



Desenvolvimento de um dispositivo de Medição e Análise de Parâmetros de Soldadura

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

Duarte Marques Raimundo

Leiria, Setembro de 2021



Desenvolvimento de um dispositivo de Medição e Análise de Parâmetros de Soldadura

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

Duarte Marques Raimundo

Trabalho de Projeto realizado sob a orientação do Professor Doutor Joel Oliveira Correia Vasco e do Professor Doutor Pedro José Franco Marques.

Leiria, Setembro de 2021

“Every new change forces all the companies in an industry to adapt their strategies to that change”

Bill Gates

Originalidade e Direitos de Autor

O presente relatório de projeto é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado/a o/a Autor/a e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual a/o mesma/o foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial, no ano letivo 2020/2021, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Agradecimentos

A finalização desta etapa marca o concretizar de um grande e desafiante objetivo para mim, não podendo deixar de agradecer a algumas pessoas que foram essenciais no decorrer deste percurso.

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu pai, Manuel Raimundo de Oliveira e à minha mãe, Maria José Marques Carvalheiro, por proporcionarem todas as oportunidades do meu processo académico e pelas infinitas frases de motivação.

Quero agradecer igualmente aos meus irmãos por todas as trocas de conhecimento e por todo o apoio ao longo deste percurso.

À minha namorada por ser um apoio imensurável em todo o processo.

A todos os meus familiares, colegas de curso e amigos por todas as contribuições construtivas.

Agradeço com igual apreço aos meus orientadores, Professor Doutor Joel Oliveira Correia Vasco e Professor Doutor Pedro José Franco Marques por toda a orientação, apoio, partilha de conhecimento e disponibilidade ao longo de todo o processo.

Queria deixar igualmente, um especial agradecimento ao Filipe Vieira pela permanente disponibilidade para a execução de todos os testes necessários e ao Pedro Oliveira pelo fornecimento e ajuda em todas as peças impressas em 3D, necessárias para a execução do projeto.

À Lopes e Gomes S.A. pelo material disponibilizado para testes e em particular ao Eng. Agostinho Espadinha por todas as trocas de conhecimento.

Resumo

A evolução da tecnologia trouxe consigo novos conceitos e novas formas de pensar. Aos dias de hoje estamos perante a Indústria 4.0 que envolve importantes tecnologias de ponta. Adjacente à Indústria 4.0, cresce o conceito de *Internet of Things*, que tem como principal ideologia a ligação de todas as “coisas” através da *Internet*, com o intuito de comunicarem entre si, transferindo informação relevante para um funcionamento em parceria com uma maior autonomia.

O presente projeto, tem como principal objetivo, a criação de um dispositivo com a capacidade de recolher parâmetros de soldadura durante a execução dos trabalhos, de tratar os dados obtidos e de os armazenar. Posteriormente é feita a análise aos resultados obtidos com o objetivo de criar ilações. Neste projeto são criadas soluções para a observação de dados. É possível avaliar estes parâmetros, em tempo real através da aplicação *Blynk* e, também, recorrendo a um *Dashnoard* criado para análise de dados e avaliação de tempos permitindo a avaliação dos parâmetros de soldadura e a criação de um índice de produtividade.

Após a execução dos testes experimentais e dos registos dos parâmetros utilizados, foram feitos ensaios macrográficas aos provetes com o intuito de os comparar.

Através dos testes experimentais executados, é possível interpretar e avaliar os resultados obtidos pelo dispositivo e o índice de produtividade criado durante a execução destes.

Criou-se assim, um protótipo capaz de atingir os objetivos deste projeto, sendo que no futuro poderá ser um ponto de partida para novos desenvolvimentos.

Palavras-chave: Indústria 4.0, *Internet of Things*, Sensorização, Soldadura, Tensão, Corrente, Velocidade do Fio.

Abstract

The evolution of technology has brought with it new concepts and new ways of thinking. Today we are facing Industry 4.0 that involves a lot of important technologies. Connected to Industry 4.0, the concept of Internet of Things it is growing. The main ideology is the connection of all "things" through the Internet, in order to communicate with each other, sharing relevant information for an autonomous operation.

The main objective of this project is the creation of a device with the ability to measure welding parameters during the execution of the job activities, to process the data obtained and to store it. Afterwards, is made an analysis of the results obtained with the main goal of creating deductions. In this project we created solutions for the observation of data. It is possible to evaluate these parameters in real time through the Blynk application and also using a dashboard created for data analysis, allowing the evaluation of the welding parameters and the creation of a productivity index.

After the realization of the experimental tests and after register the parameters used, the macrographic tests were performed on the specimens with the aim of comparing them.

Through the realization of experimental tests, it is possible to observe and evaluate the results obtained by the device and also the productivity index created during their execution.

In the end, it was created a prototype capable to reach the objectives of this project and in a near future it could be a starting point for new developments in this area.

Keywords:“Industry 4.0”, “ Internet of Things”, “Sensors”, “Welding”
“Voltage”,”Current”, “Wire Velocity”.

Índice

Índice	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	vii
Lista de Siglas e Acrónimos	ix
1. Introdução	1
2. Estado da Arte	3
2.1. Evolução Histórica.....	3
2.1.1. Revoluções Industriais.....	3
2.2. Indústria 4.0	5
2.3. Internet of Things	9
2.4. Big Data	11
2.5. Processo de Soldadura MIG/MAG	15
2.5.1. Descrição do Processo de Soldadura MIG/MAG.....	15
2.5.2. Parâmetros Da Soldadura	17
2.5.3. Tipos de Transferência de Metal	19
2.6. Sistema de Aquisição de Dados	21
2.6.1. Definição	21
2.6.2. Sensores e Transdutores	22
2.6.3. Condicionamento de Sinal.....	23
3. Metodologia Experimental	25
3.1. Placa de Desenvolvimento ESP32	26
3.2. ADS1115	28
3.3. Leitura da Corrente	29
3.4. Leitura da Tensão.....	33
3.5. Leitura da Velocidade do Fio	35
3.6. Visualização de dados.....	38
3.6.1. Display da Placa de Desenvolvimento	38
3.6.2. Aplicação Blynk.....	38
3.6.3. Base de Dados MySQL	39

3.6.4.	<i>Dashboard</i> de Indicadores de Produtividade.....	40
3.7.	<i>Software</i>	41
4.	Caso de Estudo	43
4.1.	Programação <i>ESP32</i>	43
4.1.1.	Medição da corrente e tensão	43
4.1.2.	Medição da velocidade do fio.....	46
4.1.3.	Ligação do <i>ESP32</i> ao <i>Wifi</i> e à aplicação <i>Blynk</i>	48
4.1.4.	Ligação do <i>ESP32</i> à Base de Dados	49
4.1.5.	Ligação do <i>ESP32</i> ao <i>display</i> incorporado.....	51
4.2.	Organização da Base de Dados	52
4.3.	Fluxograma de Programação	53
4.4.	Ligação do <i>DashBoard</i> à base de dados	57
4.4.1.	Índice de produtividade	58
4.5.	Desenho da Placa de Circuito Impresso	60
4.6.	Ensaio	63
4.6.1.	Preparação dos Provetes para ensaio	63
4.6.2.	Execução dos ensaios	64
4.6.3.	Medição do Índice de Produtividade	71
4.6.4.	Ensaio Macrográficos	72
5.	Análise e Discussão de Resultados	77
5.1.	Análise e Discussão de Dados Relacionados com o Dispositivo	77
5.2.	Análise e Discussão de Dados Relacionados com os Ensaio	80
6.	Conclusões	83
	Referências Bibliográficas	87
	Anexos	91
	Anexo A – Desenhos Técnicos de Peças Modeladas para Construção do Sensor de Velocidade	93

Lista de Figuras

Figura 1 - Evolução das Revoluções Industriais.....	4
Figura 2 - Pilares da Indústria 4.0.....	6
Figura 3 - Composição de <i>Big Data</i>	12
Figura 4 – Componentes da tocha de soldadura (<i>What Is Mig Welding /Gas Metal Arc Welding Sparker Electric Ltd., 2018</i>).....	16
Figura 5 – Máquina de Soldadura Semi-Automática Mig/Mag (Shariffuddin, 2015).....	17
Figura 6 - Métodos de transferências metálicas (Hertel et al., 2017)	19
Figura 7 - Processo de aquisição de dados (Baptista, 2005).....	22
Figura 8 - Diagrama de Blocos <i>ESP32</i> (Espressif, 2019).....	27
Figura 9 - <i>Pinout</i> placa de Desenvolvimento <i>ESP32</i>	27
Figura 10 – Esquema e <i>Pinout</i> do <i>ADS1115</i>	28
Figura 11 - <i>Hall Effect Current Sensor L06P800S05 Series</i>	29
Figura 12 - Relação entre a corrente e a tensão de saída do sensor de corrente <i>L06P800S05</i> (Tamura Corporation, 2012)	30
Figura 13 - Desenho técnico do sensor de corrente <i>L06P800S05</i> (Tamura Corporation, 2012)	30
Figura 14 - Diagrama de ligações elétricas do sensor de corrente <i>L06P800S05</i> (Tamura Corporation, 2012).....	31
Figura 15 - Esquema de montagem do divisor de tensão, adaptado de (McAllister, 2021)	34
Figura 16 - Sensor de velocidade em posição de trabalho.....	35
Figura 17 - Sensor de Velocidade <i>FC-33</i>	36
Figura 18 - Modelação da Roda	36
Figura 19 – Modelação do suporte com sensor de velocidade	37
Figura 20 - Placa de Desenvolvimento <i>ESP32</i>	38
Figura 21 - Aplicação <i>Blynk</i>	39
Figura 22 - Programação para aquisição do sinal de corrente	45
Figura 23 - Programação para aquisição do sinal de tensão	45
Figura 24 – Cálculo da corrente	45
Figura 25 - Cálculo da tensão.....	45
Figura 26 - Montagem do Sensor de Velocidade	46

Figura 27 - Definição da entrada "encoder_pin" e execução da função "counter()"	47
Figura 28 - Função "counter()"	47
Figura 29 - Cálculo da Velocidade do Fio	48
Figura 30 - Envio de dados para a Aplicação <i>Blynk</i>	48
Figura 31 - Apresentação das medições através da aplicação <i>Blynk</i>	49
Figura 32 - Tabela da Base de Dados	50
Figura 33 - <i>Query</i> de inserção de dados pelo microprocessador na base de dados	50
Figura 34 - Execução da <i>query</i>	50
Figura 35 - <i>Display</i> gráfico em funcionamento	51
Figura 36 - Disposição/Organização da Base de Dados	52
Figura 37 - Fluxograma de programação (<i>Setup</i>)	55
Figura 38 - Fluxograma de Programação (Loop)	56
Figura 39 - <i>DashBoard</i>	58
Figura 40 - Índice de Produtividade na <i>DashBoard</i>	59
Figura 41 - <i>BreadBoard</i> preparada para ensaios	60
Figura 42 – Esquema elétrico da placa de circuito impresso	61
Figura 43 - Projeto para execução da placa de circuito impresso	61
Figura 44 – Visualização 3D da Placa de Circuito Impresso (Frente)	62
Figura 45 – Visualização 3D da Placa de Circuito Impresso (Verso)	62
Figura 46 - Preparação de Provetes para os ensaios	64
Figura 47 - <i>DashBoard</i> com parâmetros do ensaio do Provette 1	65
Figura 48 - Aplicação <i>Blynk</i> com valores durante os ensaios do Provette 1	65
Figura 49 - <i>DashBoard</i> com parâmetros do ensaio do Provette A	66
Figura 50 - Aplicação <i>Blynk</i> com valores durante os ensaios do Provette A	66
Figura 51 - <i>DashBoard</i> com parâmetros do ensaio do Provette 2	67
Figura 52 - Aplicação <i>Blynk</i> com valores durante os ensaios do Provette 2	67
Figura 53 - <i>DashBoard</i> com parâmetros do ensaio do Provette B	68
Figura 54 - Aplicação <i>Blynk</i> com valores durante os ensaios do Provette B	68
Figura 55 - <i>DashBoard</i> com parâmetros do ensaio do Provette 3	69
Figura 56 - Aplicação <i>Blynk</i> com valores durante os ensaios do Provette 3	69

Figura 57 - <i>Dashboard</i> com parâmetros do ensaio do Provete C.....	70
Figura 58 - Aplicação <i>Blynk</i> com valores durante os ensaios do Provete C.....	70
Figura 59 - <i>Dashboard</i> com o cálculo do Índice de Produtividade.....	71
Figura 60 - Ensaio Macrográfico do Provete 1.....	72
Figura 61 - Ensaio Macrográfico do Provete A.....	73
Figura 62 - Ensaio Macrográfico do Provete 2.....	73
Figura 63 - Ensaio Macrográfico do Provete B.....	74
Figura 64 - Ensaio Macrográfico do Provete 3.....	74
Figura 65 - Ensaio Macrográfico do Provete C.....	75
Figura 66 - Análise Macrográfica dos Provetes 1, 2 e 3.....	81

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Dados de calibração do protótipo	78
---------------------------------------------------	----

Lista de Siglas e Acrónimos

3D	<i>3 Dimensional</i>
ADC	<i>Analogic to Digital Converter</i>
CPS	<i>Cyber Physical Sístems</i>
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
I4.0	Indústria 4.0
IA	Inteligência Artificial
IoT	<i>Internet of Things</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
RA	<i>Realidade Aumentada</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>

1. Introdução

Uma maior qualidade nos produtos aliada ao menor gasto para a sua execução, é fulcral para o crescimento e desenvolvimento da economia mundial. Com esse objetivo, e para saber onde o processo pode ser otimizado, é necessário fazer medições que permitam tirar ilações sobre os caminhos a seguir e decisões a serem tomadas.

Com o avanço das novas tecnologias, com o aparecimento da internet e dos sistemas ligados em rede, cresce um novo conceito de, *Internet of Things* (IoT), que tem como ideologia a comunicação entre máquinas/dispositivos.

Este conceito aliado à necessidade da indústria de controlar processos, cria novas oportunidades no campo da tomada de decisão. Com a comunicação entre máquinas de diversos tipos de variáveis, é possível criar conclusões e prever situações que possam ser essenciais à melhoria contínua.

Com o agrupar de dados recolhidos ao longo dos anos, são criados padrões de funcionamento que, interpretados e analisados, permitem descortinar oportunidades para otimizar o processo.

Com o controlo contínuo de equipamentos é possível também criar indicadores de desempenho. Estes são responsáveis por elucidar para o ponto atual da situação, promovendo a tomada de decisões controladas e o acompanhamento dos efeitos obtidos através delas.

O projeto tem como objetivo a construção de um equipamento que seja capaz de medir a corrente a tensão e a velocidade do fio durante a execução da soldadura. A partir dos dados recolhidos, é possível controlar a qualidade da soldadura em tempo real, ou com uma posterior análise através de um *dashboard*. Neste *dashboard* é também possível mostrar o índice de produtividade do soldador no espaço de tempo em estudo, para que possam ser identificadas causas de eventuais de tempos não produtivos permitindo a execução de ações corretivas.

Em suma, o sistema desenvolvido poderá auxiliar no chão de fábrica no controlo de qualidade da soldadura. Aquando da execução da mesma, este é capaz de fornecer os valores necessários para a avaliação do processo produtivo, evitando a produção de peças não conformes e consequentemente o gasto em retrabalhá-las ou mesmo o de produção de novas peças. Este sistema está preparado também para, a partir dos valores que recolhe, apresentar um índice de produtividade do soldador, mas é possível a partir dos dados recolhidos a criação de novos indicadores ajustados à realidade do utilizador. Este ajuste permite ao utilizador, uma melhor noção da realidade permitindo assim uma maior produtividade, tornando-se mais competitivo no mercado visto que os seus gastos em mão de obra terão tendência a diminuir.

O sistema desenvolvido, insere-se no âmbito de instrumentos utilizados para apoio ao departamento de qualidade e também à área da melhoria contínua de uma empresa.

Este documento encontra-se dividido em seis capítulos.

O 1º Capítulo é a Introdução onde é feita a apresentação e objetivos deste projeto.

O 2º Capítulo trata o estado atual da arte, tendo como objetivo a execução do enquadramento teórico dos assuntos a serem abordados, a partir de documentos anteriormente publicados por diversos autores.

No 3º Capítulo é exposta a metodologia experimental e todos os componentes utilizados no projeto.

No 4º Capítulo são relatados os resultados obtidos e as soluções encontradas.

No 5º Capítulo é feita uma análise e discussão de dados obtidos no caso em estudo.

No 6º Capítulo é feita uma reflexão em relação às conclusões obtidas através da elaboração deste projeto.

2. Estado da Arte

2.1. Evolução Histórica

2.1.1. Revoluções Industriais

As Revoluções Industriais deram início a novas eras e a novos tempos, mudando por completo a maneira de agir e pensar do ser humano e trouxeram consigo novas maneiras de encarar o mundo, novas tecnologias e ferramentas que tiveram um impacto gigantesco na humanidade (Philbeck & Davis, 2019).

Antes de surgir o conceito Indústria 4.0 (I4.0), o mundo passou por diversas revoluções que permitiram o aparecimento de tecnologias e ferramentas, fundamentais para o desenvolvimento e comodidade do ser humano, nomeadamente a manufatura, a mecanização dos sistemas e a utilização de produção automática através do uso das tecnologias de informação (Tay et al., 2018). As consecutivas revoluções, para além de transformarem as tecnologias, também modificaram métodos e técnicas de conhecimento, assim como esquematizações de energia e comunicações (Philbeck & Davis, 2019).

Dando início, a 1ª Revolução Industrial ou Indústria 1.0 surgiu no Reino Unido no Séc XVIII (Philbeck & Davis, 2019) e ficou marcada pelo desenvolvimento da máquina a vapor e a introdução da fabricação de equipamentos da indústria mecânica (Barreto et al., 2017), auxiliando produções baseadas no setor mecânico assim como no setor agrícola (Tay et al., 2018). A invenção do motor a vapor, permitiu, uma produção de energia mecânica capaz de tornar a manufatura das indústrias cada vez mais célere e consequentemente mais eficiente (Blok et al., 2012).

Segundo Jorgenson, (1984) a 2ª Revolução Industrial ocorreu sensivelmente entre 1850 e 1870, dando continuidade ao aparecimento de novas invenções, como por exemplo o aparecimento da eletricidade proporcionando dessa forma, uma enorme repercussão nos tempos que se procederam (Schuh et al., 2014). Houve igualmente, a introdução da produção em massa nas manufaturas, com o grande objetivo de padronizar os produtos através das linhas de montagem, ajudando desse modo, a produção das linhas de ferro dos comboios através da produção massiva de aço, o que acabou por colaborar para uma maior produção geral (Tay et al., 2018).

Posteriormente, no decurso do século XX, ocorreu a 3ª Revolução Industrial, que teve um grande impacto no aparecimento da automação através de equipamentos eletrónicos e tecnologias de informação e comunicação (Barreto et al., 2017), que se instalaram de imediato na sociedade e no seio empresarial (Tay et al., 2018). Conhecida como Revolução Digital, focou-se maioritariamente na modificação da tecnologia, havendo um aumento da vertente computacional e uma diminuição dos valores de manufatura (Yumi Sato Duarte et al., 2018).

Neste momento, estamos perante o conceito da Indústria 4.0, conhecida também como 4ª Revolução Industrial, que permite a integração de diversas tecnologias de ponta em diversas áreas tais como a Ciber Tecnologia, a Automação, o controlo e a respetiva junção das Tecnologias de Informação e das Metodologias Digitais, criando assim um sistema de Redes Inteligentes baseada nos Sistemas Ciberfísicos (CPS) (Barreto et al., 2017).

Na Figura 1 é representado um esquema sequencial com a evolução das Revoluções Industriais e as suas principais características.

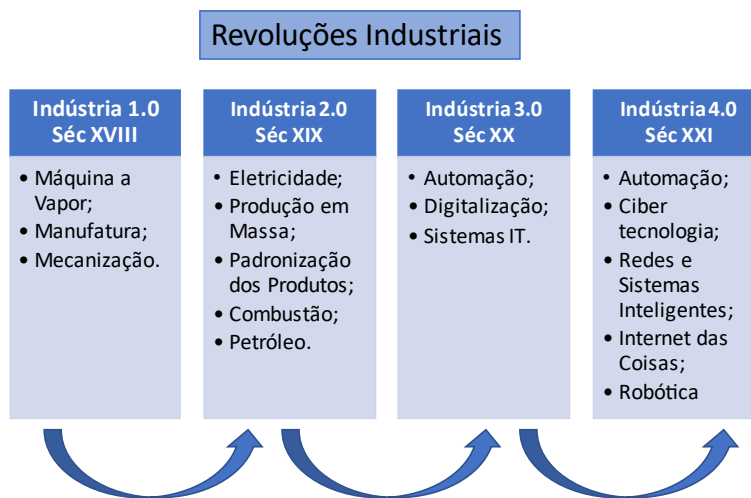


Figura 1 - Evolução das Revoluções Industriais

2.2. Indústria 4.0

A expressão Indústria 4.0 (I4.0), foi pronunciada pela primeira vez numa feira em *Hannover*, na Alemanha em 2011 e acabou por apresentar ao mundo um novo conceito e um conjunto de desenvolvimentos e tecnologias que tornariam os processos e o controlo industrial cada vez mais automatizado e rigoroso (DLG-Expert report, 2015), representando assim, o início de uma nova era (Tay et al., 2018).

A 4ª Revolução Industrial é conhecida como uma compilação de tecnologias exploradas, na qual a *Internet* é usada como estrutura principal para fazer a ligação entre os diversos sistemas existentes (Tay et al., 2018), e é, igualmente, constituída pela vertente de desenvolvimento e integração de novas tecnologias de informação que fomentam novas fontes de comunicação complexas, inteligentes e cada vez mais rápidas (Barreto et al., 2017).

O objetivo primordial é potencializar a correlação entre os produtos inteligentes e os diversos procedimentos no decorrer da cadeia de valor, de modo a que seja possível a existência de processos organizacionais cada vez mais eficientes nos bens e serviços, para incrementar os benefícios do utilizador final, disponibilizando assim novas formas de produtos e infraestruturas (Barreto et al., 2017).

Thames & Schaefer (2017), defendem que a I4.0 está a transformar diversos elementos no setor industrial, através da interligação às tecnologias de comunicação e informacionais como a *Internet*, que permite a formação de inteligência artificial e a existência de fábricas inteligentes.

