5- Adaptador Jack P2

Figura 28 - Circuito de obtenção de corrente

O sensor SCT está conectado ao adaptador Jack P2, por forma a não ser necessário ligar os fios diretamente à placa, com uma resistência de carga em paralelo com os seus polos de ligação, neste caso são duas resistências em serie ($10\ \Omega + 22\ \Omega$) por forma a obter um valor aproximado dos $35\ \Omega$ calculados acima no documento. O divisor de tensão é responsável por dividir os 5 V da alimentação, nos 2.5 V de *offset* necessários para o microcontrolador conseguir ler os valores corretamente, como foi explicado no ponto 3.7. Após o circuito de obtenção de corrente ser finalizado é necessário proceder à restante montagem do circuito.

4.3 MONTAGEM DO CIRCUITO REFERENTE AO MÓDULO BLUETOOTH

Como referido anteriormente no ponto 3,4, o módulo *Bluetooth* escolhido foi o HC-05 e a montagem realizada na placa de ensaio foi a que se encontra na figura seguinte.



Legenda:

- 1- Módulo HC-05
- 2- Divisor de tensão
- 3- TXD do HC-05
- 4- RXD do HC-05

Figura 29 - Montagem do circuito referente ao módulo Bluetooth

Para o dimensionamento do divisor de tensão recorreu-se à fórmula seguinte.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} * V_{in} \quad (7)$$

Utilizando como R1 uma resistência de 10 k Ω e como R2 uma série de resistências de 1 k Ω e 4,6 k Ω com um valor final de 5,6 k Ω , obteve-se assim uma tensão de entrada no pino RXD do módulo *Bluetooth* no valor de 3,2 V, valor que se encontra abaixo do valor máximo que o pino pode suportar (3,3 V).

4.4 PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR ATMEGA328

4.4.1 INICIALIZAÇÕES

Na primeira parte do código são feitas as inicializações das variáveis utilizadas, as definições dos pinos de entradas e saídas do *ATmega*, as bibliotecas necessárias e inicializada a comunicação *Bluetooth*.

Foram definidos os pinos 16 e 17 do *ATmega* para a comunicação *Bluetooth*. Estes pinos correspondem aos pinos 2 e 3 do porto B e são utilizados como pinos RX e TX do *ATmega*.

Para a ligação com o *Display lcd*, foram utilizados os pinos 4, 5, 6 e 7 do porto D para a transmissão de dados e os pinos 2 e 3 para o controlo.

O pino 0 do porto C (ADC0) vai ser o responsável por receber os valores de tensão obtidos através do sensor SCT.

4.4.2 CÓDIGO PARA A LEITURA DO SENSOR SCT

Neste tópico será demonstrado como é realizada a leitura do Sensor de corrente SCT.

Inicialmente foi necessário configurar o ADC e definir um pino como entrada de dados analógicos, o pino 23 do *ATmega* (pino 0 do porto C). Nesse pino irá estar conectado o sensor de corrente responsável pela obtenção de corrente do quadro elétrico.

De seguida o ADC efetua várias leituras durante 1 segundo, sendo guardado o maior valor registado durante esse tempo. Posteriormente esse valor é multiplicado pela tensão (230 V), obtendo a potência em W.

Como é pretendido obter a energia consumida em kWh num dado período, foi utilizada a seguinte equação:

$$E = \frac{P * \Delta t}{60 * 60 * 1000} \quad (8)$$

4.4.3 CÓDIGO PARA A LEITURA E ENVIO DE DADOS VIA BLUETOOTH

O envio de dados do *Atmega* para a aplicação android é feita de forma lenta, mas organizada devido ao facto de serem enviados um elevado número de dados. Para uma melhor compreensão de como é feito e organizado o envio de dados foi criado o seguinte fluxograma.