A I4.0 é constituída por diversas tecnologias (Figura 2), nomeadamente os sistemas em nuvem, a Internet das Coisas também apelidada de *Internet of Things* (IoT), sistema máquina a máquina, base de dados, Sistemas Cíber-Físicos (CPS), inteligência artificial, integração de sistemas horizontais e verticais assim como a Realidade Aumentada (RA) que permite o impulsionamento de inovações e novas reinvenções, havendo assim a possibilidade de acrescentar valor aos diversificados setores do mercado (Thames & Schaefer, 2017).

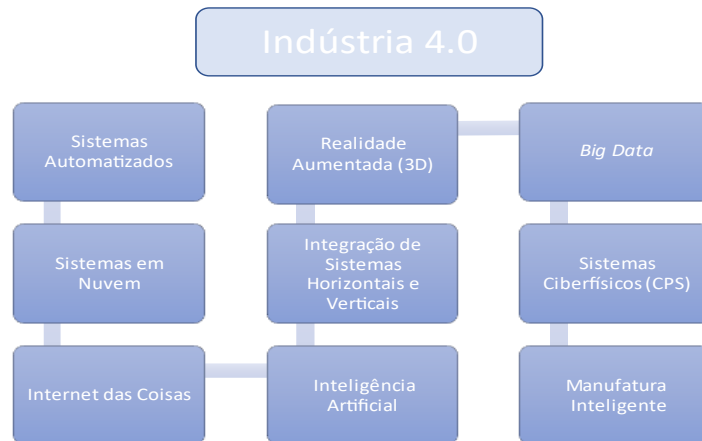


Figura 2 - Pilares da Indústria 4.0

Deste modo, a I4.0 facilita a existência de versatilidade tanto na área de desenvolvimento e manutenção como na vertente de operação dos diversos sistemas automatizados, auxiliando na escolha de melhores ofertas a nível de elementos, módulos e infraestruturas (Jazdi, 2014).

Os processos de desenvolvimento dos produtos consistem em três fases diferentes, começando primeiramente pelo entendimento e perceção da I4.0, posteriormente pela fase de desenvolvimento com o objetivo de criar e delinear a estrutura do modelo e, seguidamente, colocar em prática todos os conceitos idealizados na etapa anterior resultando assim no equipamento final (Schumacher et al., 2016).

O método de digitalização e virtualização, permite a criação de novas oportunidades para as fábricas, com o objetivo primordial de criar novos valores e fomentar a inovação, de modo a criar um ambiente mais competitivo para garantir que os sistemas de produção sejam flexíveis, adaptáveis e ágeis (Mohamed, 2018). Tay et al., (2018) defendem igualmente, que a I4.0 está a transformar por completo a digitalização e a área de automação nas empresas de fabricação, permitindo assim, o funcionamento da digitalização através de sistemas incorporados nas máquinas, elementos da produção e dos respetivos produtos e demais equipamentos.

Nos sistemas automatizados, os setores logísticos e operacionais, encontram-se conectados através de Sistemas Cíber-Físicos, atuadores e sensores que permitem a atuação de uma forma mais ágil e eficiente (Jazdi, 2014).

É necessário um sistema integrado que permita o controlo dos diversos comandos, sensores e atuadores para que seja possível a existência de CPS e de máquinas inteligentes (Jazdi, 2014). As máquinas inteligentes permitem a partilha da informação sobre o fator da procura, tais como níveis de *stock*, respetivos problemas e falhas, assim como mudanças nas encomendas e nos produtos de modo a organizar o processo de produção e a sua entrega, de uma forma mais organizada e metódica (Deloitte, 2015).

A integração da inteligência artificial, das redes e da IoT, convertem-se no surgimento de novos modelos de negócio e cadeias de valores, tornando assim, as indústrias inteligentes, o elemento principal para o aparecimento de infraestruturas cada vez mais automatizadas e inteligentes (Mohamed, 2018). Os diversos sistemas automatizados vão auxiliar o ser humano nas suas tarefas diárias distintas, de modo que as mesmas se tornem sustentáveis e acima de tudo facilitadas. (Jazdi, 2014). Dentro dos sistemas automatizados, existe o *Software* que é determinado pela rede estipulada que funciona através da separação física entre o plano de controlo e a respetiva rede de ligação, construindo assim uma conjunção entre diversos dispositivos que permite um processamento de dados e programas que monitorizam o funcionamento de um equipamento, como por exemplo um computador (Thames & Schaefer, 2017).

Com o decorrer do tempo e com a introdução da nova revolução, as entidades vão passar a ter um papel bastante importante na sociedade na medida em que, a interação entre a *web*, o produto e o utilizador final, vão ser cada vez mais importantes e determinantes para que haja um sucesso da entidade (DLG-Expert report, 2015).

A integração dos sistemas tecnológicos permitem a existência de serviços inovadores através da *Internet*, que conseguem alcançar de uma forma mais facilitada, competente e económica a manutenção e operação necessárias (Jazdi, 2014).

Com o aparecimento da I4.0, as principais empresas e indústrias, estão a atravessar diversos desafios tendo um enorme impacto no contexto social, ambiental, económico e tecnológico (Schumacher et al., 2016) permitindo assim o surgimento de novos métodos e novas técnicas. Barreto et al., (2017), defendem, igualmente, que estamos perante uma transformação na forma como os acontecimentos e os elementos estão a ser coordenados e regulados face ao tecido económico, social, político e industrial, sendo direcionado pela estrutura de homem-máquina, havendo assim, uma conciliação entre estes dois elementos.

De modo a que haja orientação dentro das indústrias, é necessário que as empresas implementem métodos e técnicas que permitam a organização e direção através do alinhamento de estratégias a nível operacional e organizacional a serem aplicadas (Schumacher et al., 2016). Os novos produtos e os novos equipamentos vão ser impulsionados e gerados através da inteligência artificial, capazes de se auto configurarem e se auto monitorizarem (Thames & Schaefer, 2017).

A I4.0 vai permitir atingir resultados astronómicos e vai gerar um aumento de produtividade, permitindo alcançar resultados nunca antes observados (Thames & Schaefer, 2017). A transformação dos processos industriais vai-se manifestar através do aumento da eficiência e eficácia dos respetivos procedimentos (Schumacher et al., 2016), assim como a junção da inteligência do ser humano e da máquina que vão gerar procedimentos avançados na indústria e nas empresas (Thames & Schaefer, 2017).

Com a existência da I4.0 passa a ser possível personalizar os diversos produtos e serviços de acordo com as necessidades dos utilizadores e dos clientes (Jazdi, 2014). Os sistemas de manufatura devem ser acima de tudo flexíveis, ágeis e integrados nas empresas industriais de modo a que as mesmas se mantenham competitivas (Mohamed, 2018).

A I4.0 trás consigo uma nova forma de pensar e uma nova maneira de refletir e analisar as novas formas de pensamento que carecem, posteriormente, de uma mudança permitindo assim a obtenção de uma maior consciencialização face a um novo paradigma que permitirá entender e alinhar o pensamento de gestão e o comportamento organizacional (Barreto et al., 2017), provocando uma transformação nos serviços, na procura e na oferta ao utilizador final.

2.3. Internet of Things

Ao longo do tempo, a *Internet* tem estado em constante evolução representado um símbolo de mudança e transformação (Whitmore et al., 2015), face a isso ao longo da revolução da I4.0, surgiu o conceito *Internet of Things (IoT)* que representa uma mudança e renovação na *Internet* (Patel & Patel, 2016).

A IoT refere-se a um conjunto de objetos que se interligam entre si através da conexão de redes sem fio com a finalidade de obtenção de novos aplicativos e sistemas, de modo a atingir objetivos que são comuns aos diversos setores através de meios de comunicação como *Radio-Frequency Identification (RFID)*, *Local Area Network (LAN)* e redes de longa distância (Patel & Patel, 2016).

De acordo com Thames & Schaefer (2017), a IoT consiste numa integração de várias ferramentas que permitem o desenvolvimento da tecnologia, dando importância ao setor da manufatura e da respetiva produção dos produtos, compreendendo outros setores tais como, as áreas elétrica, mecânica, informática e de comunicação.

A IoT sugere que haja uma conexão entre os dispositivos tecnológicos e os equipamentos do cotidiano, pretendendo incorporar as redes com os dispositivos de modo a que cada aparelho se torne acessível através da *Internet*, havendo assim uma interligação entre os mesmos (Whitmore et al., 2015).

Alguns elementos que constituem o conceito de IoT são por exemplo, os sensores, os atuadores, os *robots* e impressoras 3D (Thames & Schaefer, 2017).

O grande objetivo da IoT recai na ideia de que os objetos estejam conectados entre si, em qualquer momento e em qualquer lugar, apenas utilizando a rede e os demais serviços (Patel & Patel, 2016), assenta na junção entre redes, proporcionando a amplificação da *Internet* para um mundo físico e real (Dlamini et al., 2009).

A *Internet* atualmente e futuramente, será vista como um sistema composto por redes inteligentes e baseada na comunicação entre os equipamentos através da rede, de modo a que seja possível a comunicação de uma forma simples, eficaz e acima de tudo autónoma, sendo assim necessário pouca intervenção por parte do ser-humano (Dlamini et al., 2009), de modo que seja igualmente capaz de demonstrar o desenvolvimento e a interconexão entre as redes e os dispositivos na *Internet* (Whitmore et al., 2015) .

A IoT, composta por redes inteligentes, vai possibilitar a extensão e o desenvolvimento dos serviços e sistemas que são indispensáveis tais como o sector da saúde, da educação e da manufatura, assim como facilitar a criação de novos desenvolvimentos para a existência de novos aplicativos e ferramentas (GSMA Association, 2014).

A IoT vai ter um grande impacto não só no sector industrial assim como nas pessoas que estão envolvidas nos respetivos processos que contribuem para o sucesso da I4.0 e das respetivas ferramentas associadas, conduzindo assim para um mundo em que os sistemas inteligentes criam um novo protótipo (Thames & Schaefer, 2017).

2.4. *Big Data*

Com o passar do tempo, cada vez mais as empresas começam a detetar o quão importante é armazenar os dados e fazer a sua respetiva gestão, de modo a que seja possível armazenar e condensar todas as informações que advêm dessas mesmas fontes de forma a estabelecer e gerir as suas estratégias e prioridades (Riahi & Riahi, 2018).

O conceito *Big Data* remete para os dados de grande dimensão, vastos, que acabam por estar inicialmente desorganizados e o grande objetivo é organizar, estruturar e tratar esses dados de maneira a que forneçam informações sobre as diversas características do negócio, como por exemplo a extração de padrões de comportamento, análise das potenciais tendências do mercado e da concorrência, assim como a observação dos interesses e escolhas dos consumidores e dos clientes face aos produtos e serviços oferecidos (Zakir et al., 2015). Relaciona-se com a gestão de um elevado número de dados que produzem informação necessária para as empresas e sobre as empresas que necessitam de ser albergadas no armazenamento de um equipamento informático dotado de uma ferramenta de análise específica (Riahi & Riahi, 2018). Trata-se de dados que possuem uma maior capacidade que os dados normais, isto é, são dados que acabam por ultrapassar a capacidade normal e para isso necessitam de um armazenamento que se adapte à estrutura e ao tamanho dos mesmos. Deverá ser analisada a multiplicidade dos dados assim como a sua interligação, de modo a extrair as informações necessárias (Riahi & Riahi, 2018).

Chan (2013) defende, igualmente, que o conceito de *Big Data* está associado à existência de um grande armazenamento e de algo que necessita de uma enorme capacidade que consiga suportar o tamanho desses mesmos dados, que posteriormente, podem ser traduzidos e exportados por diversas plataformas.

Os dados são compostos por diversas formas, sendo que existem dados heterogéneos, dados organizados, dados semiestruturados e aqueles que não são estruturados, isto é, que não possuem toda a informação necessária (Riahi & Riahi, 2018), assim sendo, o *Big Data* acaba por ser constituído por dados estruturados e dados armazenados em *data warehouse*, assim como dados transacionais e não estruturados, como por exemplo conteúdos audiovisuais, textos e sensores (Grover et al., 2018).

A Figura 3 demonstra de forma ilustrativa a composição do *Big Data*.



Figura 3 - Composição de *Big Data*

Existem diversas características de *Big Data* e diversos tipos de análise de dados, iniciando primeiramente pela análise descritiva, onde devemos questionar o que está a acontecer com os dados e a que informação podemos relacionar, iniciando por pôr em prática o processo de *Data Mining*, que consiste na extração da informação e a respetiva informação dos dados através de uma base de dados específica (Riahi & Riahi, 2018). Seguidamente, será posto em prática o Diagnóstico Analítico que consiste na análise das informações de modo a entender a informação contida através da análise dos dados, também conhecido como *Data Analytics* (Riahi & Riahi, 2018). Posteriormente, procede-se à Análise Preditiva. Após a informação analisada anteriormente, procede-se a uma previsão através da utilização de Inteligência Artificial (IA) para a constituição de possíveis futuras eventualidades (Riahi & Riahi, 2018). Por fim, segue-se a Análise Prescritiva que equivale à aplicação de métodos para que se possa encontrar a melhor solução face aos dados anteriormente analisados e interpretados (Riahi & Riahi, 2018).

Aos dias de hoje, as redes sociais têm a capacidade de interligar um elevado conjunto de utilizadores, assim como dispositivos que mudam por completo a forma como as entidades comunicam e analisam os dados (Grover et al., 2018). Os dados podem ser obtidos por diversas origens, como por exemplo a inserção manual destes pelo utilizador, redes sociais, páginas de *web* ou por aquisição de dados através de sensores (Grover et al., 2018). Para que seja possível angariar, armazenar, tratar, editar e partilhar é necessária uma plataforma que contenha a capacidade necessária (Grover et al., 2018).

Existem diversas ferramentas que tem como principal objetivo organizar grandes volumes de dados. Uma das mais utilizadas é a plataforma *Apache Hadoop* que é um *software* em *Java*, que processa dados com um maior volume e que armazena diversos dados distintos, sendo que possui a capacidade de distribuição para diversos *clusters*, o que permite armazenar grandes unidades de memória (Salina & Rao, 2016). A plataforma *Hadoop* é um *software* de código aberto que é liderado pelo *Apache*, levando assim à denominação de *Hadoop Apache*, permite o armazenamento de diversos dados, estruturados e não estruturados, de uma forma veloz e ágil (Ajah & Nweke, 2019), permite o armazenamento dos dados de grande dimensão assim como o respetivo processamento, fornecendo, igualmente, ferramentas que permitem a exploração e análise dos dados (Zakir et al., 2015).

Para além desta ferramenta, existem também programas como o *MapReduce HDFS*, *NoSQL*, *PUG*, *MongoDB*, *Cassandra*, *HIVE* e *HBASE*. Estas ferramentas acabam por se auxiliarem mutuamente para a extração dos dados, análise e validação, com o objetivo de dar valor e significado aos mesmos (Zakir et al., 2015), assim como para o seu armazenamento (Grover et al., 2018).

As plataformas que suportam o *Big Data* foram criadas essencialmente com o objetivo de extrair, observar e verificar os dados de grande volume que são resultado da informação que advém dos departamentos e das atividades consequentes do negócio (Ajah & Nweke, 2019).

O *Big Data* aos dias de hoje, representa uma parcela competitiva a nível empresarial, cada vez mais a entidade consegue tornar-se mais competitiva no mercado face à existência e à capacidade de obter ferramentas que sejam capazes de extrair, tratar e analisar os dados de grande dimensão, tornando-se progressivamente uma vantagem tendo em conta que

permite uma rápida resposta face às exigências do mercado e dos seus respetivos clientes (Chan, 2013). O objetivo primordial é gerar e acrescentar valor.

Dentro do tecido empresarial, cada vez mais se torna imprescindível a obtenção de dados de grande volume que acabam por determinar o passado e potenciar a previsão do futuro da organização, tornando assim uma vantagem competitiva face às demais entidades e concorrentes (Zakir et al., 2015). A análise dos dados tornou-se importante, para as empresas potenciarem e perceberem o valor e o impacto que poderão ter no mercado, assim como as parcelas que poderão melhorar face à análise de dados que permitem a leitura de diversos aspetos, tais como o desempenho e a criação de novos serviços que permitem uma oferta mais personalizada para que haja um crescimento e uma maior eficiência e eficácia no seu negócio (Zakir et al., 2015).

2.5. Processo de Soldadura MIG/MAG

2.5.1. Descrição do Processo de Soldadura MIG/MAG

A soldadura *MIG/MAG* é uma tecnologia de soldadura por arco elétrico, que foi desenvolvida no século XX, mais propriamente no ano de 1920 nos Estados Unidos da América (Nadzam et al., 2014).

A expressão *Gas Metal Arc Welding* ou também conhecida como GMAW é por definição um processo de soldadura através de arco elétrico que permite a união de dois metais através do aquecimento de ambas as peças que se unem pelo continuo depósito de um fio de metal. Este processo, usa igualmente, um gás responsável pela proteção do banho de soldadura do meio envolvente com o intuito de não existirem qualquer tipo de agentes contaminadores (Nadzam et al., 2014).

Originalmente, a técnica de soldadura GMAW foi concebida e desenvolvida com o intuito de soldar metais não ferrosos, como é o caso do alumínio, por volta do ano de 1940 (Nadzam et al., 2014). Com o avanço da tecnologia este processo foi adaptado também à soldadura de metais ferrosos devido à capacidade que o processo tem de oferecer uma velocidade elevada de execução comparada às técnicas existentes até à data (Kumar et al., 2017). Os custos dos gases inertes na altura limitaram a utilização transversal deste processo, sendo utilizados assim os gases semi-inertes. Com estas alterações, por volta dos anos 1950 a 1960, este processo ganhou uma grande adesão graças à sua versatilidade e devido aos resultados apresentados (Kumar et al., 2017).

O presente processo subentende duas vertentes, o *Metal Inert Gas (MIG)* onde é utilizado um gás inerte e o *Metal Active Gas (MAG)* onde é utilizado um gás não inerte aquando da soldadura (Kumar et al., 2017).

Os parâmetros da soldadura influenciam diretamente a qualidade, a produtividade e o custo da soldadura. Para executar uma soldura de qualidade todos os parâmetros têm que estar em conformidade, sendo estes, a corrente, a tensão, a velocidade de soldadura, o ângulo da tocha, o comprimento de fio solto no bico da tocha, a distância do bocal à peça, a posição, a direção da soldadura e o caudal de gás (Ibrahim et al., 2012).

Segundo um teste realizado por Ibrahim et al.(2012), foi possível observar que a penetração da soldadura aumentava com o aumento da corrente mas decrescia com o decréscimo da tensão.

A investigação do processo GMAW e a relação entre as variáveis do processo e a geometria do cordão, demonstraram que a corrente do arco tem maior efeito na geometria do cordão (Ibrahim et al., 2012).

Na Figura 4 é retratada uma soldadura em execução, focando a tocha de soldadura etiquetando os seus componentes.

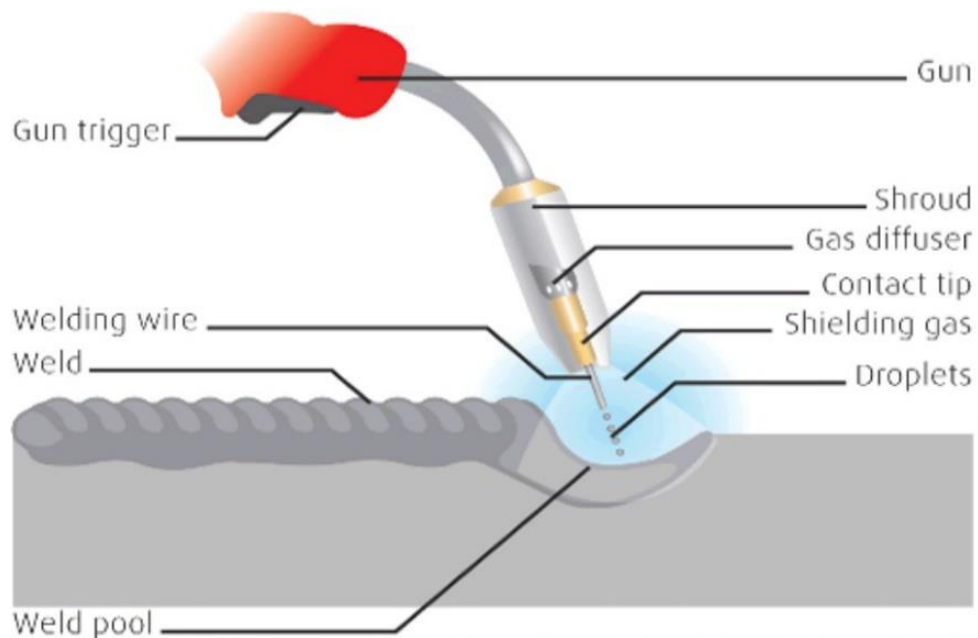


Figura 4 – Componentes da tocha de soldadura (What Is Mig Welding /Gas Metal Arc Welding | Sparker Electric Ltd., 2018)

Neste tipo de soldadura *MIG/MAG* (Figura 5) os principais componentes são a fonte de alimentação para a soldadura proveniente da máquina de soldar (*Welding Machine*), o alimentador automático de fio (*Wire Feed*), a tocha de soldadura (*Welding Gun*), a botija de gás protetora e os respetivos reguladores (*Shielding Gas Cylinder e Regulator and Flowmeter*) e o fio de soldadura. Normalmente, existe também neste tipo de máquina, um sistema de refrigeração com o objetivo primordial de controlar o sobreaquecimento do aparelho (Kobe Steel LTD, 2015).

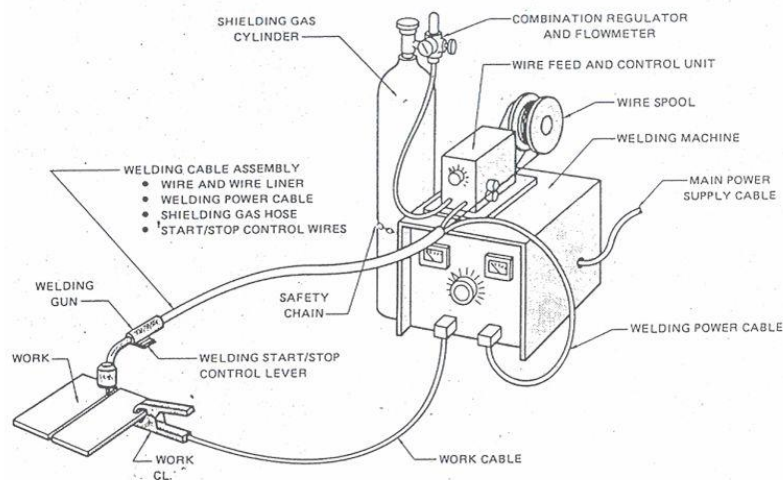


Figura 5 – Máquina de Soldadura Semi-Automática Mig/Mag (Shariffuddin, 2015)

2.5.2. Parâmetros Da Soldadura

Conforme mencionado anteriormente, os parâmetros de soldadura na soldadura *MIG*, são os fatores responsáveis pela obtenção de qualidade na mesma. Os parâmetros utilizados aquando da execução da soldadura influenciam diretamente na qualidade, na produtividade e consequentemente no custo da mesma (Kumar et al., 2017). Os parâmetros que mais influenciam a soldadura são a corrente, a tensão e a velocidade de alimentação do fio de soldadura, sendo estes reguláveis pelo operador na máquina de soldadura semiautomática. Estes influenciam a resistência da soldadura e a geometria do banho de soldadura durante o respetivo processo (Kumar et al., 2017).

O gás de proteção e o elétrodo passam ambos pela pistola de soldadura protegendo assim o processo de contaminantes no ar, desta forma, o processo poderá ser semiautomático ou automático (Ibrahim et al., 2012).

A corrente tem como principal função a capacidade de fornecer a temperatura aos materiais durante a soldadura, fazendo com que estes atinjam o ponto de fusão (Broberg, 1974). Assim, este parâmetro é responsável pela penetração da soldadura no material base fazendo com que se torne um parâmetro fulcral para a qualidade da soldadura. Este parâmetro é também o principal responsável pela definição do método de transferência metálica (Broberg, 1974).

A tensão é responsável pelo controlo do arco elétrico, sendo que durante a transferência também afeta o aumento da corrente e o aquecimento durante a execução da soldadura (Broberg, 1974). O aumento da velocidade de alimentação do fio conjugada com o aumento da corrente e da tensão são fatores que aumentam a temperatura do processo (Broberg, 1974). A tensão também é responsável pelo tipo de transferência dependendo, este, do tipo de gás que está a ser utilizado.

Se todos os parâmetros associados à soldadura permanecerem constantes, o aumento da tensão fará com que o cordão se torne mais largo e achatado. O alargamento do banho de fusão e o aumento da capacidade térmica resultará num aumento da zona termicamente afetada. Este parâmetro quando se encontra alto poderá causar porosidades, pingos de soldadura e bordos queimados, caso contrário, se se encontrar com parâmetros demasiado baixos apresentará cordões estreitos e um aumento da altura do cordão (Ramalho & JR. Luiz Gimenses, 2002).

Com as premissas iguais, dá-se uma diminuição da velocidade de soldadura que irá resultar num cordão mais largo, onde será possível observar um aumento do depósito do material. No entanto, se as velocidades forem muito altas, são executados cordões de soldadura mais estreitos e com pouca penetração (Ramalho & JR. Luiz Gimenses, 2002).

Ao aumentar a velocidade do fio, aumenta consecutivamente, a corrente no fio. Geralmente estes são produzidos em diâmetros de 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 e 1.6 mm (Broberg, 1974).

2.5.3. Tipos de Transferência de Metal

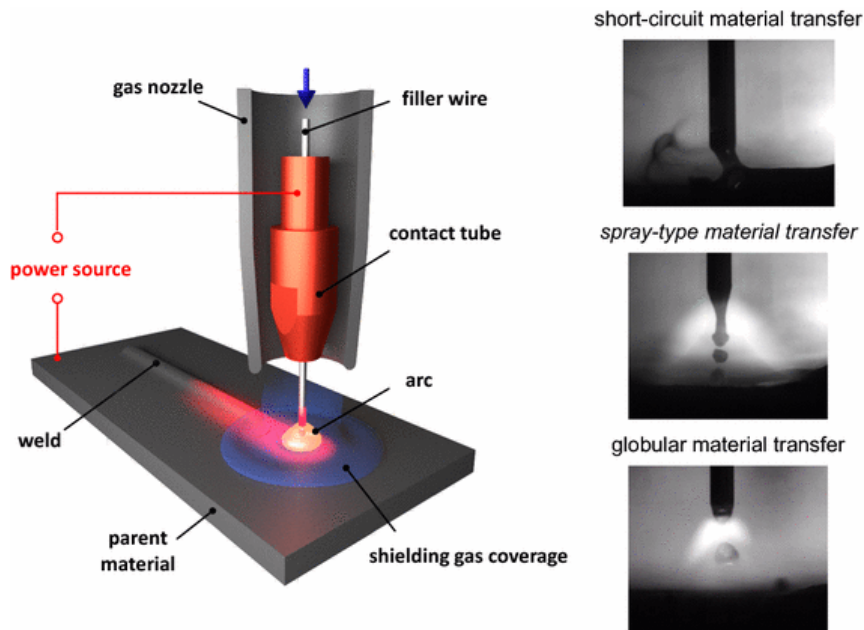


Figura 6 - Métodos de transferências metálicas (Hertel et al., 2017)

1. Curto-Circuito

O tipo de transferência por curto-circuito inicia-se quando o eletrodo está em contacto com o material, existindo assim diversos curtos-circuitos. Durante este evento, a corrente aumenta, aumentando a temperatura do eletrodo fazendo com que este chegue ao estado de fusão (Figura 6). Posto isto, existe uma nova diminuição da corrente e o aumento da tensão para a criação de um novo arco, de modo a reiniciar assim o respetivo ciclo (Broberg, 1974).

2. Globular

O método por transferência globular é em tudo semelhante ao método de curto-circuito, mas com valores de tensão mais altos. Com o aumento da tensão, é criado um arco capaz de fazer com que a ponta entre em estado de fusão, caindo por gravidade no banho de soldadura (Figura 6)(Broberg, 1974).

3. Pulverização (*Spray*)

O método de transferência por pulverização ocorre quando os valores de tensão de soldadura são mais elevados. Devido à quase inexistência de variação de tensão e de corrente durante o processo e aos seus elevados parâmetros, este gera um aumento de temperatura e um aumento do arco elétrico, fazendo com que pequenas gotas de eletrodo

sejam projetadas contra a junta formando assim, um banho de soldadura e a esperada penetração (Figura 6) (Broberg, 1974).

4. Pulsado

O método por transferência pulsado é em tudo semelhante ao método anteriormente apresentado de pulverização, sendo que existe uma oscilação apenas da corrente durante o processo. Esta variação permite um arrefecimento da peça devido à falta de corrente fazendo com que o material base não seja afetado pela temperatura do processo (Broberg, 1974).

2.6.Sistema de Aquisição de Dados

2.6.1. Definição

Ao longo do tempo os Sistemas de Aquisição de Dados foram-se desenvolvendo, sendo que atualmente são compostos por sistemas que possuem a capacidade de medição de diversas variáveis (Computing Corporation, 2004).

É chamado Aquisição de Dados ao processo de transformação de qualquer fenómeno físico real, num sinal elétrico proporcional, sendo este transformado posteriormente num sinal analógico para assim poder ser armazenado, manipulado e interpretado. (Serrano et al., 2004). Refere-se, igualmente, ao processo em que os acontecimentos reais são medidos, transformados em sinais analógicos, convertidos em sinais digitais e armazenados de modo a registá-los e conseqüentemente analisá-los (Potter & Eren, 2011).

Em grande parte dos casos, estes fenómenos são conduzidos a uma gama de valores contínuos como por exemplo, a luz, a temperatura, a pressão, a força, o deslocamento, etc. (Baptista, 2005).

Os Sistemas de Aquisição de Dados são compostos por 4 elementos distintos, tais como Sensores, Condicionadores de Sinal, Conversores Analógicos – Digitais e Computadores. (DEWESoft, 2020a).

Os dispositivos responsáveis por estas ações são os sensores e os transdutores, isto é, estes recebem as quantidades físicas de grandezas analógicas e convertem-nas em quantidades elétricas (Figura 7), tais como tensão, corrente ou impedância (Baptista, 2005). O objetivo primordial recai na transformação dos sinais analógicos para a vertente digital, sendo que é executado pelo computador que acaba por processar os dados e conseqüentemente registá-los (Potter & Eren, 2011).

Um sistema de aquisição de dados tem também a função de garantir ao sistema que existe uma relação aceitável entre os dados adquiridos e o medido, apurando a veracidade dos dados obtidos (Baptista, 2005).

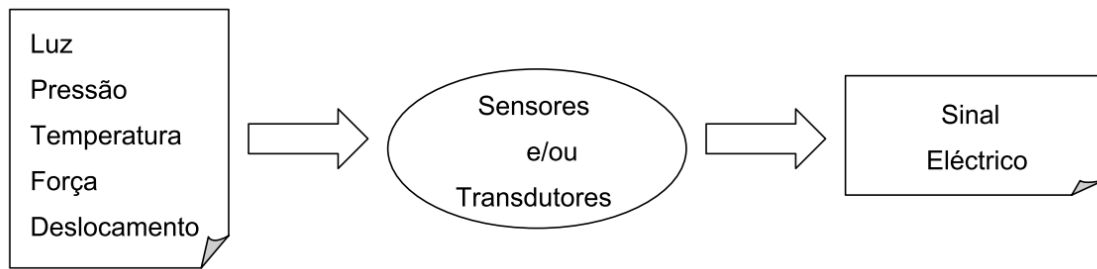


Figura 7 - Processo de aquisição de dados (Baptista, 2005)

2.6.2. Sensores e Transdutores

Os sensores e os transdutores são os responsáveis por traduzir os fenómenos do “mundo real” com a sua respetiva grandeza em sinais elétricos para serem devidamente acondicionados e utilizados (Serrano et al., 2004). Ambos são considerados equipamentos de medição (Usher & Keating, 1996).

O sensor está ligado à transformação do sinal de diversas formas (McGrath & Scanail, 2013). Trata-se de um equipamento que recebe vários estímulos e responde com um sinal elétrico (Fraden, 2010). Para além disso, tem a capacidade de converter uma medição física num sinal que poderá ser analisado e observado por um instrumento (KY et al., 2012).

Os Transdutores são equipamentos que tem como principal função a conversão de energia de um equipamento para o outro (Sinclair, 2001). Essa energia poderá ser composta de diversas formas, poderá ter uma natureza elétrica, térmica, mecânica, ótica, magnética, química, entre outros (Usher & Keating, 1996). Todos os Transdutores contêm Sensores (Usher & Keating, 1996).

Em todos eles o sinal elétrico produzido pelos sensores ou transdutores tem uma relação previamente delineada. Estes podem ter diversas gamas de campos magnéticos, amplitude de sinal, sensibilidade, estabilidade, linearidade, entre outros (Serrano et al., 2004).

Existem também sensores intrusivos e não intrusivos que, como o próprio nome indica, interferem ou não com o meio em que estão inseridos como por exemplo, existem sensores capazes de medir caudais com turbina que são inseridos na tubagem onde ocorre o escoamento, tornando este um sensor intrusivo, mas também é possível fazer a mesma medição de caudal através de um sensor de ultrassons que não necessita de estar a perturbar o caudal que está a ser alvo de medição (Serrano et al., 2004).

No entanto, é necessário ressaltar que o sensor acaba por estar ligado ao mundo físico sendo que o seu principal objetivo é detetar potenciais mudanças, em sentido inverso, os Transdutores estão associados à conversão de energia (Usher & Keating, 1996).

2.6.3. Condicionamento de Sinal

O condicionamento de sinal é considerado um dos componentes fundamentais do sistema de aquisição de dados, sendo que o seu objetivo primordial recai na medição física de objetos (DEWESoft, 2020b).

Quando os sensores ou transdutores são estimulados, respondem com sinais elétricos que necessitam de ser convertidos visto que, para o equipamento de aquisição conseguir executar a função para que foi destinado, precisa que o sinal seja convertido de analógico para digital (Serrano et al., 2004). Após a conversão de sinal os equipamentos de aquisição de sinal, como é o caso dos computadores, processam e armazenam. As principais tarefas de um condicionador de sinal são a filtragem, a ampliação, a linearização, o isolamento e a alimentação. (Serrano et al., 2004).

O condicionamento de sinal é considerado um sistema de medição, que inicia com um sensor elétrico e depois regista um sinal de transmissão que corresponde a um equipamento, sendo que geralmente consiste num circuito eletrónico (Pallás-Areny & Webster, 2001), é composto pelo isolamento elétrico, pela conversação do sinal eletrónico e pela medição (Pepperl Fuchs, n.d.).

3. Metodologia Experimental

Pretende-se com esta investigação criar um sistema para monitorização de uma máquina de soldadura *MIG/MAG*. Este sistema permite monitorizar os parâmetros com que a máquina está a atuar, sendo eles a corrente de soldadura, a tensão de soldadura e a velocidade do fio. Com estes parâmetros, conjugados com as especificações dos materiais a unir, com o tipo fio de soldadura e com a técnica usada, podemos controlar o estado da soldadura.

Este instrumento tem como objetivo, registar os dados obtidos através dos sensores usados, numa base de dados *SQL*, para que possibilite uma posterior análise crítica. A base de dados *SQL* tem como função guardar os dados adquiridos, fornecendo-os quando solicitados, para assim se possível avaliar a conformidade da soldadura.

Para facilitar a observação de dados é feita também uma análise dos mesmos em tempo real através de uma aplicação no *SmartPhone*, para que possa existir um controlo no chão de fábrica. Esta função é importante para monitorizar os valores enquanto são feitos testes em provetes, antes de iniciar a soldadura final ou para controlar o processo a meio da sua execução.

Para a aquisição e tratamento de dados foi escolhida uma placa de desenvolvimento *ESP32*. Esta tem como principais vantagens em relação às suas concorrentes de mercado, ter incorporada em simultâneo uma placa de Wi-Fi, uma placa de *Bluetooth* e conversores *ADC (Analogic to Digital Converter)*. A utilização da aplicação *ArduinoIDE* para a sua programação foi também um fator decisivo para a sua escolha. Esta também foi a melhor solução qualidade/preço encontrada no mercado.

Neste capítulo, será descrita a metodologia utilizada durante a construção deste instrumento de monitorização e de todas as técnicas utilizadas durante o seu processo.

De seguida vão ser descritos os recursos necessários para a execução do projeto.

3.1. Placa de Desenvolvimento *ESP32*

A Placa de Desenvolvimento *ESP32*, como o próprio nome indica, é uma série de placas de desenvolvimento de baixo custo e de baixo consumo energético, com um microcontrolador integrado, *Wifi* e *Bluetooth* e foi criada e desenvolvida pela *Espressif Systems*. (Espressif, 2019).

Esta placa de desenvolvimento é composta por 36 *inputs/outputs* diferenciados, para conseguir responder às necessidades do utilizador. Estas entradas e saídas podem ser, por exemplo, alimentação para sensores que dela necessitem, executando assim, a tarefa de fonte de alimentação ou apenas de condutores de informação.

Assim, esta placa/controlador fica responsável pela receção de informação, pelo seu tratamento e pelo envio da mesma para as plataformas de interface para posteriormente serem avaliados pelo utilizador final.

Esta placa de desenvolvimento, tem também como característica a capacidade de conseguir transformar sinais do tipo analógico, enviados pelos sensores a ela conectados, em sinais digitais pelo conversor ADC. Esta conversão permite assim que os dados enviados pelos sensores acima referidos, sejam passíveis de ser interpretados e analisados através de programação. Quanto maior for a capacidade de resolução de transformação do ADC, maior é a fiabilidade dos dados obtidos.

Para este estudo foi utilizado um conversor de sinal com uma grande capacidade de transformação e conseqüente resolução.

Assim, para a aquisição de dados, foi utilizado o protocolo de comunicação I2C que permite o envio de dados do conversor de sinal *ADS1115* para o microcontrolador.

Estes dados aquando do seu recebimento, são tratados pelo microcontrolador tornando-os mais apelativos para o utilizador final.

A Figura 8, mostra um diagrama de blocos que contém todos os componentes presentes no microcontrolador *ESP32*.

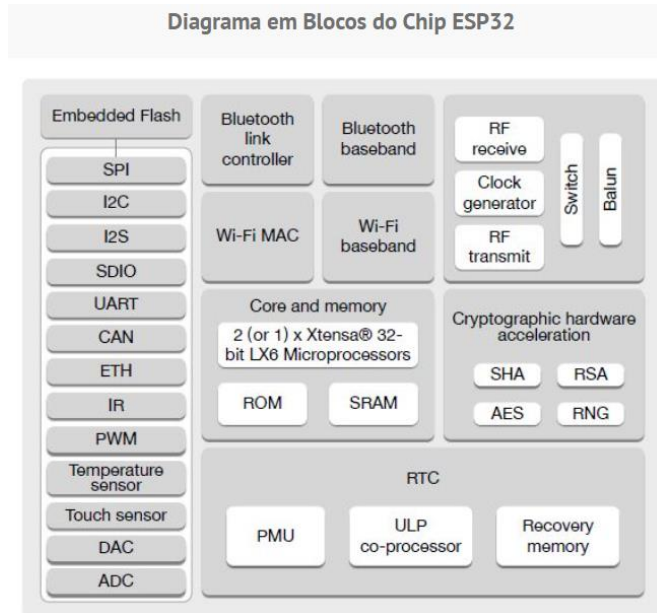


Figura 8 - Diagrama de Blocos ESP32 (Espressif, 2019)

Na Figura 9 é demonstrado a disposição das ligações disponíveis no controlador assim como a nomenclatura de cada uma.

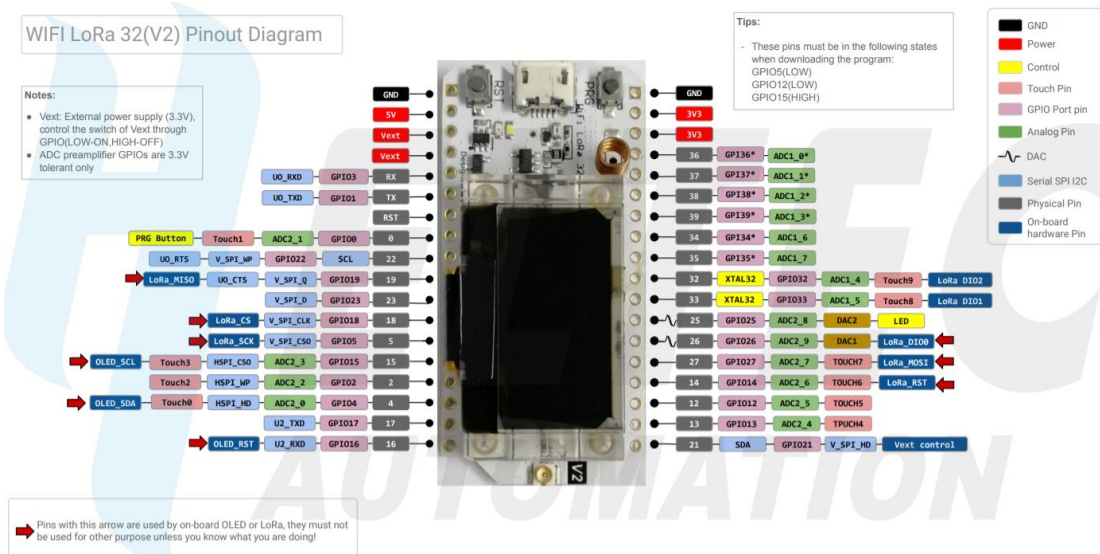


Figura 9 - Pinout placa de Desenvolvimento ESP32

(ESP32 LoRa Heltec v2 with Display – Pinout Diagram, 2021)

3.2.ADS1115

O *ADS1115* é um conversor ADC, isto é, um conversor que transforma sinais analógicos em sinais digitais de alta precisão com 16 *bits* de resolução (Texas Instruments, 2009).

O *ADS1115* consegue uma performance de 860 conversões por segundo e trabalha com uma tensão de alimentação que pode variar dos 2V e os 5.5V (Texas Instruments, 2009).

Este conversor é responsável pelo envio de valores para o *ESP32* para assim poderem ser analisados, registados e avaliados através de um modo de comunicação *I2C*.

A Figura 10 ilustra a disposição das entradas disponíveis no dispositivo. No projeto em questão foram utilizadas 2 entradas *ADC* para fazer a leitura dos sinais analógicos provenientes do divisor de tensão e da pinça amperimétrica. Foram ligadas também as entradas *Serial Data (SDA)* e *Serial Clock (SCL)* responsáveis pelo envio de informação para o microcontrolador e por último a alimentação e a massa, responsáveis por fornecerem energia para o funcionamento do mesmo.

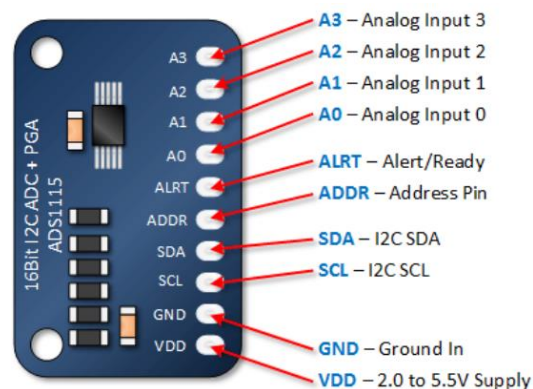


Figura 10 – Esquema e *Pinout* do *ADS1115*

3.3. Leitura da Corrente

De forma a medir o sinal da corrente foi usado um sensor de corrente de Efeito de *Hall*.

Os sensores de efeito de *Hall* são utilizados como protetores de circuitos elétricos, análise de campos magnéticos, distribuição de corrente e na maioria dos casos são utilizados para fazer a medição de corrente de um condutor (Gokmen & Tuncalp, 2010).

Quando a corrente passa por um condutor, que por sua vez está próximo do sensor de efeito de *Hall*, este gera uma tensão proporcional à corrente que passa no condutor. A tensão de saída proporcionada pelo sensor é igual, quer seja a onda *Alternating Current* (AC) ou *Direct Current* (DC) (Gokmen & Tuncalp, 2010).

Existe uma relação linear razoável entre a tensão à saída do sensor e a corrente que passa no fio condutor, o que permite que seja feita uma equação correspondente à relação entre as duas (Gokmen & Tuncalp, 2010).

Para serem obtidos os melhores resultados possíveis, é usual que o valor obtido pelo sensor aplicado no protótipo seja comparado com um medidor de corrente calibrado para assim poder viabilizar os resultados do mesmo.

O sensor utilizado foi o *Hall Effect Current Sensor L06P800S05 Series* (Figura 11).



Figura 11 - *Hall Effect Current Sensor L06P800S05 Series*

O sensor utilizado é da marca *Tamura* e permite medir correntes até 800A fazendo a sua conversão para tensão de modo que possa ser lida pelo conversor *ADS1115*.