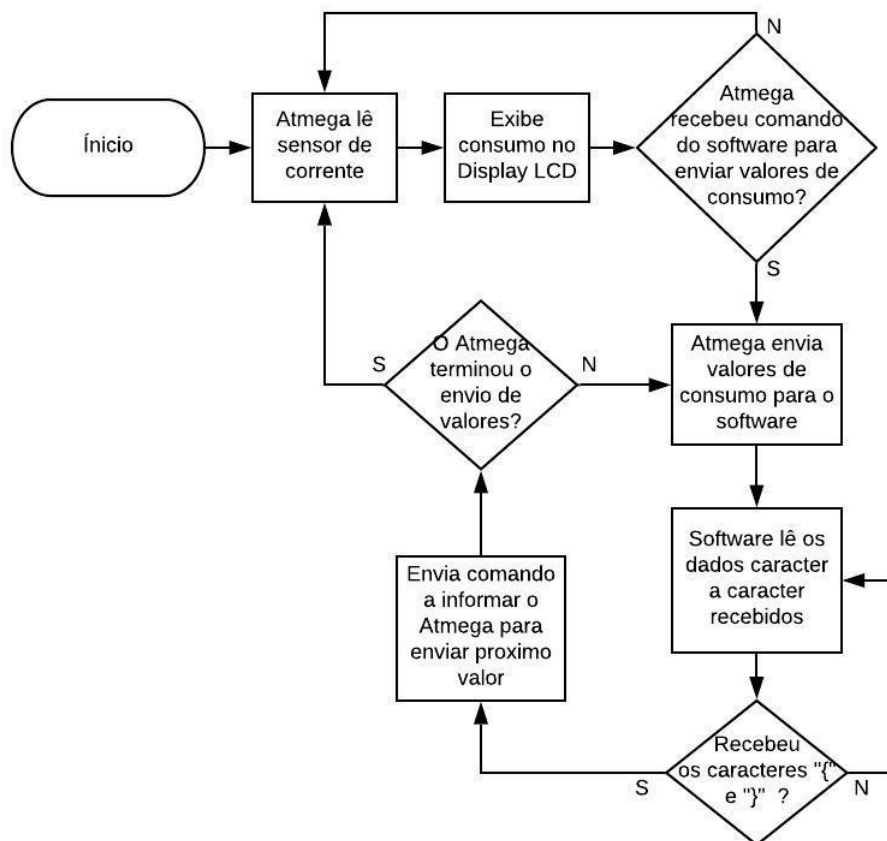


Figura 30 - Fluxograma do envio de dados via Bluetooth

Inicialmente é necessário testar a existência de conexão *Bluetooth* utilizando as condições *if()*. Caso a condição seja verdadeira a aplicação móvel enviará automaticamente a data e hora registada no smartphone, este passo apenas será executado uma vez, aquando da instalação do protótipo. Armazenada a data e hora, o microcontrolador prosseguirá com a contagem do tempo utilizando o *Timer1* em modo CTC. O *Timer1* foi programado para incrementar a variável “segundos” de 1 em 1 segundos. A cada 60 segundos a variável é reiniciada e é incrementada a variável “minutos”. A contagem do tempo prosseguirá seguindo o mesmo raciocínio lógico.

De seguida, o microcontrolador ficará a aguardar a receção dos dados referentes ao tarifário que utiliza, o comercializador de energia e a potência contratada comparando esses dados com as hipóteses válidas existentes e assim poder calcular corretamente o preço a pagar pela energia consumida. Na figura seguinte é demonstrado como é efetuada a leitura dos dados recebidos via *Bluetooth*.

```
void loop() {  
    ...  
    ...  
    comando = "";  
    if (bluetooth.available()) {  
        while (bluetooth.available()) {  
            caracter = bluetooth.read();  
            comando += caracter;  
        }  
    }  
}
```

Figura 31 – Leitura dos dados via Bluetooth

Posteriormente, é comparado a variável que armazena os dados recebidos, “*comando*”, com as hipóteses já existentes, como no exemplo a seguir.

```
void loop() {  
    ...  
    ...  
    if (comando.indexOf("EDP")>=0){  
        if (Potencia_escolhida == 1.15){  
            if (Tarifa == "Simples") {  
                Termo_fixo=0.1232;  
                Energia_hora=0.1529;  
            }  
        }  
    }  
}
```

Figura 32 – Seleção do tarifário, da potência e comercializador

Concluída a receção das definições, o microcontrolador está pronto a calcular a energia consumida e o preço da mesma.

4.5 PROGRAMAÇÃO DA APLICAÇÃO ANDROID

4.5.1 LAYOUTS

O *layout* de uma aplicação consiste na apresentação visual dos conteúdos estruturados devidamente. A aplicação desenvolvida possui 3 *layouts*, o *layout* principal, responsável pela conexão via *Bluetooth*, o *layout* das definições, onde é feita a escolha do tarifário que utiliza, o comercializador de energia e a potência contratada, e o *layout* dos consumos, onde é possível visualizar os consumos efetuados pela habitação, diários

ou mensais, bem como o preço a pagar por esse mesmo consumo. Em ambos os *layouts*, é utilizado o *Constraint Layout*, pois este tipo de *layout* permite posicionar e dimensionar os elementos (botões, imagens, texto, etc) de forma flexível.