Este sensor é alimentado com 5V e fornece uma tensão de 2,5V quando se encontra a medir 0A. Quando a corrente medida chega ao limite de 800A este fornece uma tensão

de 4V e quando a corrente é de -800A o mesmo fornece uma tensão de 1V como mostra a Figura 12.

O valor negativo ou positivo da corrente demonstra a direção da mesma.

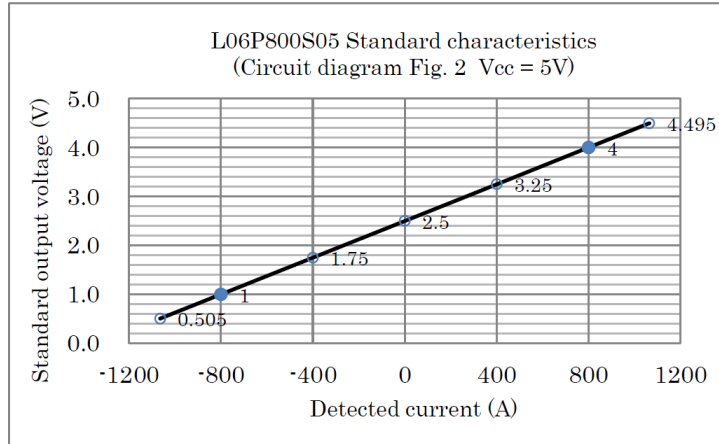


Figura 12 - Relação entre a corrente e a tensão de saída do sensor de corrente L06P800S05 (Tamura Corporation, 2012)

Na Figura 13 é possível interpretar as dimensões do sensor e na Figura 14 a disposição das ligações elétricas e o método de montagem.

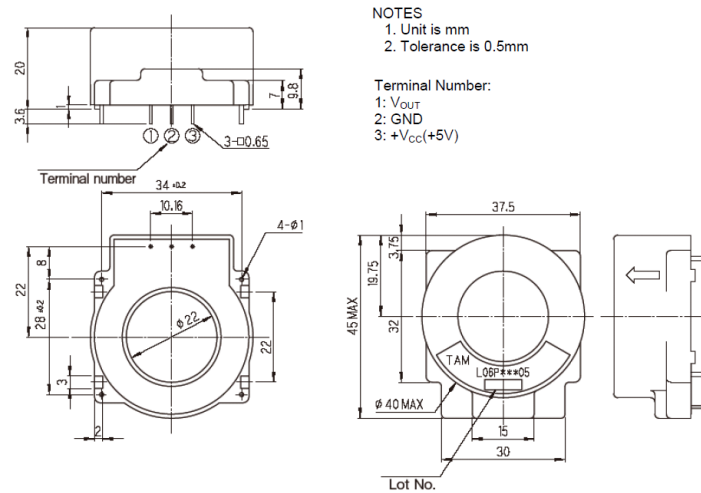


Figura 13 - Desenho técnico do sensor de corrente L06P800S05 (Tamura Corporation, 2012)

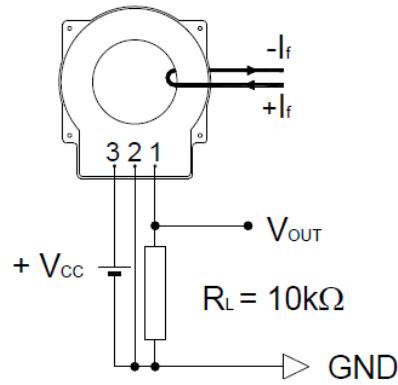


Figura 14 - Diagrama de ligações elétricas do sensor de corrente L06P800S05 (Tamura Corporation, 2012)

A tensão de referência V_{ref} , é metade da tensão fornecida ao sensor (V_{cc}). Quando a corrente presente no fio condutor que atravessa o sensor, é de valor 0A, o $V_{out} = V_{ref}$ e têm valor de 2,5V, como anteriormente descrito na Figura 12 e demonstrado na Equação 1.

$$V_{ref} = \frac{V_{cc}}{2} \quad (1)$$

Quando existe corrente a passar pelo sensor no sentido positivo a tensão de saída V_{out} passa a ser $V_{ref} + (\text{tensão convertida a partir da corrente medida})$. Quando a corrente passa no sentido negativo o V_{out} é $V_{ref} - (\text{tensão convertida a partir da corrente medida})$.

Posto isto a sensibilidade do sensor de corrente não varia em relação à tensão fornecida pela fonte de alimentação, mas sim pela variação de corrente que passa pelo sensor.

Sendo I_f a corrente que passa no condutor temos:

$$V_{out} = \frac{1.5}{800} \times I_f + \frac{V_{cc}}{2} \quad (2)$$

A Equação 2, demonstra que a tensão de saída do sensor, é igual à linearidade entre os 1.5V disponíveis para ler os 800A e a corrente apresentada no condutor mais a tensão de referência.

Se o V_{out} é fornecido ao conversor *ADS1115* que por sua vez o envia para o microcontrolador e o objetivo é calcular a corrente, é necessário que a mesma fique em evidência para que o seu cálculo seja possível.

Segundo a Equação 3:

$$I_f = \left(V_{out} - \frac{V_{CC}}{2} \right) \times \frac{800}{1.5} \quad (3)$$

Esta é a fórmula utilizada no microcontrolador para calcular a corrente que passa no fio condutor responsável pela execução da soldadura.

3.4. Leitura da Tensão

O divisor de tensão tem a função de dividir a tensão. Este é necessário porque a tensão de trabalho da máquina semiautomática de soldadura ronda os 50V e o conversor de tensão ADS1115 utilizado no projeto, não está preparado para ler esta gama de valores.

Assim, a tensão é dividida através de circuito elétrico para que o conversor de tensão a possa medir e para que posteriormente, após ser convertida em sinal digital, este processo possa ser invertido na programação no microcontrolador através de uma equação.

Para calcular o divisor de tensão foi tido em conta o valor de tensão de entrada no intervalo de [0;50V], o valor de tensão à saída do divisor de tensão num intervalo de [0;3.3V] e a resistência $R_1 = 100K\Omega$.

Segundo a equação do divisor de tensão (4) temos:

$$V_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{cc} \quad (4)$$

Tendo em conta que $R_1 = 100K\Omega$, $V_0 = 3.3V$ e $V_{cc} = 50V$:

$$3.3V = \frac{100K\Omega}{100K\Omega + R_2} \times 50V$$

$$R_2 = 7K\Omega$$

Assim, chega-se à conclusão que as resistências necessárias para fazer o divisor de tensão são, uma de 100k Ω e outra de 7k Ω .

Posto isto, é possível montar o nosso circuito de divisor de tensão, onde a tensão de entrada no conversor *ADS1115* é o V_0 e a tensão que queremos calcular será a V_{cc} então:

$$V_{cc} = \frac{R_2 + R_1}{R_2} \times V_0 \quad (5)$$

A Equação 5 é usada no microcontrolador para obter a tensão com que a máquina semiautomática de soldadura está a operar no momento. Este valor, V_{cc} , é o valor correspondente à tensão de entrada no divisor de tensão.

A Figura 15 representa o esquema de montagem do divisor de tensão.

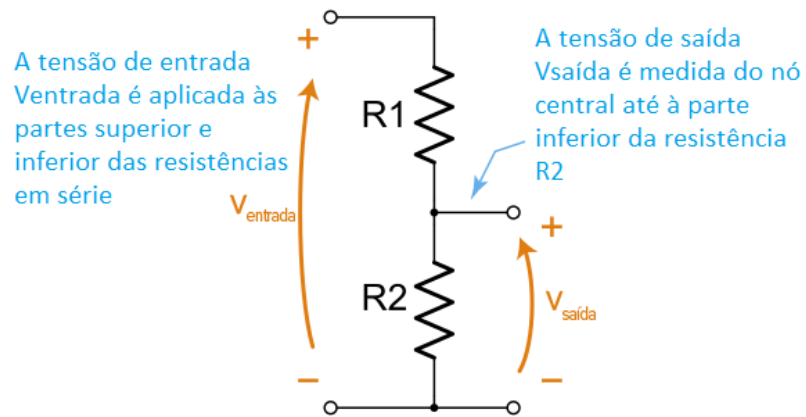


Figura 15 - Esquema de montagem do divisor de tensão, adaptado de (McAllister, 2021)

3.5. Leitura da Velocidade do Fio

A leitura da velocidade do fio é importante neste projeto visto que faz parte dos parâmetros principais para que se possa avaliar a soldadura. Esta medição de velocidade é feita através do cálculo da velocidade tangencial que o fio provoca numa roda propositadamente encostada como mostra a Figura 16.

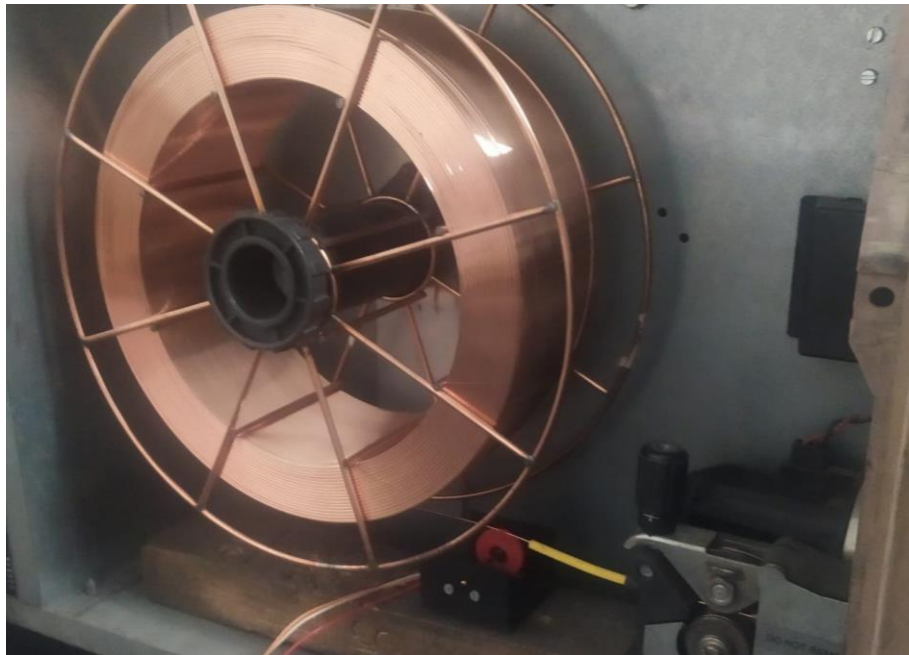


Figura 16 - Sensor de velocidade em posição de trabalho

Com a roda posicionada, é possível medir a velocidade através da medição das rotações por segundo que a mesma apresenta. Esta medição é feita através de um sensor de velocidade FC-33 (Figura 17).

Graças à fisionomia da roda, composta por cavidades, estas são responsáveis pela interrupção do feixe de luz emitido pelo sensor, e, sempre que este mesmo feixe é interrompido, é enviado para o microcontrolador um sinal que permite a contagem de vezes que este acontecimento ocorre.

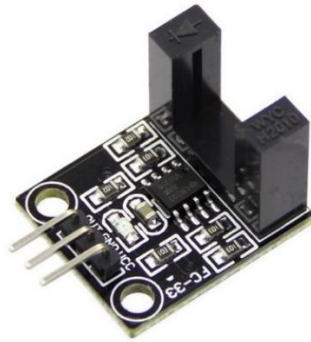


Figura 17 - Sensor de Velocidade FC-33

Tendo em conta que a roda é composta por 20 cavidades, como ilustra a Figura 18, sabemos então que, quando o microcontrolador recebe 20 sinais, uma volta foi completada. Tendo esta informação e o diâmetro da roda é apenas necessário acrescentar um temporizador ao processo.

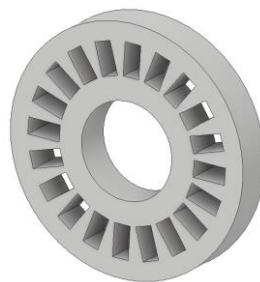


Figura 18 - Modelação da Roda

Tendo a informação acima descrita, é possível calcular as rotações por segundo dado que é possível calcular o tempo necessário para enviar os 20 sinais para o microcontrolador.

Sabendo que a circunferência da roda em contacto com o fio de soldadura tem um diâmetro de 21mm podemos concluir que a velocidade tangencial que o fio incute na roda é dada pela Equação 6:

$$v \left(\frac{m}{s} \right) = RPS \times 2\pi r \quad (6)$$

Esta expressão foi utilizada no microcontrolador para ser possível calcular a velocidade que o fio apresenta enquanto a máquina se encontra a soldar.

O suporte do sensor de velocidade e a roda foram modelados com recurso ao *software* Inventor (Figura 19), e, posteriormente produzidos com recurso a impressão 3D.

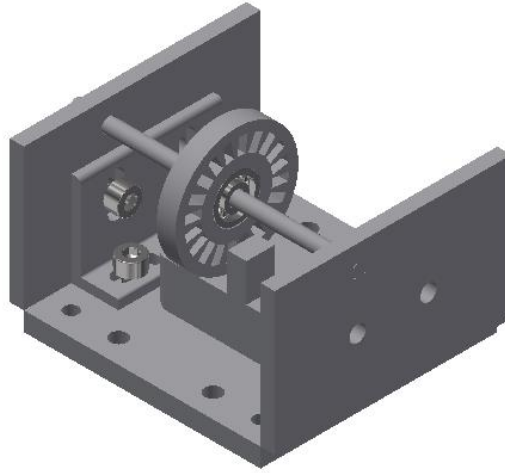


Figura 19 – Modelação do suporte com sensor de velocidade

3.6. Visualização de dados

3.6.1. *Display* da Placa de Desenvolvimento

O *display* integrado na Placa de Desenvolvimento tem como função primeiramente um acompanhamento da ligação da mesma à rede *Wifi* e posteriormente a ligação à Base de Dados *MySQL*.

Posto isto e com todas as ligações efetuadas o *Display* mostra os dados que os sensores acima descritos estão a recolher com uma posterior análise feita pelo microcontrolador. Na Figura 20, a zona delimitada a vermelho é o *Display* gráfico contido na Placa de Desenvolvimento acima citado.

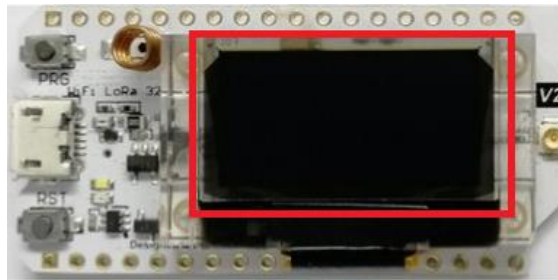


Figura 20 - Placa de Desenvolvimento *ESP32*

3.6.2. Aplicação *Blynk*

O *Blynk* é uma aplicação personalizável que permite controlar remotamente um *hardware* programável bem como reportar dados do *hardware* ao aplicativo.

Desta forma é possível criar uma interface com o utilizador de monitorização e controlo de forma rápida e intuitiva permitindo a ligação de várias placas de desenvolvimento.

A ligação entre a placa de desenvolvimento e este aplicativo pode ser feita a partir de programação *ArduinoIDE*.

Quando os dados são adquiridos, são enviados através da Rede de *Wifi* para a aplicação *Blynk* para que possam ser visualizados e passíveis duma posterior análise.

A Figura 21 mostra a aplicação preparada para receber e mostrar os valores enviados pelo microcontrolador para o utilizador, em tempo real, para que este possa fazer uma avaliação dos parâmetros.



Figura 21 - Aplicação Blynk

A aplicação conta com:

- Um gráfico de linhas com o tempo no eixo das abcissas e com a tensão e a corrente no eixo das ordenadas;
- Um mostrador para o valor da Velocidade do Fio;
- Um mostrador para o valor da Corrente;
- Um mostrador para o valor da Tensão.

Todos os valores apresentados na aplicação retratam o momento exato em que estão a ser registados.

3.6.3. Base de Dados *MySQL*

Quando o microcontrolador é iniciado, é feita uma ligação a uma base de dados *MySQL* que permite a alocação de dados para mais tarde serem revistos e avaliados.

Para criar a base de dados foi utilizado o programa *XAMPP*, desenvolvido por Steffen Strueber tendo como função neste projeto a simulação de um servidor web e criar uma ligação com o *phpMyAdmin* que gere a base de dados *MySQL*. O *phpMyAdmin* permite criar, inserir, remover, e editar dados.

Na programação do *ESP32* foi utilizada uma biblioteca adjacente ao programa, *ArduinoIDE*, que dá ordens ao *phpMyAdmin* através de *querys* para o mesmo executar

todas estas funções acima referidas. Posto isto, quando o *ESP32* adquire um valor de Corrente, Tensão ou Velocidade do fio, avalia-o conforme as equações presentes na programação e envia os mesmos para a base de dados onde estes são guardados até serem necessários para avaliação.

As equações definidas pelo utilizador permitem assim que exista uma economia de espaço na base de dados, não registando os valores medidos quando estes são demasiado baixos que evidenciam que a máquina não está em funcionamento, por exemplo.

Assim que todos os valores estão disponíveis é executada uma *query* pelo microprocessador. Estas *queries* podem ser de vários tipos e permitem que seja possível a interação do programa com a base de dados e foram criadas com o intuito de conceber um acesso facilitado à informação nela contida tendo a possibilidade de adicionar, remover editar ou apenas visualizar a informação.

3.6.4. *Dashboard* de Indicadores de Produtividade

O *Dashboard* de indicadores de produtividade tem como objetivo, como o próprio nome indica, medir a produtividade que o soldador apresenta e de todos os soldadores associados às máquinas que estão a ser monitorizadas.

Este *Dashboard* é importante visto que tem vários indicadores capazes de apresentar níveis de produtividade ao utilizador.

O utilizador desta *Dashboard* pode executar algumas técnicas de qualidade, identificando o problema e tomando medidas corretivas. Assim que as medidas corretivas forem tomadas é possível avaliar de novo os indicadores para perceber se as mesmas foram relevantes para o aumento de produtividade.

Em suma, esta *Dashboard* é uma ferramenta de ajuda à gestão de produção com o intuito de aumentar a produtividade dos colaboradores da empresa.

No ramo da metalomecânica o tempo gasto em transporte e no posicionamento de peças é deveras relevante. Assim sendo, esta ferramenta é capaz de avaliar as perdas que os exemplos acima referidos podem provocar.

3.7. Software

O software utilizado no projeto foi o *ArduinoIDE*. Este é um *software* livre baseado em C e C++, utilizado para criar e editar código.

Sendo este um *software* de fácil utilização, é capaz de aglomerar bibliotecas feitas por diversos utilizadores. As bibliotecas são portadoras de código pronto a executar tarefas específicas como a ligação à Rede *Wi-Fi* ou a ligação à base de dados.

As bibliotecas utilizadas no projeto foram:

- *Blynk* – esta biblioteca é utilizada para fazer a ligação à rede *Wi-Fi*, à ligação *Blynk* do *smartphone* e ao envio de informação para a aplicação.
- *MySQL* – esta biblioteca é utilizada para fazer a ligação do microcontrolador à Base de Dados.
- *Adafruit_ADS1015* – É utilizada para fazer a passagem de informação através do protocolo *I2C* do conversor *ADS1115* para o microcontrolador.
- *U8x8lib* – É responsável pela ligação do *Display* presente na placa de desenvolvimento e permite a impressão de dados.

4. Caso de Estudo

Este capítulo tem como objetivo a descrição das implementações feitas no terreno e respetiva explicação do caso de estudo que compõe o presente documento.

4.1. Programação *ESP32*

4.1.1. Medição da corrente e tensão

Para a medição destes dois parâmetros fundamentais e alcançar o objetivo é necessário transformar os sinais analógicos emitidos pelos sensores em sinais digitais.

A corrente é obtida através de uma pinça amperimétrica como explicado anteriormente, na secção 3.3.

Para a pinça amperimétrica funcionar, necessita de uma alimentação de 5V e devolve de forma linear através de um sensor de Efeito de Hall nele incorporado:

- Uma tensão de 2.5V quando se encontra a medir 0A,
- Uma tensão de 4V quando se encontra a medir 800A.
- Uma tensão de 1V quando se encontra a medir no sentido oposto -800A.

Para melhorar esta exatidão dos resultados obtidos foi introduzido na placa de teste uma alimentação de 12V com um regulador de tensão de 5V e dois condensadores para fazer uma alimentação da pinça mais estável.

Uma vez que, na equação de cálculo da corrente, a V_{ref} é metade da V_{cc} (Equação 1 da secção 3.3 Leitura da Corrente) e V_{ref} entra na equação de cálculo da corrente (Equação 3 do subcapítulo 3.3 – Leitura da Corrente) como uma constante, quanto mais estável e aproximada de 5V for a tensão de alimentação, melhor será a sua exatidão.

Tendo em conta que, como explicado antes, a pinça é capaz de interpretar valores em ambos os sentidos da corrente e a máquina de soldar trabalha apenas no sentido do polo positivo para o polo negativo, foi invertida a posição convencionalmente definida como positiva com o objetivo de nunca ultrapassar o limite máximo de 3.3V que a placa de desenvolvimento admite. Isto é, quando a pinça está a medir 0A, esta envia um sinal de

2,5V e quando está a medir -800A envia um sinal de 1V, nesta gama de valores não existe perigo de danificar a mesma.

Após as contas feitas para aquisição do valor de tensão associada à corrente através da reta que a caracteriza, utiliza-se o módulo do valor obtido como resultado final, visto que os valores obtidos a partir da equação são negativos.

Para obter o valor da tensão associado à soldadura são necessárias duas pinças ligadas aos dois polos da corrente elétrica.

Tendo em conta um teto máximo de 50V é assim construído o divisor de tensão para poder transformar a tensão lida numa tensão admissível de ser lida pela placa de desenvolvimento.

Com as duas tensões, uma associada à corrente e outra à tensão de trabalho em gamas passíveis de serem transformadas em sinais digitais, estas são passadas por *buffers* com o objetivo de proteger o sistema. Caso estes sinais ultrapassem por alguma razão a gama de valores requeridos, estes não afetarão o circuito de aquisição de dados, mas sim o *buffer*, sendo este possível de ser facilmente substituído. Nesta fase foi utilizado um *buffer* LM324M.

Para a transformação dos sinais de analógicos para digitais foi utilizado um *ADS1115* que é um conversor *ADC*. Este tem a capacidade de recolher dados com melhor definição do que a placa de desenvolvimento *ESP32* e enviá-los para este através de um protocolo *I2C*.

Aquando da aquisição do sinal, tanto para a corrente como para a tensão, é feita uma média aritmética pela amostragem de 100 valores consecutivos para aumentar a precisão do processo e eliminar a dispersão de valores causada por algum ruído que o processo possa ter.

Na Figura 22 é possível ver a programação utilizada para a aquisição do sinal de corrente e na Figura 23 o sinal da tensão provenientes do conversor de sinal *ADS1115*.

```

int16_t adc0, adc1, adc2, adc3;
for (int i = 0; i < 100; i++)
{
    adc0 = ads.readADC_SingleEnded(0);

    voltageAmp += adc0 * 0.125;

    adc0 = 0;

    //ets_delay_us(30);
}
voltageAmp /= 100;

```

Figura 22 - Programação para aquisição do sinal de corrente

```

for (int i = 0; i < 100; i++)
{
    adc2 = ads.readADC_SingleEnded(2);

    voltageVolt += adc2 * 0.125;

    adc2 = 0;
}
voltageVolt /= 100;

```

Figura 23 - Programação para aquisição do sinal de tensão

Com os valores devidamente tratados são realizados os cálculos que permitem transformar os dados obtidos nos dados reais.

Em relação à corrente, é introduzido o valor obtido na Equação 3 (ver Subcapítulo 3.3- Leitura da Corrente) que caracteriza o funcionamento da pinça amperimétrica obtendo assim o valor da corrente. A Figura 24 demonstra a programação efetuada para o efeito.

```

amperageCount = (voltageAmp - 2500) * 800 / 1500;
amperage = abs(amperageCount);

```

Figura 24 – Cálculo da corrente

No que toca à obtenção do valor da tensão, o valor obtido é introduzido na equação do divisor de tensão e assim é obtido o valor de origem, isto é, o valor da tensão à qual a máquina está a atuar. A Figura 25 demonstra a programação usada para a obtenção do valor de tensão.

```

voltageCount = voltageVolt * ((R1 + R2) / R2);
voltage = (float)voltageCount / 1000;

```

Figura 25 - Cálculo da tensão

4.1.2. Medição da velocidade do fio

Para a medição da velocidade do fio, foi utilizado um sensor de velocidade. Este tem como função a emissão de uma diferença de tensão sempre que o feixe de luz é interrompido. Através desta mudança, e com o envio desta informação para o microprocessador é possível contabilizar o número de cavidades durante a rotação da roda.

Para a execução desta leitura foi criado um suporte que permite fisicamente a medição da velocidade do fio. Este suporte como sugere a Figura 26, tem como objetivo fixar o sensor de velocidade e um veio onde é acoplado um rolamento com a roda.

O suporte (composto por uma base, duas cantoneiras e duas paredes laterais) e a roda foram peças modeladas em 3D com recurso ao *Inventor* e posteriormente impressos em 3D. Os desenhos técnicos das peças modeladas que compõem o sensor de velocidade encontram-se no Anexo A.

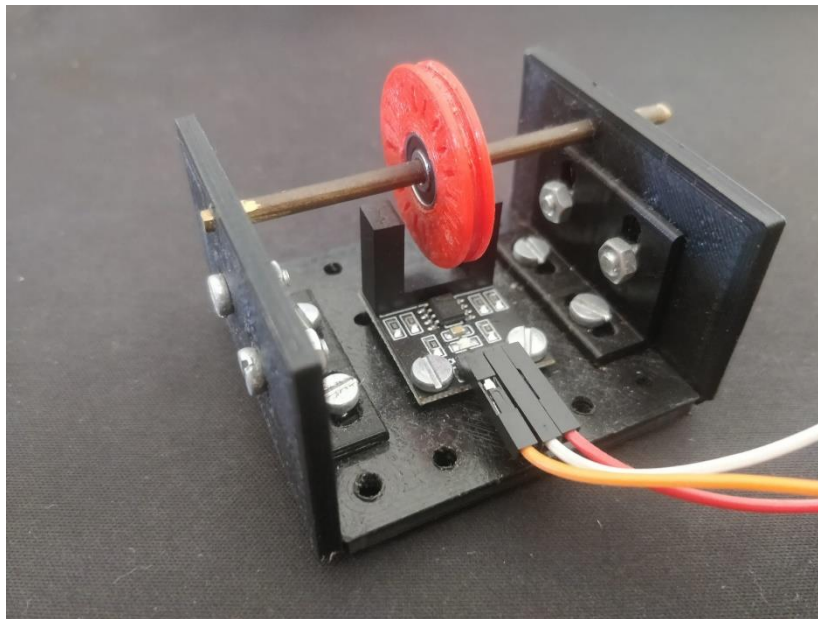


Figura 26 - Montagem do Sensor de Velocidade

Posto isto, e com a montagem é necessário executar a programação para que o sensor recolha os dados necessários para a medição da velocidade.

Como primeira etapa foi necessário definir o pino que recebe a informação proveniente do sensor como mostra a figura abaixo. O pino que recebe a tensão proveniente do sensor

identificado com a etiqueta de “*encoder_pin*”, é definido como “*INPUT_PULLUP*” funcionando assim como um interruptor.

O estado deste sensor é aberto, e sempre que o feixe laser é desobstruído pelo furo da roda este não permite a passagem da corrente. Sempre que este acontecimento decorre é executada a função “*counter*” que faz a contagem de vezes que isto acontece (Figura 27).

```
//-----Função de contagem de Rotações para Sensor de Velocidade-----  
pinMode(encoder_pin, INPUT_PULLUP);  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(encoder_pin), counter, FALLING);
```

Figura 27 - Definição da entrada “*encoder_pin*” e execução da função “*counter()*”

A Figura 28 demonstra a função “*counter*” com uma variável “*pulses*” designada como um número inteiro que é incrementada sempre que o microcontrolador recebe a informação acima descrita

```
void counter()  
{  
  //Update count  
  pulses++;  
}
```

Figura 28 - Função “*counter()*”

Durante esta contagem e de segundo em segundo, num *loop* que decorre enquanto o *ESP32* estiver ligado, são calculadas as rotações por segundo (RPS) a que a roda anteriormente mencionada se encontra a rodar sabendo que são necessários 20 picos de tensão descentes para a mesma completar uma rotação. Assim, e através da medição do diâmetro da roda que está a ser rodada pelo atrito entre esta e o fio de soldadura pode ser calculada a velocidade em mm/s com a qual o fio está a ser utilizado (Figura 29).

```

if (millis() - timeold >= 1000) {

    detachInterrupt(0);

    RPS = (((float)pulses / 20)/(millis() - timeold))*1000;

    VelMS = 21 * 3.1415 * RPS;

    Serial.print("millis: "); Serial.println(millis());
    Serial.print("timeold: "); Serial.println(timeold);
    Serial.print("pulses: "); Serial.println(pulses);

    Serial.print("RPS: "); Serial.println(RPS);
    Serial.print("VelMS: "); Serial.println(VelMS);

    timeold = millis();
    pulses = 0;
}

```

Figura 29 - Cálculo da Velocidade do Fio

4.1.3. Ligação do ESP32 ao Wifi e à aplicação Blynk

A aplicação *Blynk* tem como função a avaliação de dados em qualquer lugar.

O *ESP32* é ligado a esta aplicação através de uma biblioteca e o envio dos valores é feito através de programação.

A informação recolhida pelos sensores é enviada através de *WiFi/Internet* para uma base de dados disponibilizada pela aplicação e apresentada em tempo real.

A Figura 30, demonstra as linhas de código baseadas na biblioteca “*Blynk*” utilizadas para o envio de dados para a aplicação

```

//-----Envio de Dados para o Blynk-----
Blynk.virtualWrite(V5, Corrente);
Blynk.virtualWrite(V6, VelFio);
Blynk.virtualWrite(V7, Tensao);
//-----

```

Figura 30 - Envio de dados para a Aplicação Blynk

Posto isto foi desenhado um *Display* gráfico que contém 2 gráficos e 3 mostradores de resultados como mostra a Figura 31.



Figura 31 - Apresentação das medições através da aplicação Blynk

Neste display é possível avaliar os parâmetros de atuação da máquina de soldar podendo assim fazer algum tipo de testes se necessário.

4.1.4. Ligação do ESP32 à Base de Dados

Para fazer a ligação à base de dados é necessário a criação de uma tabela de inserção de dados.

A tabela da base de dados (Figura 32) é composta por 5 colunas. Estas são:

- *ID* – Número sequencial
- *Corrente* – Número inteiro, valor adquirido pelo microcontrolador e enviado para a base de dados referente à corrente
- *Tensão* – Número decimal, valor adquirido pelo microcontrolador e enviado para a base de dados referente à tensão
- *VelFio* – Número decimal, valor adquirido pelo microcontrolador e enviado para a base de dados referente à velocidade do fio em mm/s
- *Time* – Registo do ano, mês, dia, hora, minuto e segundo em que os dados foram registados.

				idregistro	Corrente	Tensão	VelFio	Time
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9148	72	0	136.576	2021-09-15 22:54:19
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9147	108	19	130.504	2021-09-15 22:54:17
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9146	107	19	117.374	2021-09-15 22:54:14
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9145	105	19	116.578	2021-09-15 22:54:12
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9144	109	19	130.106	2021-09-15 22:54:09
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9143	107	19	131.3	2021-09-15 22:54:06
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9142	109	19	117.02	2021-09-15 22:54:04
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9141	105	20	118.259	2021-09-15 22:54:01
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9140	107	19	117.861	2021-09-15 22:53:58
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9139	106	19	116.224	2021-09-15 22:53:56
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9138	109	19	113.04	2021-09-15 22:53:53

Figura 32 - Tabela da Base de Dados

A ligação à base de dados é feita ao iniciar o microcontrolador, através de uma biblioteca utilizada na programação. Esta é capaz de fazer a ligação a uma base de dados presente na rede.

Para executar a impressão de dados é necessário criar uma *query* responsável para essa mesma atividade como mostra a Figura 33.

```
MySQL_Connection conn((Client *)&client);
char INSERT_SQL[] = "INSERT INTO `teste`.`maquina1` (`amperage`, `voltage`, `VelMS`) VALUES (%i, %f, %f)";
char query[128];
```

Figura 33 - *Query* de inserção de dados pelo microprocessador na base de dados

Esta *query* fica assim preparada para ser utilizada e executar a função para a qual foi desenhada, neste caso de inserção de dados, assim que os dados estiverem devidamente tratados para serem armazenados.

```
//Impressão Base de Dados SQL
sprintf(query, INSERT_SQL, amperage, voltage, VelMS);

Serial.println("Recording data.");
Serial.println(query);

MySQL_Cursor *cur_mem = new MySQL_Cursor(&conn);

cur_mem->execute(query);

delete cur_mem;
```

Figura 34 - Execução da *query*

A Figura 34 mostra a programação utilizada para fazer a impressão de dados na tabela. Aqui é dada a ordem de impressão das variáveis adquiridas pelos sensores utilizados (corrente (A), tensão (V) e velocidade do fio (mm/s)).

4.1.5. Ligação do ESP32 ao *display* incorporado

O *Display* gráfico permite uma visão atenta e em tempo real dos dados que estão a ser obtidos pelos sensores. Este está integrado na placa de desenvolvimento utilizada no projeto.

Para além da capacidade que este tem de apresentar os resultados que estão a ser medidos, tem também a capacidade de fazer de sistema de *debug*, isto é, é capaz de dar a informação necessária para avaliar se todos os componentes estão no a ter o desempenho desejado (Figura 35).

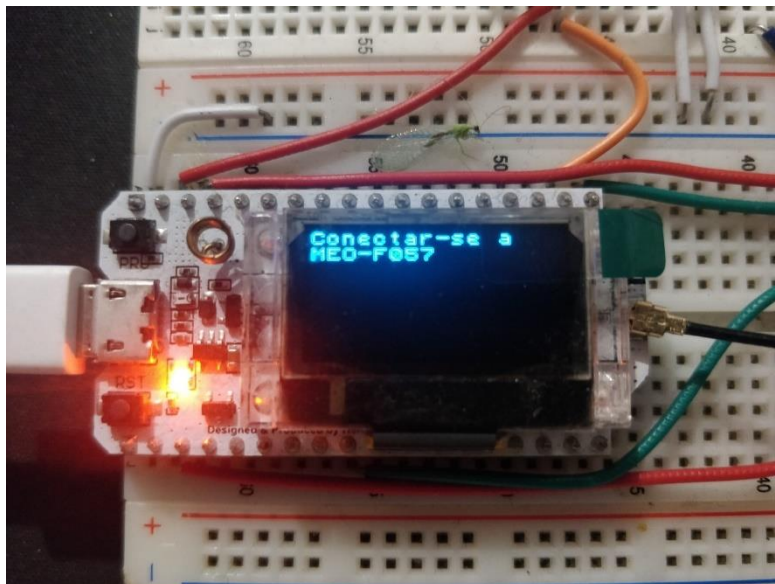


Figura 35 - *Display* gráfico em funcionamento

O *Display* tem como função primária mostrar ao utilizador os dados que são recolhidos pelos sensores, a corrente, a tensão e a velocidade do fio.

Se não existir conectividade à base de dados ou à internet, é exibido no display um aviso em como os dados não estão a ser registados na base de dados.

4.2. Organização da Base de Dados

A base de dados foi criada no aplicativo *phpMyAdmin* que é um aplicativo *web* livre a partir do qual é possível fazer todos os tipos de interações com a tabela de dados.

Foi assim criada uma tabela com as colunas necessárias para corresponder à necessidade do projeto. A tabela é composta por uma coluna com o *ID*, *Corrente*, *Tensão*, *Velocidade do Fio* e o *Tempo*. Estes valores são registados e mantidos na base de dados para posterior avaliação. A corrente a tensão e a velocidade do fio são os únicos valores recebidos através do microprocessador, os restantes são valores criados pela própria base de dados no exato momento em que acontece esta recebimento de dados (Figura 36).

			idregistro	Corrente	Tensão	VelFio	Time	1
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9148	72	0	136.576	2021-09-15 22:54:19
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9147	108	19	130.504	2021-09-15 22:54:17
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9146	107	19	117.374	2021-09-15 22:54:14
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9145	105	19	116.578	2021-09-15 22:54:12
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9144	109	19	130.106	2021-09-15 22:54:09
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9143	107	19	131.3	2021-09-15 22:54:06
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9142	109	19	117.02	2021-09-15 22:54:04
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9141	105	20	118.259	2021-09-15 22:54:01
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9140	107	19	117.861	2021-09-15 22:53:58
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9139	106	19	116.224	2021-09-15 22:53:56
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	9138	109	19	113.04	2021-09-15 22:53:53

Figura 36 - Disposição/Organização da Base de Dados

4.3. Fluxograma de Programação

As Figura 37 e Figura 38 apresentam um fluxograma que trata a ideia chave da programação usada no microcontrolador para obtenção dos dados.

Numa primeira fase, a fase de *Setup*, (Figura 37) são consideradas todas as condições iniciais e executados todos os arranques necessários para as funções necessárias.

Assim que o programa inicia é ativado o display embutido da placa de desenvolvimento do *ESP32* para ser possível a impressão de informações durante a iniciação do programa.

O passo seguinte é a ligação à rede *Wifi* e à aplicação *Blynk*. Posto isto é necessário perceber se a conexão foi executada com sucesso. Se a resposta do programa a esta questão for negativa, são realizados dez testes. Ao final do décimo teste, se a conexão não for executada e não existindo conexão à *Internet*, é à partida negada também a ligação à base de dados. A partir deste ponto todos os dados obtidos pelo protótipo não serão armazenados na base de dados, mas, serão exibidos no display da placa de desenvolvimento

Se a ligação à *Internet* for executada com sucesso é possível então fazer também a ligação à base de dados. Assim, são feitas de novo dez tentativas para ligação do *ESP32* à base de dados. Se o resultado desta ligação for negativo, os dados são exibidos na aplicação *Blynk* e no *Display* da Placa de desenvolvimento, mas não são armazenados na Base de Dados.

Se tanto a ligação à rede *Wi-fi/Internet* como à Base de Dados forem positivas o microprocessador estará pronto para receber os dados e exibi-los no display da placa de desenvolvimento, na aplicação *Blynk* e armazená-los na Base de Dados.

A fase seguinte, a fase de *Loop* (Figura 38), é a que se repete infinitamente até ao microcontrolador ser desligado.

Após a receção dos sinais referentes à medição da corrente e de tensão é feita uma média de 100 valores para diminuir a disparidade de resulta

dos obtidos, obtendo assim valores mais precisos.

Posto isto estes valores são tratados através das equações anteriormente descritas nas secções 3.33.4.

Após a obtenção destes valores é verificada a conexão à rede *Wi-fi/Internet* e à base de dados e posteriormente impressos no display gráfico da placa de desenvolvimento, na aplicação *Blynk* e armazenados na Base de Dados.

Enquanto decorrer este processo o sensor de velocidade está a atuar enviando sinais para o microcontrolador permitindo assim a medição da velocidade do fio de soldadura. Enviando também posteriormente os resultados para as mesmas plataformas no mesmo método.

Sendo esta etapa cíclica, sempre que existe o terminar de um ciclo, esta volta ao início executando todas as tarefas anteriormente descritas agora com novos sinais.

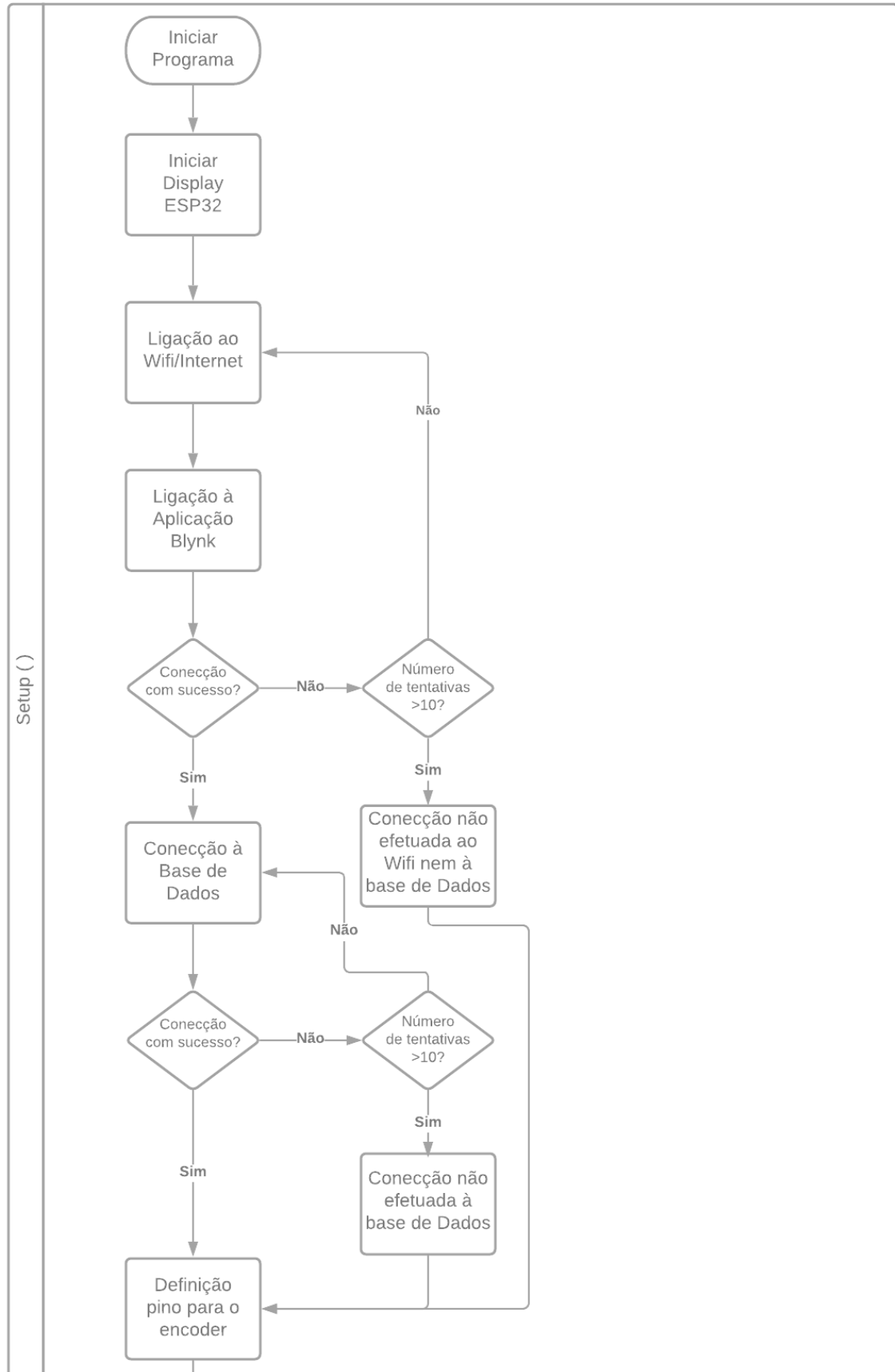


Figura 37 - Fluxograma de programação (Setup)

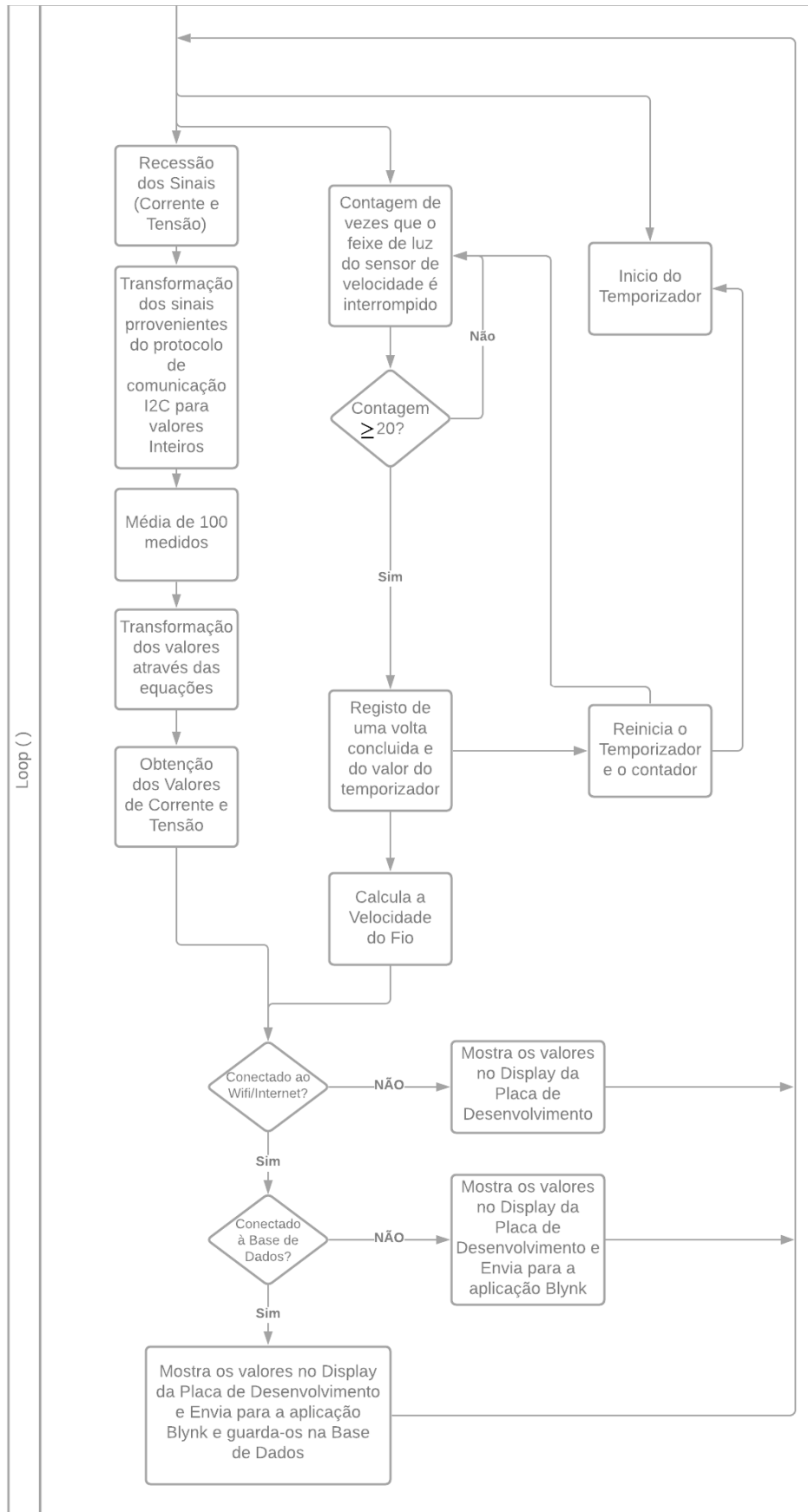


Figura 38 - Fluxograma de Programação (Loop)

4.4.Ligação do *DashBoard* à base de dados

O *Dashboard* tem a capacidade de fazer a ligação entre os dados obtidos e o utilizador. Este tem a função de apresentar os dados da maneira mais intuitiva, é responsável também por relacionar dados para poder obter indicadores de desempenho para assim poder ser feita uma interpretação pelo utilizador e levar à tomada de decisões.