No *layout* inicial, foram utilizados 3 botões. Um botão responsável pela conexão, que quando clicado mostra a lista de dispositivos emparelhados com o *smartphone*, um segundo botão que dá acesso ao *layout* das definições e, por fim, um botão que dá acesso ao *layout* dos consumos e preços a exercer.

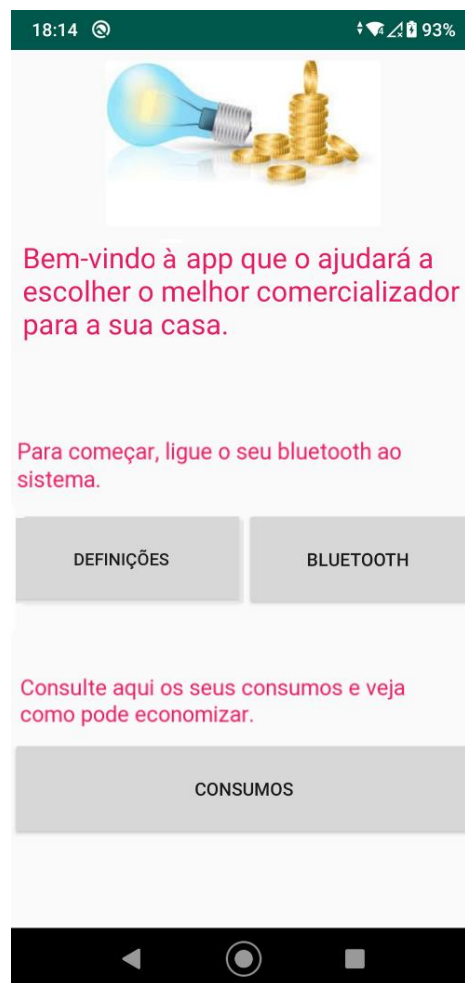


Figura 33 - *Layout inicial*

O segundo *layout*, como já referido, é iniciado através do botão das Definições. Este *layout* possui 24 botões, 3 para a seleção do tarifário, 10 para a seleção da potência contratada, 9 para a seleção do comercializador de energia, um botão para submeter uma alteração a alguma tarifa que possa ter ocorrido e um último botão para dar por concluído a seleção das definições e dar início ao *layout* dos consumos.

Figura 34 - Layout das Definições

Figura 35 - Layout das Definições para alteração de tarifário

Por fim, no *layout* dos consumos, os dados a observar estão organizados numa tabela. O utilizador consegue observar o consumo efetuado, em kWh, e o valor a pagar por esse consumo efetuado durante cada mês do ano, como mostra a figura seguinte. O utilizador terá ainda a possibilidade de visualizar o consumo efetuado durante cada dia de cada mês. Para tal, terá apenas de selecionar o mês do qual pretende visualizar o consumo mais detalhado. Clicando no botão “Voltar”, o utilizador volta à tabela inicial.

18:15

93%

Consumos

Mês	Consumo(Kwh):	Preço (Euros):
Janeiro:	0	0
Fevereiro:	0	0
Março:	0	0
Abril:	0	0
Maio:	0	0
Junho:	11.37	2.13
Julho:	0	0
Agosto:	0	0
Setembro:	0	0
Outubro:	0	0
Novembro:	0	0
Dezembro:	0	0

Consumo com outras operadoras:

VER

18:16

93%

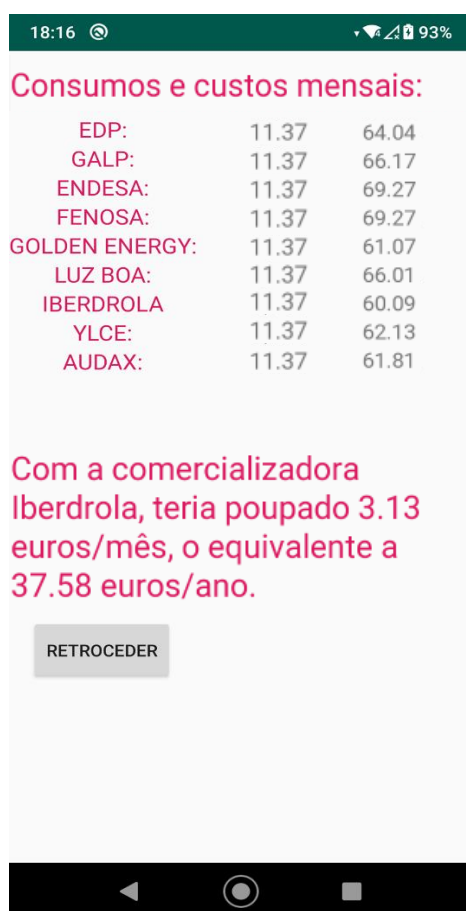
Consumos

Mês	Consumo(Kwh):	Preço (Euros):	
Junho:	11.37	2.13	
dia 1:	0	dia 2:	11.37
dia 3:	0	dia 4:	0
dia 5:	0	dia 6:	0
dia 7:	0	dia 8:	0
dia 9:	0	dia 10:	0
dia 11:	0	dia 12:	0
dia 13:	0	dia 14:	0
dia 15:	0	dia 16:	0
dia 17:	0	dia 18:	0
dia 19:	0	dia 20:	0
dia 21:	0	dia 22:	0
dia 23:	0	dia 24:	0
dia 25:	0	dia 26:	0
dia 27:	0	dia 28:	0
dia 29:	0	dia 30:	0
dia 31:	0		0

VOLTAR

Figura 36 - Layout do Consumo

O utilizador possui ainda, a opção de visualizar o valor a pagar caso optasse pelos serviços energéticos de outras operadoras. Com um clique no botão “Ver”, a tabela com os consumos e preços mensais é fechada e por sua vez, surge uma segunda tabela, com informações sobre os valores monetários que teria de pagar caso utilizasse os serviços energéticos de outras operadoras, e um texto a indicar o valor (em euros) que pouparia no último mês e ao fim do ano, caso optasse pelo comercializador mais económico.



18:16 93%

Consumos e custos mensais:

EDP:	11.37	64.04
GALP:	11.37	66.17
ENDESA:	11.37	69.27
FENOSA:	11.37	69.27
GOLDEN ENERGY:	11.37	61.07
LUZ BOA:	11.37	66.01
IBERDROLA	11.37	60.09
YLCE:	11.37	62.13
AUDAX:	11.37	61.81

Com a comercializadora Iberdrola, teria poupado 3.13 euros/mês, o equivalente a 37.58 euros/ano.

RETROCEDER

Figura 37 - Layout do preço a pagar com outra operadora

Terminado o *design* dos *layouts*, procede-se a programação das *Activity.java*, página onde é desenvolvida a programação responsável pelo correto funcionamento da aplicação. Visto que são 3 *layouts*, é necessária uma *Activity.java* por cada *layout*.

4.5.2 ACTIVITY.JAVA

A programação das Activity.java foi inicializada com uma função que, ao iniciar a aplicação, mostrasse uma mensagem ao utilizador a pedir autorização para ativar o *Bluetooth*. A função realizará um teste ao smartphone e caso este não possua a tecnologia *Bluetooth* irá mostrar uma mensagem a dizer que o dispositivo não possui *Bluetooth*. Caso o dispositivo tenha *Bluetooth*, irá então pedir ao utilizador através de um *Action_Request*, que o *Bluetooth* seja ativado. Se o utilizador não permitir a ativação, a aplicação é encerrada.

```
meuBluetoothAdapter = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter();//verifica se tem bluetooth

if (meuBluetoothAdapter == null) {
    Toast.makeText(getApplicationContext(), text: "Seu dispositivo não possui bluetooth", Toast.LENGTH_LONG).show();
} else if (!meuBluetoothAdapter.isEnabled()) {
    Intent ativaBluetooth = new Intent(BluetoothAdapter.ACTION_REQUEST_ENABLE);
    startActivityForResult(ativaBluetooth, SOLICITA_ATIVACAO);
}

case SOLICITA_ATIVACAO:
    if (resultCode == Activity.RESULT_OK) {
        Toast.makeText(getApplicationContext(), text: "Bluetooth foi ativado", Toast.LENGTH_LONG).show(); //aparece uma msg
    } else {
        Toast.makeText(getApplicationContext(), text: "Bluetooth não foi ativado, a aplicação será terminada", Toast.LENGTH_LONG).show();
        finish(); //termina a app
    }
    break;
```

Figura 38 - Código para ativar Bluetooth

Após o *Bluetooth* ser ativado, é necessário conectar o dispositivo móvel com o módulo HC-05 conectado ao *Atmega*. É então criada uma função, que quando o utilizador clicar no botão “Bluetooth”, esta abra uma janela com a lista de dispositivos já emparelhados com o *smartphone*. De seguida, o utilizador ao seleccionar o módulo HC-05, o dispositivo móvel guarda o endereço MAC do HC-05 numa variável para posteriormente, ao iniciar a terceira Activity.java, este conecte automaticamente com o *smartphone*.

Após a obtenção do endereço MAC do HC-05, o utilizador terá de clicar nas definições, caso seja a primeira utilização do sistema, para iniciar a segunda Activity.java e para poder escolher as definições referentes ao tarifário, potência contratada e comercializador.

Efetuada as escolhas do utilizador, a aplicação guarda-as em variáveis e transmite-as através de uma *intent* à terceira Activity.java para após a conexão com o módulo *Bluetooth* sejam enviadas automaticamente. Para iniciar a terceira Activity.java e consequentemente conectar o dispositivo móvel com o HC-05, bastar clicar no botão “OK” que se encontra no *layout* das definições.

```
BtnOK.setOnClickListener((v) → {  
  
    Intent pagina3 = new Intent( packageContext: Main2Activity.this, Main3Activity.class);  
    pagina3.putExtra( name: "tarifa", tarifa);  
    pagina3.putExtra( name: "potencia", potencia);  
    pagina3.putExtra( name: "operadora", operadora);  
  
    startActivity(pagina3);  
  
});
```

Figura 39 - Transmissão das variáveis

Iniciada a terceira Activity.java, que corresponde à *activity* onde é realizada a conexão *Bluetooth* e a receção dos dados enviados pelo microcontrolador, a aplicação irá conectar automaticamente com o módulo HC-05, enviando através de um *socket*, um pedido de conexão utilizando o seu endereço MAC.

Após os dispositivos estarem emparelhados, a aplicação envia a data e hora indicadas no *smartphone* (em formato *int*), as definições escolhidas anteriormente e uma mensagem (em formato *string*) com a indicação que este se encontra pronto a receber os dados via *Bluetooth*.

```
meuDevice = meuBluetoothAdapter.getRemoteDevice(MAC );
try {
    meuSocket = meuDevice.createInsecureRfcommSocketToServiceRecord(MEU_UUID); //CRIAÇÃO DE CANAL DE COMUNICAÇÃO
    meuSocket.connect();
    connectedThread = new Main3Activity.ConnectedThread(meuSocket);
    connectedThread.start();
    Toast.makeText(getApplicationContext(), text: "Conectado com" + MAC, Toast.LENGTH_LONG).show();
    connectedThread.enviar(data_completa);
    connectedThread.enviar(hora_atual);
    connectedThread.enviar(operadora);
    if (tarifa == "0")
    {
    } else {
        connectedThread.enviar(tarifa);
    }
    if (potencia == "0")
    {
        connectedThread.enviar(Consumo);
    } else {
        connectedThread.enviar(potencia);
        connectedThread.enviar(Consumo);
    }
} catch (IOException erro) {
    conexao=false;
}
```

Figura 40 - Conexão Bluetooth

Concluído o envio de todas as variáveis do *smartphone* para o microcontrolador, este irá armazenar os dados em variáveis para posterior utilização e começará o envio dos dados relativos ao consumo realizado.