Na construção do *Dashboard* foi utilizado o programa *Microsoft Visual Studio* com programação em C#.

Para fazer a ligação deste à base de dados foram utilizadas bibliotecas disponibilizadas pelo programa. Especificamente para esta função foi utilizada a biblioteca “*MySql.Data.MySqlClient*”. Posto isto, sempre que o programa é iniciado é também feita a ligação do mesmo à base de dados.

Para obter os valores da base de dados são utilizadas *queries* que permitem que seja feita uma obtenção dos valores da base de dados. Com a utilização desta ferramenta é possível executar um filtro, obtendo apenas os dados que são necessários naquele momento. Isto cessa problemas de demora na resposta do programa, sendo que desta maneira os dados adquiridos são apenas os necessários e não toda a base de dados.

O *Dashboard* construído, é composta por um filtro da linha temporal que permite restringir o foco da avaliação com definição até ao segundo. Através desta filtragem é contruída uma tabela com os dados presentes na base de dados neste intervalo de tempo e 3 gráficos, *Corrente/Tempo*, *Tensão/Tempo* e *Velocidade do Fio/Tempo*.

Após serem contruídos estes elementos é possível também obter o valor do Índice de Produtividade desse espaço de tempo.

A Figura 39 demonstra a aparência do *Dashboard* com todos os componentes anteriormente descritos.

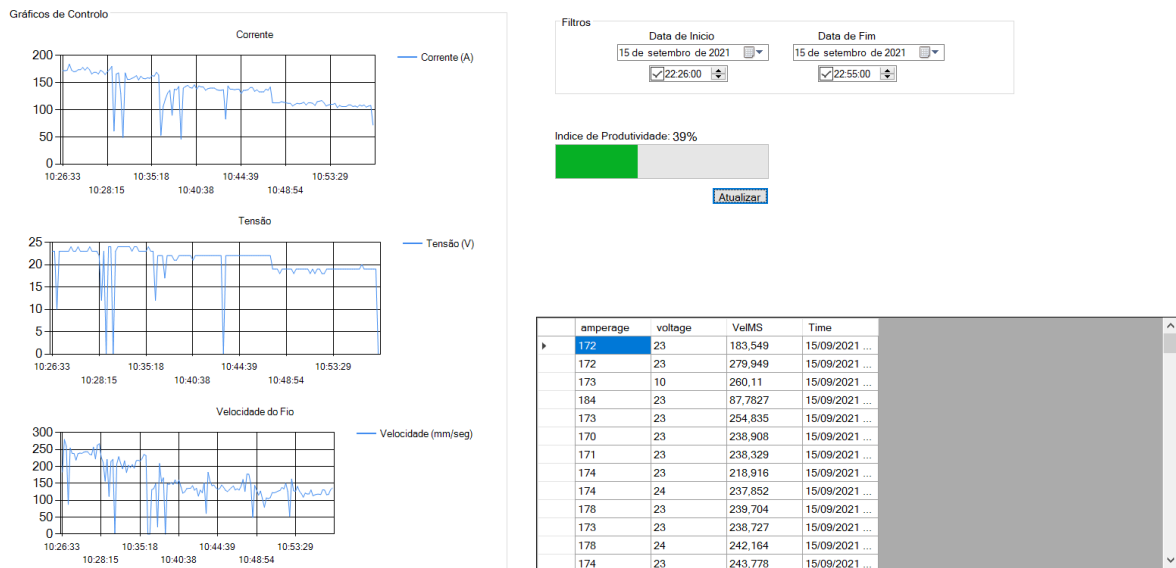


Figura 39 - Dashboard

4.4.1. Índice de produtividade

Os valores registados na base de dados são apenas os de trabalho efetivo, isto é, quando o soldador não se encontra a soldar não é feito qualquer tipo de registo com o intuito de não ocupar espaço na base de dados com informação desnecessária.

Assim, tendo em conta que é registado um valor a aproximadamente cada 1s, quando o tempo entre dois valores o ultrapassa é contabilizado o tempo não produtivo.

Tendo assim definido qual a diferença entre o tempo produtivo e não produtivo é apenas necessário executar a relação entre o tempo total de trabalho efetivo e o tempo total entre os dois momentos em que está a realizar a avaliação.

Este índice proposto é calculado através da Equação 7:

$$\text{Índice de Produtividade} = \frac{\text{Tempo Efetivo de Soldadura (Filtrado)}}{\text{Tempo Total (Filtrado)}} \quad (7)$$

Através desta equação foi criado assim o índice de produtividade, ilustrado na Figura 40 que permite ao utilizador saber qual a percentagem de tempo de trabalho efetivo no espaço de tempo previamente determinado.

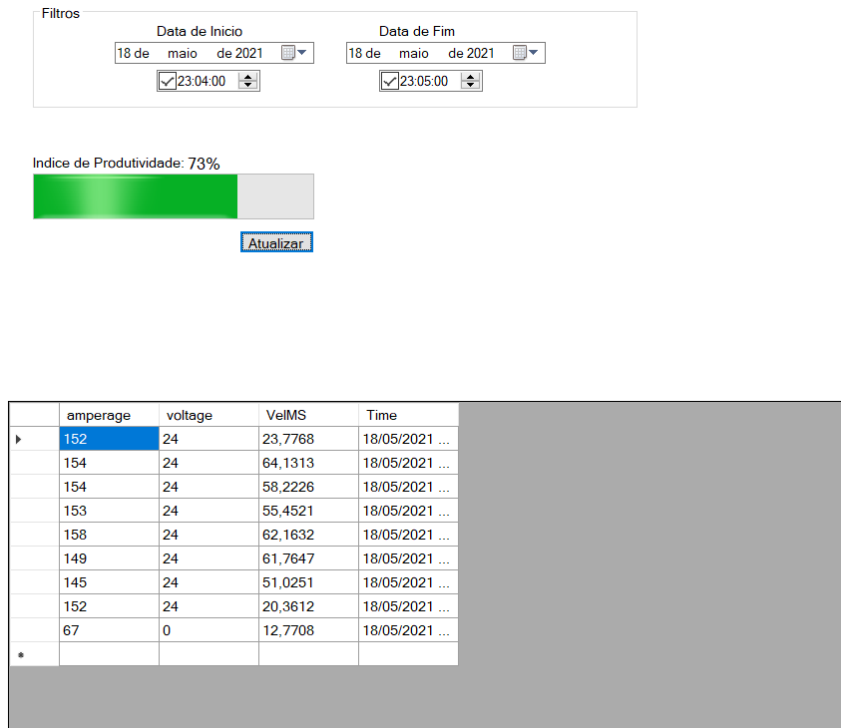


Figura 40 - Índice de Produtividade na *DashBoard*

4.5. Desenho da Placa de Circuito Impresso

Com base no protótipo executado numa *breadboard* ilustrada na Figura 41 foi então criado um projeto para o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso.

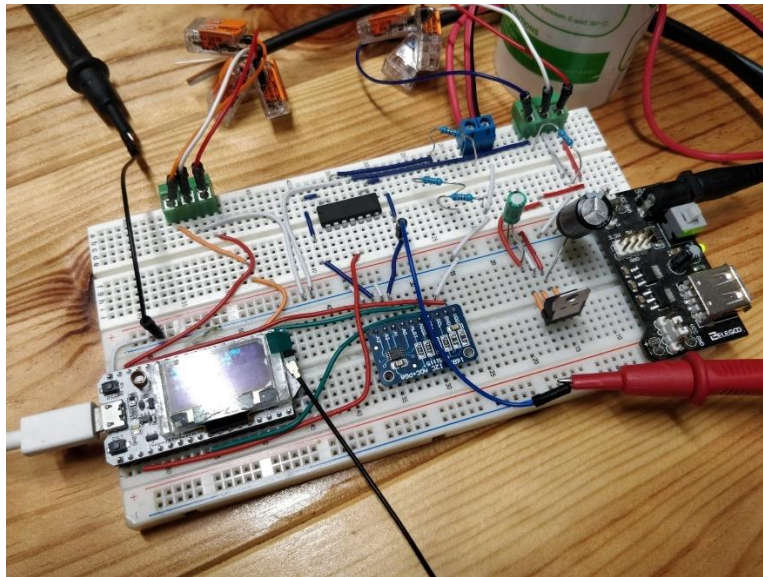


Figura 41 - BreadBoard preparada para ensaios

Este projeto contém todos os elementos utilizados na execução do projeto. É assim possível avaliar pela Figura 40 os componentes nela presentes.

Esta conta com a placa de Desenvolvimento *ESP32*, um conversor ADC (*ADS1115*), um *buffer* (*LM324*), um divisor de tensão composto com 3 resistências (uma de $100\text{k}\Omega$, uma $2\text{k}\Omega$ e uma de $5\text{k}\Omega$) e peças de ligações ao exterior da placa, as ligações necessárias para fazer a ligação da pinça amperimétrica e para receção de informação, as ligações necessárias para alimentação e receção de dados do sensor de velocidade e todas as ligações necessárias para comunicação entre todos os componentes.

Na Figura 42 é possível observar os componentes que constituem a placa de circuito impresso assim como a ligação entre eles.

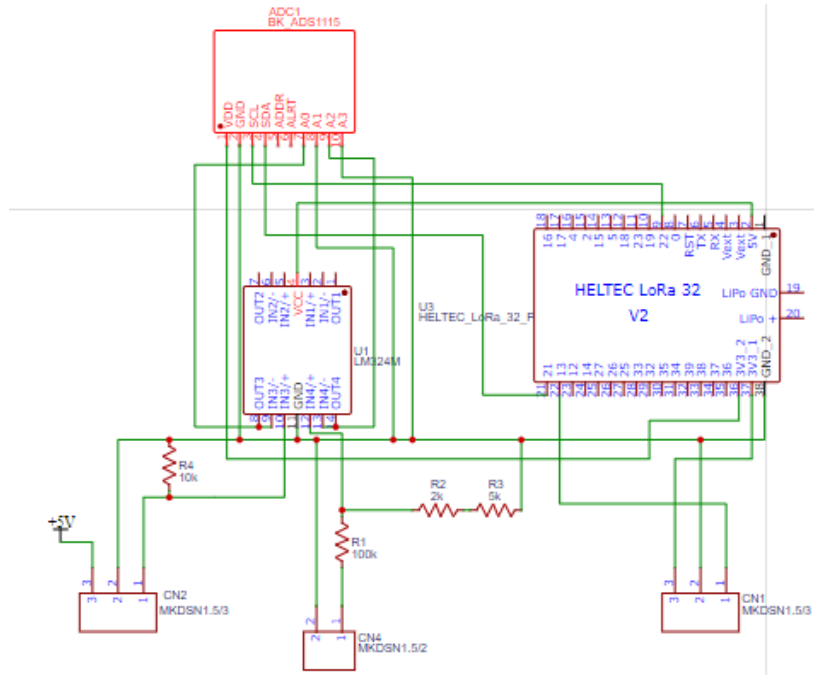


Figura 42 – Esquema elétrico da placa de circuito impresso

A Figura 43 permite ter uma noção geométrica da placa de circuito impresso e todas as ligações necessárias para o seu funcionamento. É também possível observar a localização de todos os componentes. É de realçar que as linhas a vermelho estão presentes na frente da placa de circuito impresso e as linhas a azul no verso. As circunferências presentes na mesma simbolizam furos para posterior encaixe e soldadura dos componentes.

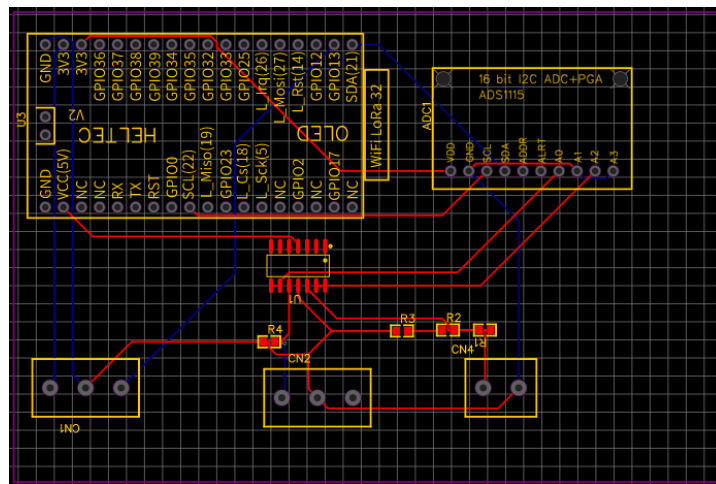


Figura 43 - Projeto para execução da placa de circuito impresso

A Figura 44 e a Figura 45 permitem ter uma melhor perceção do resultado final do projeto da placa de circuito impresso.

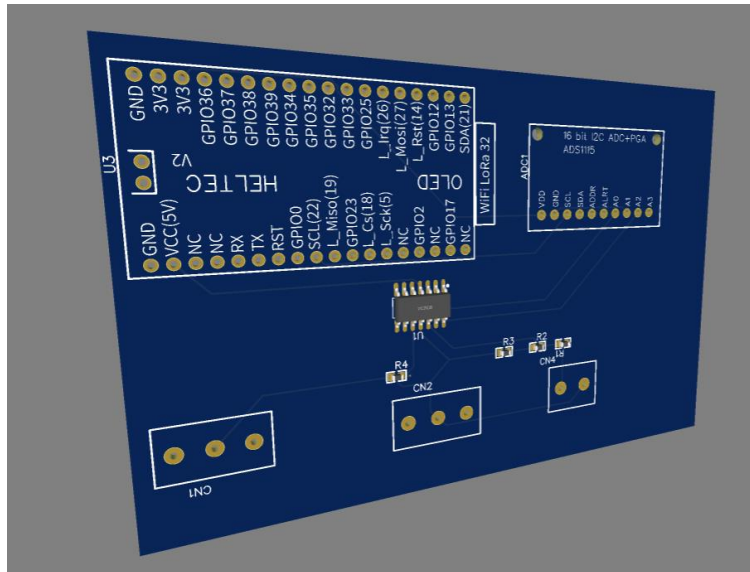


Figura 44 – Visualização 3D da Placa de Circuito Impresso (Frente)

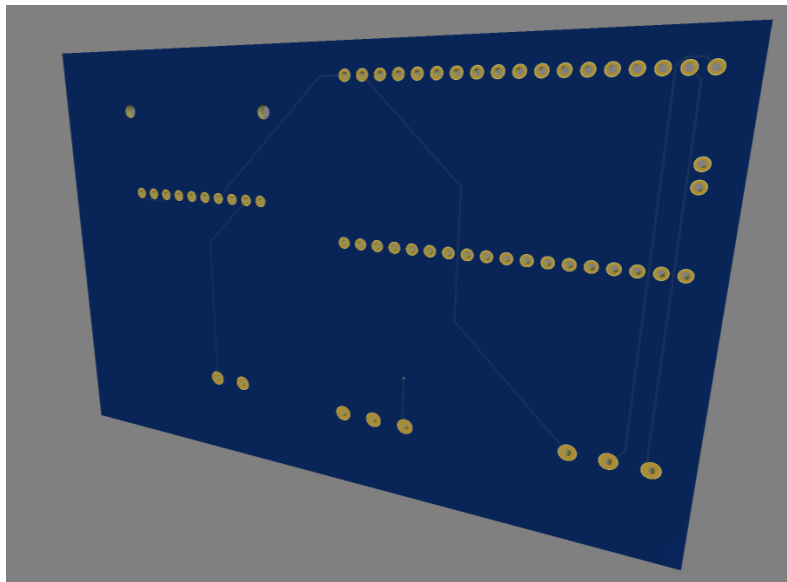


Figura 45 – Visualização 3D da Placa de Circuito Impresso (Verso)

4.6. Ensaios

Na fase de testagem do protótipo foram executadas seis soldaduras. Estes testes consistem na execução de três soldaduras topo a topo e três soldaduras de canto. Para execução dos ensaios foi utilizado como material base aço estrutural S275JR e um fio de soldadura para aços carbono AWS A5.18/A5.18M : ER70S-6 com diâmetro de 1,2 mm

Estes ensaios têm como objetivo primordial perceber a penetração oferecida pela diferenciação de parâmetros e quais os resultados obtidos em diferentes tipos de Provetes, mantendo os parâmetros constantes. Nos ensaios executados foram mantidos constantes os parâmetros para diferentes tipos de ensaio sendo que os parâmetros foram alterados três vezes.

Após a execução dos ensaios, foram realizados ensaios macrográficos com o objetivo de verificar a olho nu a macroestrutura da soldadura em análise

As soldaduras foram executadas manualmente, por um soldador certificado.

Abaixo, na secção 4.6.2 é possível observar os resultados obtidos.

4.6.1. Preparação dos Provetes para ensaio

Para a execução dos testes foram preparados três provetes. Os que foram preparados para execução da soldadura de canto têm a nomenclatura de A/B/C e os que foram preparados para soldadura de topo a topo receberam a nomenclatura de 1/2/3.

Os provetes anteriormente descritos estão ilustrados na Figura 46.



Figura 46 - Preparação de Provetes para os ensaios

4.6.2. Execução dos ensaios

Para a execução dos ensaios foram tidas em conta as seguintes premissas. Os provetes 1 e A foram soldados com os mesmos parâmetros tendo em conta que a única diferença entre eles é o tipo de provete e consequentemente o tipo de soldadura. Esta metodologia foi seguida para os provetes 2 e B, e 3 e C agrupadamente.

Aquando da execução dos ensaios, o protótipo fez uma aquisição de dados relativamente aos parâmetros utilizados, quando a máquina de soldadura estava a atuar. Posto isto, para cada ensaio foram construídos os gráficos presentes no *DashBoard* e registados os valores apresentados pela aplicação *Blynk*.

Nos Provetes 1 (Figura 47 e Figura 48) e A (Figura 49 e Figura 50), foram utilizados parâmetros de soldadura equivalentes. A corrente encontrava-se no intervalo [160A:170A] e a tensão no intervalo [23V:24V]

Ensaio no Provede 1:

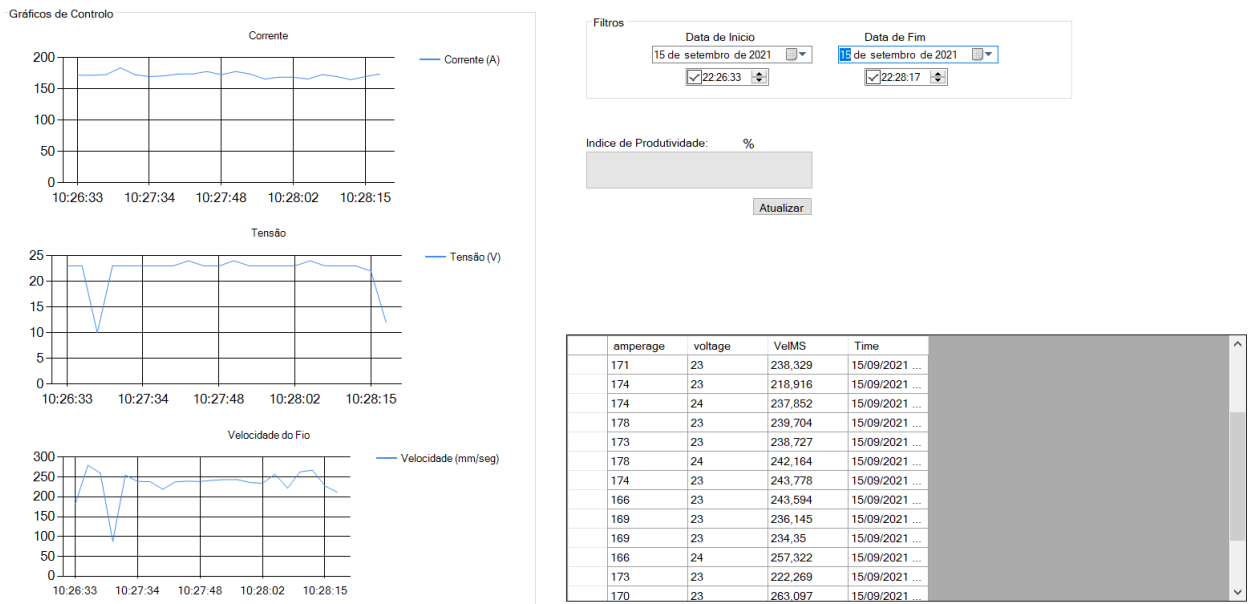


Figura 47 - Dashboard com parâmetros do ensaio do Provete 1

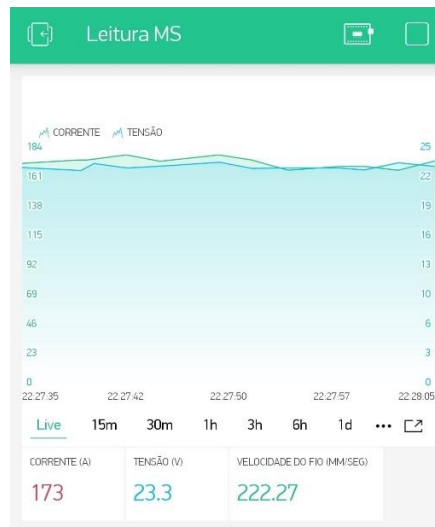


Figura 48 - Aplicação Blynk com valores durante os ensaios do Provete 1

Ensaio no Provete A:

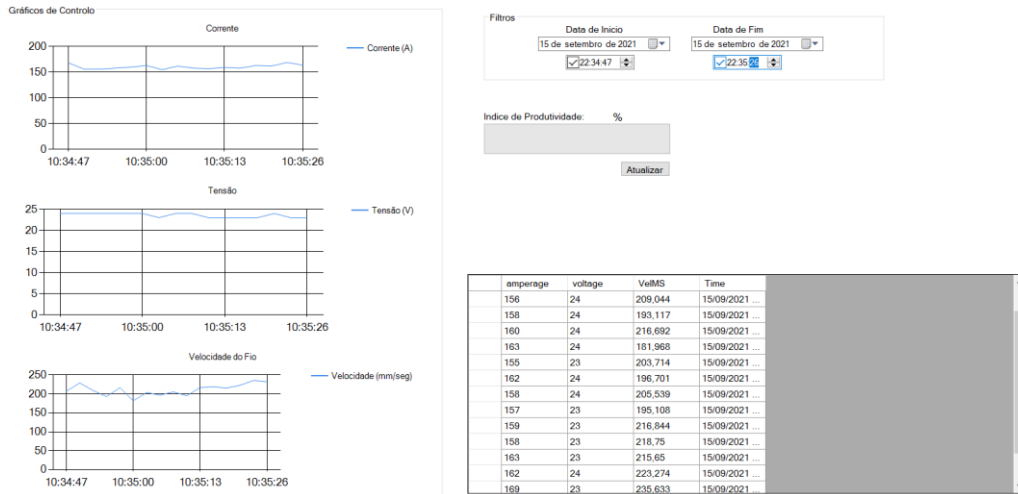


Figura 49 - Dashboard com parâmetros do ensaio do Provete A

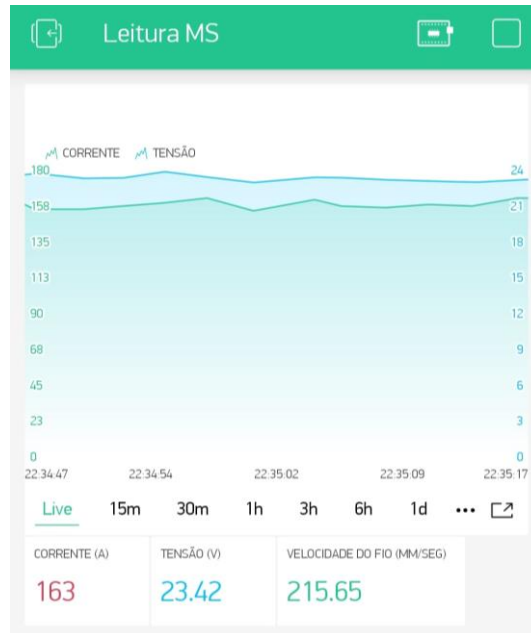


Figura 50 - Aplicação Blynk com valores durante os ensaios do Provete A

Nos Provetes 2 (Figura 51 e Figura 52) e B (Figura 53 e Figura 54), foram utilizados parâmetros de soldadura equivalentes. A corrente encontrava-se no intervalo [130A:145A] e a tensão no intervalo [21V:22V]

Ensaio no Provette 2:

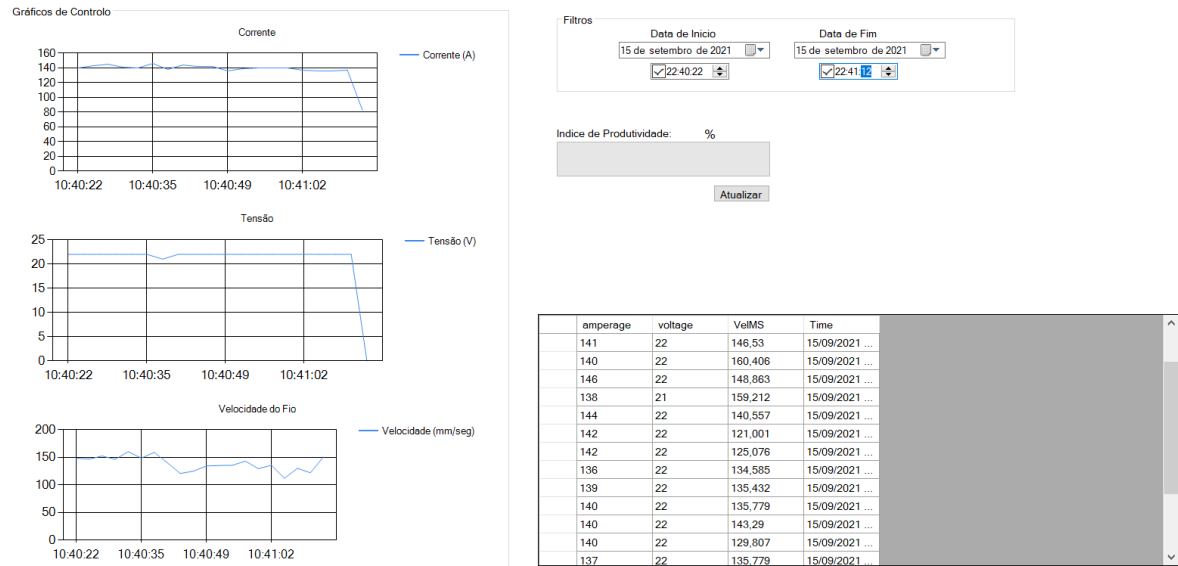


Figura 51 - Dashboard com parâmetros do ensaio do Provette 2



Figura 52 - Aplicação Blynk com valores durante os ensaios do Provette 2

Ensaio no Provete B:

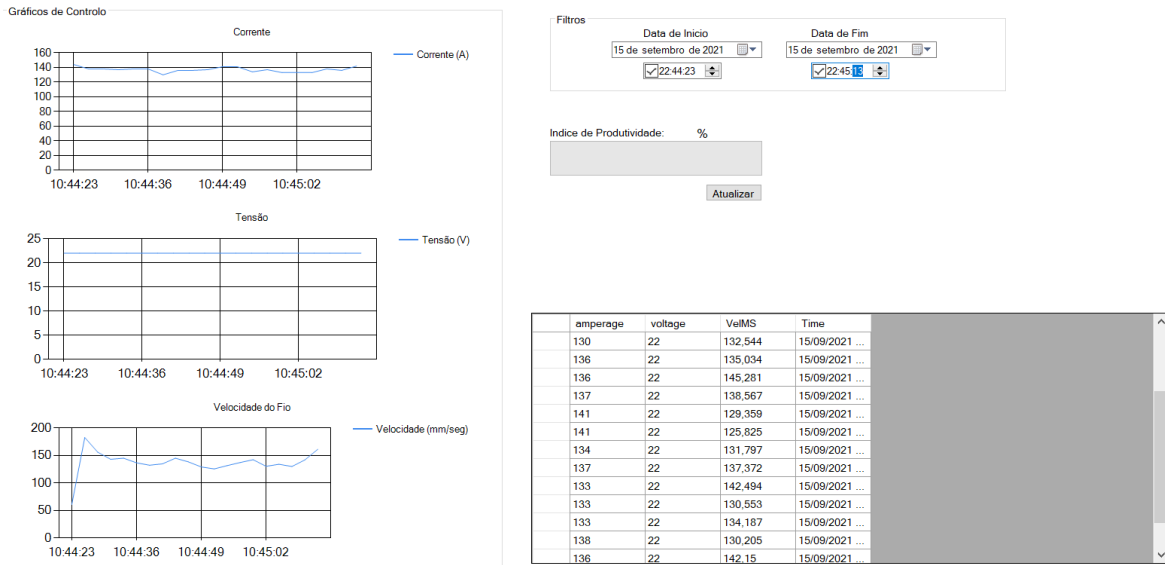


Figura 53 - Dashboard com parâmetros do ensaio do Provete B

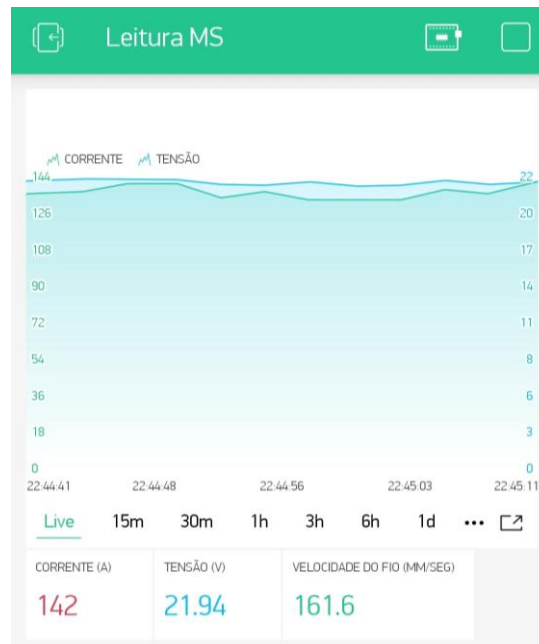


Figura 54 - Aplicação Blynk com valores durante os ensaios do Provete B

Nos Provetes 3 (Figura 55 e Figura 56) e C (Figura 57 e Figura 58), foram utilizados parâmetros de soldadura equivalentes. A corrente encontrava-se no intervalo [105A:115A] e a tensão a 19V.

Ensaio no Provete 3:

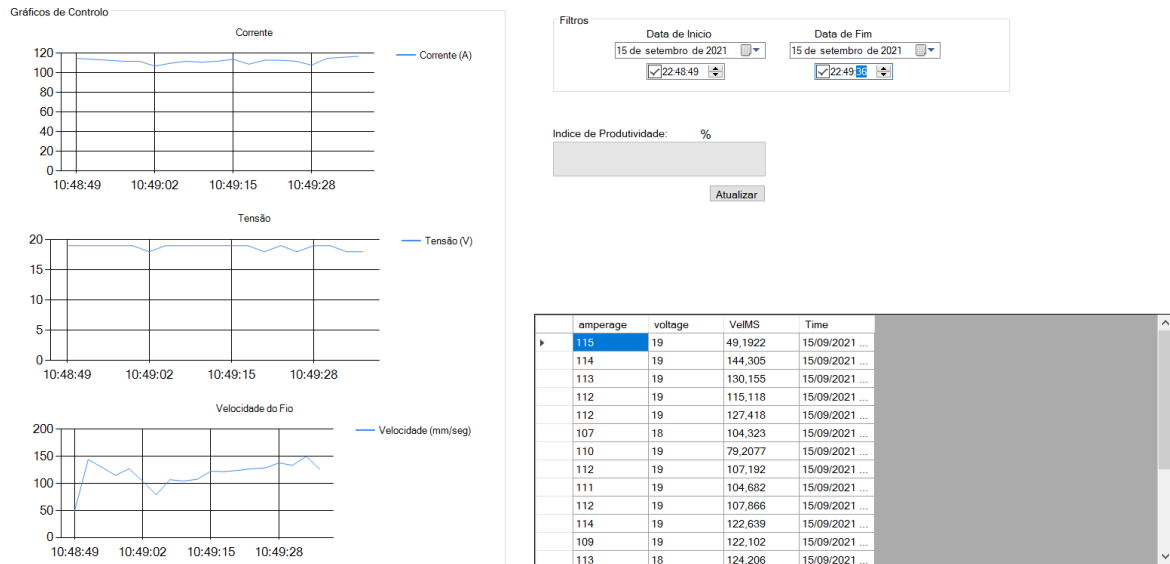


Figura 55 - DashBoard com parâmetros do ensaio do Provete 3

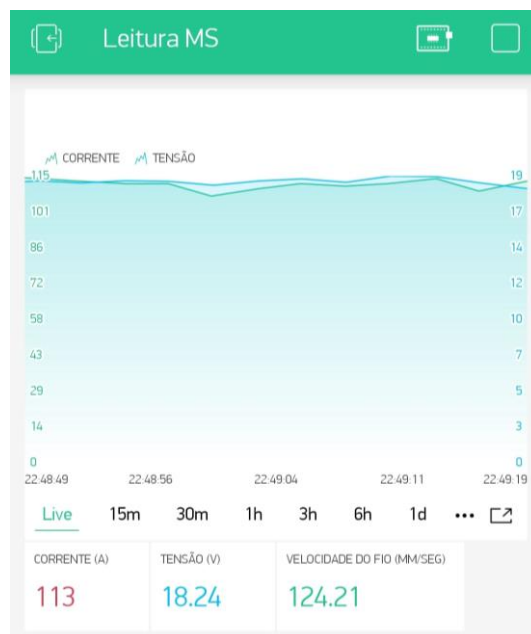


Figura 56 - Aplicação Blynk com valores durante os ensaios do Provete 3

Ensaio no Provete C:

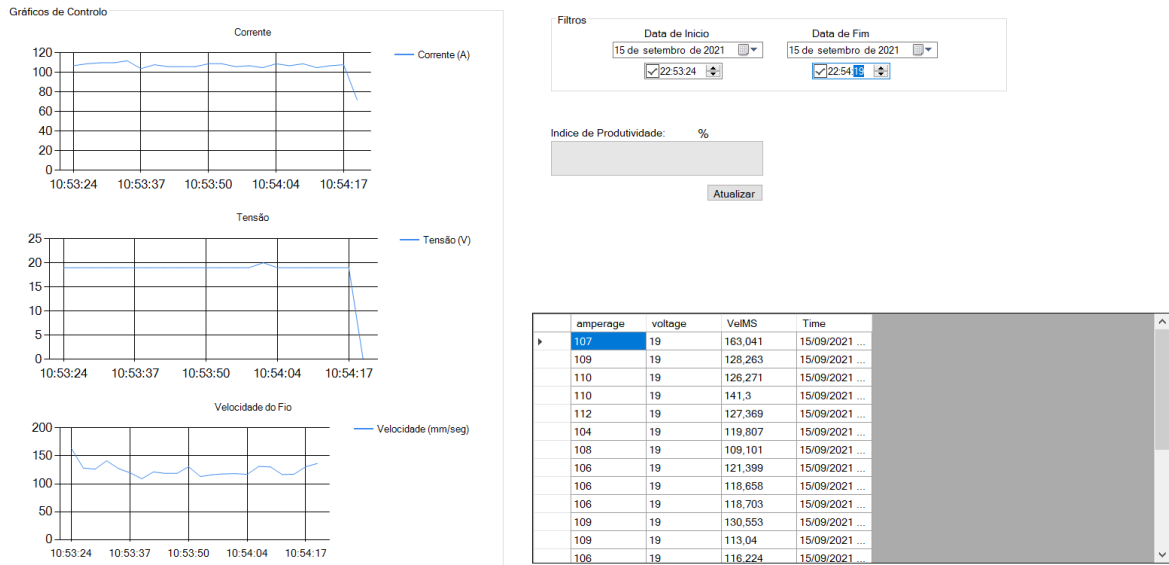


Figura 57 - DashBoard com parâmetros do ensaio do Provete C

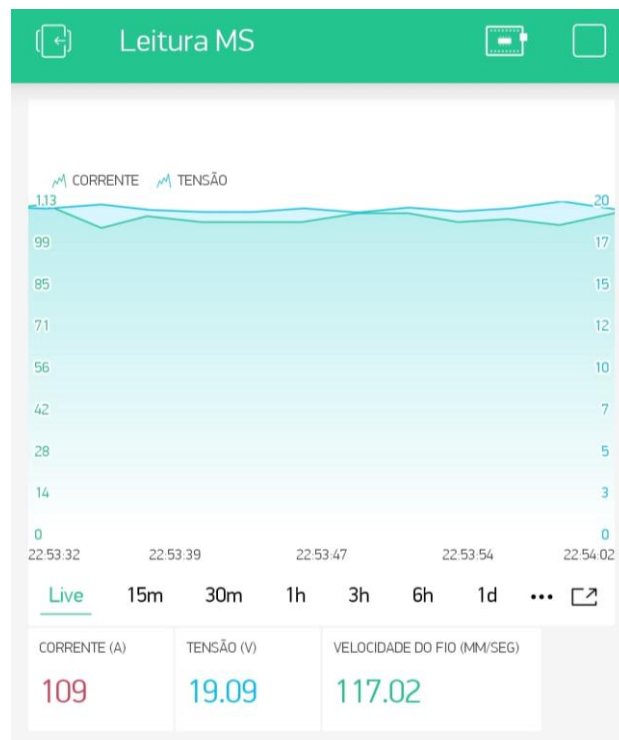


Figura 58 - Aplicação Blynk com valores durante os ensaios do Provete C

4.6.3. Medição do Índice de Produtividade

Para obter o Índice de Produtividade foi tida em conta uma hora entre o início e o fim dos testes.

Tendo em conta que os ensaios começaram às 22h:26m:00s e terminaram às 22h:55m:00s chegamos à conclusão de que estes tiveram uma duração de 29 minutos.

Como é possível interpretar através da Figura 59, o índice de produtividade obtido, isto é, a percentagem de tempo efetivo de trabalho como explicado na secção 4.4.1, é de 39% o que significa aproximadamente 11 minutos e 19 segundos.

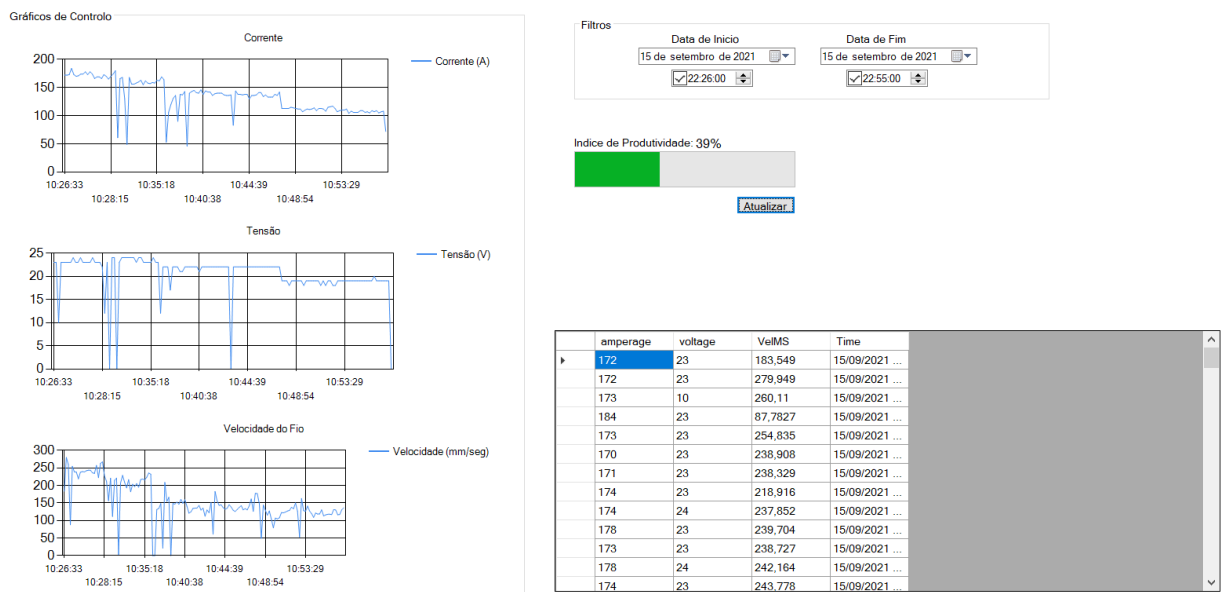


Figura 59 - *DashBoard* com o cálculo do Índice de Produtividade

4.6.4. Ensaio Macrográficos

Os ensaios macrográficos permitem uma avaliação da superfície da secção transversal da soldadura. Este ensaio começa pela escolha da zona de corte da soldadura para obtenção da secção transversal. Esta fase é de extrema importância porque através da avaliação do cordão de soldadura podem ser perceptíveis características com maior interesse para o estudo. Após a obtenção da secção é necessário polir com a maior qualidade possível a face com o intuito de obter uma maior perceptibilidade os resultados obtidos. Para obtenção destes resultados é usado um reagente denominado de *Nital*. Este é uma mistura de álcool com ácido nítrico.

Após o contacto deste reagente com a secção transversal o passo seguinte é lavar a peça com água corrente e seguidamente secar com acetona. Para proteger os resultados obtidos de eventualmente, voltarem ao estado inicial é necessário cobrir a zona de teste com verniz incolor.

Este processo permite retirar algumas informações em relação à homogeneidade dos materiais, as falhas existentes na execução da soldadura e consequente qualidade, a penetração obtida, entre outros (Rohde, 2010).

Provete 1 – É possível observar um cordão topo a topo com uma pequena penetração uniforme em todo o preenchimento do cordão (Figura 60).