Posto isto, a aplicação ficará à espera de receber os caracteres “{” e “}” por cada variável recebida. Recebido o caracter “{”, o *software* guarda a informação que recebe posteriormente, até receber o caracter “}”, indicando assim o fim da receção de uma variável. Repete-se o mesmo processo até ao fim do envio de dados.

```
public void handleMessage(Message msg) {
    if (msg.what == MESSAGE_READ) { //se os dados vieram do MessageRead (Bluetooth)

        String recebidos = (String) msg.obj; //recolhe os dados
        dadosBluetooth.append(recebidos); //junta os dados recolhidos a dadosBluetooth

        int fimInfo = dadosBluetooth.indexOf("}"); //compara se o ultimo char é o }, se for fimInfo>0 chegou ao fim
        if (fimInfo > 0) {

            String dadosCompleto = dadosBluetooth.substring(0, fimInfo);
            int tamanhoInfo = dadosCompleto.length();

            if (dadosBluetooth.charAt(0) == '{') { //se chegou aqui entao possui inicio e fim "{}"
                dadosFinais = dadosBluetooth.substring(1, tamanhoInfo);

                consumos=true;
            }
            dadosBluetooth.delete(0, dadosBluetooth.length());
        }
    }

    if (consumos == true) {
        Gastos_dia[meses][dias] = dadosFinais;
        consumos=false;
        connectedThread.enviar(Consumo2);
        dias++;

        if (dias > 32) {
            dias = 1;
            meses++;
            if (meses > 12) {
                meses = 1;
            }
        }
    }
}
```

Figura 41 – Programação para a receção dos dados no smartphone

5. TESTES EXPERIMENTAIS

Para testar se o sistema media e calculava corretamente o valor da potência consumida de um dispositivo elétrico foram utilizados os seguintes dispositivos: uma chaleira elétrica, um forno elétrico e um secador de cabelo. Foram obtidos os valores registrados na tabela seguinte.

Tabela 4 - Resultados da medição da corrente

Aparelho	Potência nominal (W)	Corrente (A)	Potência (W)
Chaleira elétrica	900	3.75	825
Forno Elétrico	2000	8.95	1970
Secador de cabelo	1800	8.07	1776
Chaleira elétrica + Forno elétrico + Secador de cabelo	4700	21.20	4666

Tendo sido obtidos valores corretos da medição da potência consumida dos aparelhos acima referidos, de seguida, o sistema foi conectado ao quadro elétrico de uma habitação com tarifa simples e uma potência contratada de 6,9 kVA, tendo como fornecedora a EDP Comercial. O teste foi realizado durante um dia tendo sido consumidos 11,37 kWh.

Os resultados obtidos podem ser consultados na seguinte tabela.

Tabela 5 – Preços a pagar pelo consumo de 11.37 kwh

Comercializador	Termo Fixo (€/dia)	Termo de Potência (€/kWh)	Custo da energia consumida (Euros)	Valor a pagar (Euros)
EDP Comercial	0.3791	0.1544	1,7555	2,1346
Fenosa	0.3269	0.1659	1,8965	2,2234
Golden Energy	0.3191	0.1559	1,7725	2,0358
Luz Boa	0.3596	0.1619	1,8408	2,2004
Iberdrola	0.3145	0.1509	1,7157	2,0302
YLCE	0.3099	0.1549	1,7612	2,0711
Audax	0.3597	0.1496	1,7009	2,0606
Galp	0.3888	0.1598	1,8169	2,2057
Endesa	0.3773	0.1699	1,9317	2,3090

Os custos referenciados na tabela acima, são relativos ao consumo realizado durante um dia e apenas foi acrescentado o custo diário (termo fixo) de um dia. Contudo, como a energia consumida não é constante, o comercializador mais económico após esta medição poderá não ser o mais económico no final do mês.

6. CONCLUSÕES

A realização deste projeto foi um desafio que exigiu a associação de conhecimentos adquiridos nas disciplinas lecionadas na licenciatura, para além do conhecimento de assuntos novos que foram necessários adquirir, como por exemplo a programação de aplicações para *Android*.

Inicialmente, foi prevista a implementação de uma bateria acoplada ao projeto o que evitaria que o sistema deixasse de funcionar caso ocorresse alguma falha na eletricidade, mas de forma a tornar o sistema menos sobrecarregado, a nível de material, e precaver eventuais falhas no fornecimento de energia, o sistema guarda os dados referentes ao consumo na memória do microcontrolador, para o caso de o fornecimento de energia ser interrompido em algum momento os dados serem repostos novamente nas variáveis corretas aquando da reposição do fornecimento de energia ao sistema. Posto isto, o sistema é somente fornecido de energia elétrica através de um transformador de 5 V ligado à rede elétrica da habitação. Os 5 V irão alimentar o microcontrolador, o *lcd* e o módulo *Bluetooth*.

Com o sistema devidamente alimentado, o microcontrolador foi programado para enviar e receber dados por via *Bluetooth* para o *smartphone*, para enviar dados para o ecrã *lcd*, e, por fim, para interpretar corretamente os valores recebidos através do sensor de corrente acoplado ao quadro elétrico da habitação.

Futuramente, se fosse necessário melhorar o projeto, seria implementado um módulo *wireless* ao sistema de forma a ser possível ter acesso aos dados através da Internet. Como o projeto foi implementado com um sistema de comunicação via *Bluetooth*, é necessário ao utilizador encontrar-se relativamente próximo do sistema para ter acesso à informação pretendida, o que não seria necessário se fosse implementado um sistema de comunicação via *wireless*.

No geral, este projeto vem contribuir para uma gestão inteligente de energia e para uma melhor eficiência energética, através da sensibilização dos consumos efetuados pelo consumidor levando a uma prudente gestão dos consumos efetuados pelo mesmo. Para

além disso, irá permitir ao consumidor obter conhecimentos das diversas ofertas de mercado de energia elétrica e qual será a mais vantajosa economicamente para a sua habitação, o que irá permitir economizar ainda mais.

O projeto contribuiu, também, para o meu desenvolvimento profissional e permitiu cumprir os objetivos inicialmente propostos, a monitorização do consumo elétrico e o aconselhamento de comercializadores mais vantajosos economicamente ao consumidor.

7. REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS

- [1] – REN - Redes Energéticas Nacionais, 2019. Disponível em <https://www.ren.pt/> (Acesso em 2019).
- [2] - Balanço da produção de energia elétrica, APREN, 2019. Disponível em <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao> (Acesso em 2019).
- [3] – Josué, J., “Sistema de Energia Elétrica”, Técnico de Lisboa, 2014.
- [4] – Mendes, P., “Sistema de Medição de Energia Baseado no Medidor de Energia Teridian”, 2014
- [5] - Duarte, O., Et al. “Bluetooth – Camada Física e Camada de Acesso ao Meio”. Disponível em https://www.gta.ufrrj.br/grad/09_1/versao-final/bluetooth/index.htm (Acesso em 2019).
- [6] – Adriansyah, A. & Akhmad “Design of Small Smart Home System”, *EECCIS2014 The 7 th – Electrical Power, Electronics, Communications, Controls, and Informatics International Seminar*, (pp. 123-127), 2014.
- [7] - Redriksson, V., "What is a Smart Home or Building", 2005.
- [8] – Teresa Alexandra Nogueira, “Estudo do Sistema Elétrico de Energia”, 2014.
- [9] – Developers Android Studio. Disponível em <https://developer.android.com/> (Acesso em 2020).
- [10] - Kumaresan P, Prabukumar M, & Barathkumar E. SMART HOME: Energy Measurement and Analysis. *2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ic-ETITE)* (pp. 1-5). Vellore, India, 2020.
- [11] - *Evolução da Produção de Eletricidade por Fonte em Portugal Continental* -(maio de 2018 a maio de 2020). Disponível em <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao> (Acesso em 2020).

- [12] – Leite, D. “*Engenharia elétrica, formas de geração de energia*” Universidade Estadual do Piauí (UESPI). Disponível em <https://www.docsity.com/pt/engenharia-eletrica-formas-de-geracao-de-energia/5205956/> (Acesso em 2020).
- [13] – Weber, A. & Domingo, A. “Technical Translations – Homeyou”, 2020, disponível em <https://www.homeyou.com/~edu/inicio-da-eletronica-embutida-2> (Acesso em 2019).
- [14] – Velleman, “Módulo de transmissão HC-05”, 2020, disponível em <https://www.velleman.eu/products/view?id=435518&country=us&lang=pt> (Acesso em 2019).
- [15] – Sensor de corrente SCT-013, Alibaba. Disponível em <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/split-core-ac-current-sensor-clamp-transformer-sct-013-000-100a-50ma-60304601808.html> (Acesso em 2019).
- [16] – Olívio, L. “Construção de um dispositivo baseado em IOT para o gerenciamento de energia”, Universidade Paulista - UNIP, 2018.
- [17] - Devadhanishini, A., Malasri, R., Nandinipriya, V., Subashini, P., Padma-Gowri, P. "Smart Power Monitoring System Using Iot", Advanced Computing & Communication Systems". 2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS), 2019. DOI: 10.1109/ICACCS.2019.8728311.