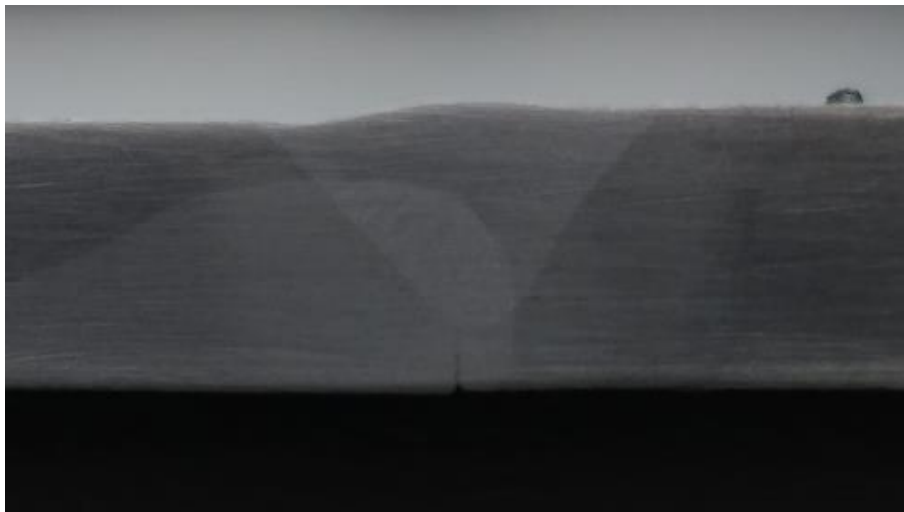


Figura 60 - Ensaio Macrográfico do Provete 1

Provete A – É possível observar um cordão de canto com uma ligeira penetração tanto na face horizontal como na face vertical (Figura 61).



Figura 61 - Ensaio Macrográfico do Provete A

Provete 2 – É possível observar um cordão de uma soldadura topo a topo com uma maior penetração na raiz (Figura 62).



Figura 62 - Ensaio Macrográfico do Provete 2

Provete B – É possível observar um cordão de soldadura de canto com o uma penetração nas duas faces intervenientes, sendo possível observar também um assentamento da penetração na zona da raiz do cordão (Figura 63).



Figura 63 - Ensaio Macrográfico do Provete B

Provete 3 – É possível observar neste ensaio um cordão de dimensão menor com uma penetração reduzida (Figura 64).



Figura 64 - Ensaio Macrográfico do Provete 3

Provete C – É possível interpretar através da análise do ensaio uma pequena penetração na face vertical e uma inexistência de penetração na face horizontal (Figura 65).



Figura 65 - Ensaio Macrográfico do Provete C

5. Análise e Discussão de Resultados

5.1. Análise e Discussão de Dados Relacionados com o Dispositivo

Na análise de funcionamento do protótipo construído para a aquisição de dados, existem alguns pontos a serem discutidos. Assim, na medição da corrente, foi utilizado como explicado anteriormente uma pinça amperimétrica com uma capacidade de medição de 800A, sendo que para os testes executados, uma pinça de 600A seria suficiente para as necessidades visto que segundo o manual da máquina é o pico mais alto que esta consegue atingir. Com a diminuição desta capacidade da pinça amperimétrica, aumenta a resolução da mesma. Considerando que, na pinça utilizada tínhamos uma resolução de 1500mV para 800A, significa que existe uma variação de 1A na medição cada 1,875mV. Assim, com a alteração da pinça amperimétrica para uma de 600A, seriam necessários 2,5mV para a mesma variação.

Foi necessário também introduzir um regulador de tensão para que a alimentação da pinça amperimétrica fosse o mais estável possível. Posto isto, foi utilizado um regulador de tensão *LM324* em conjunto com dois condensadores (com o objetivo de eliminar ruídos), com 12V de alimentação para que o valor de saída emitido pela pinça fosse à partida também ele regulado e com o mínimo de oscilações possíveis.

Visto que o valor de saída da pinça amperimétrica (V_{ref}) é metade do valor da tensão de alimentação (Equação 1), é assim importante considerar que quanto mais estável fosse a entrada, mais estável seria a saída. Visto que o valor de alimentação da pinça amperimétrica não era medido, mas sim arbitrado na programação como 5V, era importante manter o valor real o mais próximo possível do arbitrado.

Na obtenção do divisor de tensão foram utilizadas resistências com 5% de erro associado à sua utilização. Uma das medidas a adotar para diminuir o erro na leitura da tensão é a utilização de resistências com menor erro associado.

Nos primeiros testes de montagem do circuito foram usados os conversores *ADC* do *ESP32*. Para as leituras da tensão e da corrente quanto maior fosse a capacidade/definição do sinal enviado melhor iria ser a leitura visto que, basta uma alteração mínima para fazer variar os valores. Assim, foi introduzido no sistema uma *ADS1115* com capacidade de fornecer ao *ESP32* uma resolução dos números enviados de 16Bits.

Após uma análise de resultados obtidos numa primeira fase, estes tomavam valores muito dispersos levando a que a medição executada não fosse aceitável. Para ultrapassar esta situação e antes de serem apresentados valores finais, foram recolhidos 100 valores e feita assim a sua média aritmética. Com esta nova metodologia os valores obtidos passaram a ser mais precisos.

Para provar a exatidão do protótipo foram feitos dois testes de aferição, um para a medição da corrente e outro para a medição da tensão.

Para aferição da medição da corrente foi então utilizada uma pinça amperimétrica devidamente calibrada e paralelamente retira os dados do dispositivo criado para posteriormente serem comparados.

A mesma metodologia foi usada para a medição da tensão. Assim, durante alguns ensaios de soldadura foram feitos alguns testes também à tensão através de um multímetro calibrado.

A Tabela 1 demonstra um resumo dos testes feitos para podemos calcular o erro relativo à medição.

Tabela 1 - Dados de calibração do protótipo

	Teste 1		Teste 2		Teste3	
	Protótipo	Instrumento Calibrado	Protótipo	Instrumento Calibrado	Protótipo	Instrumento Calibrado
Corrente (A)	175	181	138	147	167	178
Tensão (V)	24	24	22	22	23	24

Através das diferenças obtidas com a leitura do protótipo *versus* o instrumento calibrado, podemos concluir que o equipamento em relação à corrente tem um erro aproximado de 5%, e em relação à tensão tem um erro de 1%.

A estrutura de suporte do sensor de velocidade e da roda foi modelada e impressa em *PLA* com recurso à tecnologia de impressão *3D* com deposição por camadas. Assim e visto que este material vai estar em contacto com o fio, irá ter um grande desgaste ao longo do tempo. Para além deste desgaste existe também uma necessidade de alterar o material de construção desta roda visto que esta não tem capacidade suficiente de fazer manter o

posicionamento no rolamento, pois que o furo da roda responsável pelo posicionamento deste, tem também um relativo desgaste ao final de algum tempo de utilização.

Numa primeira abordagem na tentativa de criar uma interface de comunicação com o utilizador final foi contruído um *dashboard* com base no programa *Microsoft POWERBI*. A dificuldade que o *POWERBI* tem de apresentar os dados em tempo real sem o recurso a uma versão *Premium* fez com que esta solução fosse descartada. Posteriormente, e com recurso a uma intensa pesquisa foi então criada uma interface na aplicação *Blynk* que permite o envio de dados para a plataforma e a visualização destes em tempo real. Para uma avaliação posterior dos parâmetros de soldadura utilizados e ou índices de produtividade foi então contruído como apresentado anteriormente um programa em *C#* que permite executar essas funções.

5.2. Análise e Discussão de Dados Relacionados com os Ensaios

Segundo Broberg (1974), quanto maior for a corrente e a tensão fornecidas durante a soldadura, maior será a capacidade do material de adição penetrar no material base, nunca descurando os restantes parâmetros como é o caso da velocidade do fio, da velocidade de soldadura, da inclinação da tocha, do método de soldadura, do comprimento de fio disponível até à peça, entre outros.

Analisando os resultados obtidos e relatados na secção 4.6.2 (Execução dos ensaios) podemos observar que, nos ensaios 1 e A os parâmetros de tensão e corrente eram os maiores, fazendo prever que nestes se iria observar uma maior penetração.

Analisando os resultados obtidos e tendo em conta que o chanfro relativo a cada provete era igual, assim como o material e espessura da chapa, é visível que no provete 1 existe uma maior deposição de soldadura formando assim um cordão mais uniforme e com maior robustez. Este acontecimento justifica-se pelo facto de com maiores parâmetros de soldadura existir uma maior temperatura associada ao processo. Se a temperatura de soldadura é maior é mais fácil criar um banho de soldadura maior, aumentando consecutivamente a garganta do cordão promovendo a execução de cordões mais altos.

No entanto é possível interpretar também que existe uma mais clara e maior penetração na raiz no Provete 2, em relação aos demais. Era esperado que os provetes 1 e A apresentassem maiores penetrações pela capacidade de fornecerem mais energia e consecutiva temperatura ao sistema. Mas, através da análise macrográfica isso não se verifica. Este acontecimento pode justificar-se através de outros parâmetros que influenciam diretamente a penetração como é o caso do posicionamento da tocha, a velocidade de soldadura e também da distância do bocal ao material base.

É possível através de uma análise mais detalhada perceber que, como esperado, quanto maior for a corrente utilizada maior a zona termicamente afetada visto que, quanto mais alta for a corrente fornecida durante os ensaios maior será a temperatura atingida. (ilustrado na Figura 66 a linha cinza).

Não sendo os resultados obtidos exatamente iguais aos pretendidos, mas tendo em conta o facto do processo ser manual e conseqüentemente influenciado pela técnica utilizada, podemos concluir que não se encontram desquadrados do esperado.

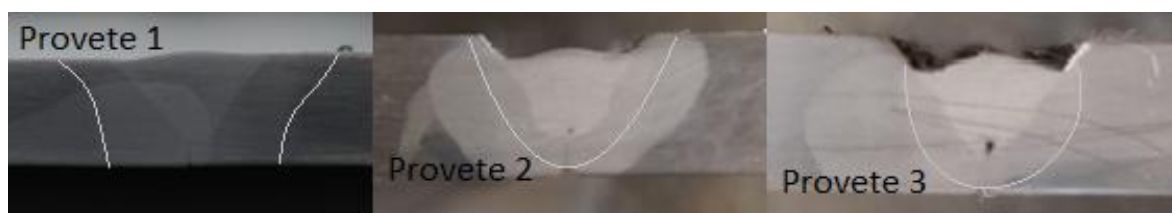


Figura 66 - Análise Macrográfica dos Provetes 1, 2 e 3

6. Conclusões

O tema do projeto surge com a percepção da necessidade de controlar o processo de soldadura. Este, para além de ser um processo dispendioso devido às matérias-primas utilizadas e à mão de obra, é um processo que apresenta níveis de produtividade bastante baixos.

Para além deste ser um processo de desgaste contínuo do soldador é também um processo que usualmente requer vários processos de preparação morosos e complexos.

Após a análise de projetos de vários autores foi possível criar um encadeamento de processos para obter o resultado final.

Como primeiros passos na execução deste projeto, foram feitas várias pesquisas em torno de técnicas para a medição da corrente e da tensão. As técnicas utilizadas foram baseadas nas convencionais, executadas manualmente, com recurso a uma pinça amperimétrica e a um multímetro.

Após a pesquisa de mercado foram encontradas as soluções, uma pinça amperimétrica com um sensor de efeito de *hall* e um simples divisor de tensão para a medição da tensão visto que a tensão máxima admissível pela placa de desenvolvimento é de 3,3V e as tensões de trabalho têm um máximo de 50V.

Para a medição da velocidade do fio foram feitas várias pesquisas que culminaram na solução apresentada, sendo necessário apenas um sensor de velocidade composto por um feixe laser.

Com a aquisição de dados concluída era necessário guardá-los para estes poderem ser avaliados posteriormente pelo utilizador, e assim cresce a solução mais comum nos dias de hoje, a base de dados *MySQL* que oferece uma interação com outras plataformas com várias vantagens.

Após a conclusão destes processos é necessário passar à interpretação e análise de dados obtidos e assim surge a aplicação *Blynk* capaz de oferecer uma visualização de dados em tempo real. Para uma visualização de dados filtrada na linha temporal foi criada então um *DashBoard* para a análise destes. Este permite fazer uma avaliação dos parâmetros usados

na soldadura de uma peça apenas sabendo em que espaço temporal é que esta foi executada.

Este programa criado tem também como elemento de realce poder medir o índice de produtividade do soldador num espaço de tempo.

Para desenvolvimentos futuros deste projeto é possível obter uma melhor calibração do dispositivo com recursos dispositivos apropriados para o efeito. Este processo tem como objetivo delinear de uma forma mais clara as retas que caracterizam os resultados à saída dos sensores. Desta forma, estas novas equações podem oferecer resultados mais exatos.

Em relação aos dados oferecidos pelo *Display* incorporado na placa de desenvolvimento este pode sofrer algumas alterações de modo a ser mais apelativo ao utilizador no sentido de facilitar a resolução de algum problema que possa acontecer durante as medições com o protótipo.

A placa de desenvolvimento utilizada tem a capacidade de criar uma rede com dispositivos da mesma marca e modelo. Este sistema permite a criação de um *Master* que tem como função a recolha de dados de outros dispositivos semelhantes. A ideia de melhoria foca a capacidade de se ligarem vários *Slaves* com a função de recolha e tratamento de dados a esse *Master* e por sua vez serem enviados para uma base de dados *SQL* reduzindo assim o número de dispositivos ligados à rede.

No *Dashboard* podem ser criados novos indicadores ajustados à necessidade do utilizador. Os dados obtidos podem até ser utilizados na redução de stocks desnecessários passando o exemplo. Se for controlada a velocidade média a que é gasto o fio de soldadura é possível calcular em quanto tempo se gasta uma bobine. Assim é possível fazer uma encomenda mais regular e menos dispendiosa diminuindo o custo de stock em fio de soldadura.

Com a recolha de dados deste tipo é possível determinar o tempo médio de soldadura de peças padrão. Assim, é possível ao departamento de orçamentação produzir um tempo estimado de produção de uma obra permitindo a execução de um orçamento mais realista e com menos riscos associados.

Para desenvolvimentos futuros era deveras interessante a criação de um relatório automático capaz de servir de prova para a conformidade da soldadura executada.

É possível concluir que os objetivos iniciais foram atingidos, após a avaliação das metas alcançadas com a execução do dispositivo. Foi demonstrada a capacidade deste, oferecer valores fiáveis em tempo real ao utilizador, e posteriormente através do *Dashboard* este poder fazer uma avaliação dos resultados obtidos. Com a apresentação do índice de produtividade é provado que com o protótipo é possível controlar o sistema dando ao utilizador um valor a partir do qual demonstra a necessidade de serem tomadas ou não medidas corretivas para um aumento de produtividade.

Referências Bibliográficas

- Ajah, I. A., & Nweke, H. F. (2019). Big data and business analytics: Trends, platforms, success factors and applications. In *Big Data and Cognitive Computing* (Vol. 3, Issue 2, pp. 1–30). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/bdcc3020032>
- Baptista, M. (2005). *SISTEMAS DE INSTRUMENTAÇÃO-2.º ANO-Manuel Baptista*.
- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, *13*, 1245–1252. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>
- Blok, M. M., Groenesteijn, L., Schelvis, R., & Vink, P. (2012). *New ways of working: does flexibility in time and location of work change work behavior and affect business outcomes?* <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0800-5075>
- Broberg, K. B. (1974). *1. The Process Region. January 2010*.
- Chan, J. O. (2013). An Architecture for Big Data Analytics. *Communications of the IIMA*, *13*(2), 1–14.
- Computing Corporation, M. (2004). *A Reference foR DAQ AnD AnAlog & Digital SignAl conDitioning*.
- Deloitte. (2015). Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. *Deloitte*, 1–30.
- DEWESoft. (2020a). *O que é Aquisição de Dados - DAQ ou DAS?*
- DEWESoft. (2020b). *O que é Condicionamento ou Condicionador de Sinal | Dewesoft*. DEWESoft. <https://dewesoft.com/br/aquisicao-de-dados/o-que-e-condicionamento-de-sinal>
- Dlamini, M., Eloff, M., & Eloff, J. (2009). *Internet of things: emerging and future scenarios from an information security perspective*. Southern Africa Telecommunication Networks and Applications Conference.
- DLG-Expert report. (2015). *Industry 4.0-Summary report*.
- ESP32 LoRa Heltec v2 with display – pinout diagram*. (2021). <https://escapequotes.net/esp32-lora-heltec-v2-with-display-pinout-diagram/>
- Espressif. (2019). ESP32 Series Datasheet. *Espressif Systems*, 1–61.
- Fraden, J. (2010). Handbook of Modern Sensors. *Handbook of Modern Sensors*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6466-3>

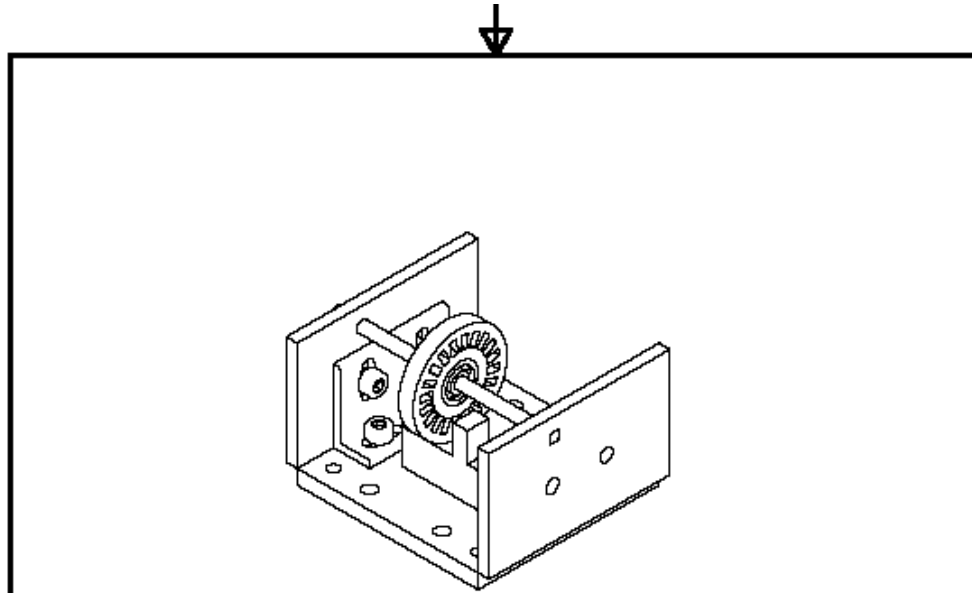
- Gokmen, G., & Tuncalp, K. (2010). The Design of a hall effect current transformer and examination of the linearity with real time parameter estimation. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, 5, 3–8. <https://doi.org/10.5755/j01.eee.101.5.9386>
- Grover, V., Chiang, R. H. L., Liang, T.-P., & Zhang, D. (2018). Creating Strategic Business Value from Big Data Analytics: A Research Framework. *Journal of Management Information Systems*, 35(2), 388–423. <https://doi.org/10.1080/07421222.2018.1451951>
- GSMA Association. (2014). Understanding the Internet of Things (IoT). *Gsma Connected Living*, July, 15.
- Hertel, M., Trautmann, M., Jäckel, S., & Füssel, U. (2017). The Role of Metal Vapour in Gas Metal Arc Welding and Methods of Combined Experimental and Numerical Process Analysis. *Plasma Chemistry and Plasma Processing 2017 37:3*, 37(3), 531–547. <https://doi.org/10.1007/S11090-017-9790-1>
- Ibrahim, I. A., Mohamat, S. A., Amir, A., & Ghalib, A. (2012). The effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) processes on different welding parameters. *Procedia Engineering*, 41(Iris), 1502–1506. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.342>
- Jazdi, N. (2014). Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, AQTR 2014*. <https://doi.org/10.1109/AQTR.2014.6857843>
- Kobe Steel LTD. (2015). *Essential Factors in Gas Shielded Metal Arc Welding*. 1–33.
- Kumar, C. L., Aja, T. van, & Murti, K. (2017). Optimization of Mig Welding Process Parameters for Improving Welding Strength of Steel. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 50(1), 26–33. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v50p205>
- KY, C., KF, J., W, Z., & RJ, B. (2012). Redefining the roles of sensors in objective physical activity monitoring. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(1 Suppl 1), S13-23. <https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E3182399BC8>
- McAllister, W. (2021). *Divisor de tensão (artigo) | Khan Academy*. <https://pt.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-circuit-analysis-topic/ee-resistor-circuits/a/ee-voltage-divider>
- McGrath, M. J., & Scanaill, C. N. (2013). Sensing and Sensor Fundamentals. *Sensor Technologies*, 15–50. https://doi.org/10.1007/978-1-4302-6014-1_2
- Mohamed, M. (2018). Challenges and Benefits of Industry 4.0: An overview. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(3), 256–265.
- Nadzam, J., Armao, F., Byall, L., Kotecki, D., & Miller, D. (2014). Gas Metal Arc Welding Product and Procedure Selection. In *Tech Rep. C4.200*.

- Pallás-Areny, R., & Webster, J. G. (2001). *Sensors and signal conditioning*. 587.
- Patel, K., & Patel, S. (2016). *Internet of Things-IOT : Definition , Characteristics , Architecture , Enabling Technologies , Application & Future Challenges*.
- Pepperl Fuchs. (n.d.). *INTERFACE TECHNOLOGY SIGNAL CONDITIONING*.
- Philbeck, T., & Davis, N. (2019). The fourth industrial revolution: Shaping a new Era. *Journal of International Affairs*, 72(1), 17–21.
- Potter, D., & Eren, H. (2011). Data Acquisition Fundamentals. *Instrument Engineers' Handbook*, 330–341. <https://doi.org/10.1201/B11093-23>
- Ramalho, J. P., & JR. Luiz Gimenses. (2002). Manual de Tecnologia de Fabricação e Soldagem (Módulo I). In *Soldagem & Qualidade*.
- Riahi, Y., & Riahi, S. (2018). Big Data and Big Data Analytics: concepts, types and technologies. *International Journal of Research and Engineering*, 5(9), 524–528. <https://doi.org/10.21276/ijre.2018.5.9.5>
- Rohde, R. A. (2010). Metalografia: preparação de amostras - Uma abordagem prática. *Outubro*, 3, 28.
- Salina, A., & Rao, K. Y. (2016). A Study on Tools of Big Data Analytics. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering (An ISO Certified Organization)*, 3297(6), 11449–11455. <https://doi.org/10.15680/IJIRCCE.2016>
- Schuh, G., Potente, T., Varandani, R., Hausberg, C., & Fränken, B. (2014). Collaboration moves productivity to the next level. *Procedia CIRP*, 17, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.037>
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>
- Serrano, L. M. V, Alcobia, C. J. O. P. J., Mateus, M. L. O. S., & Silva, M. C. G. (2004). Sistemas de Aquisição , Processamento e Armazenamento de Dados. *Sociedade Portuguesa de Metrologia (SPMet)*, 1–15.
- Shariffuddin, S. Bt. (2015). *Chapter 5: Welding Process - ppt video online download*. <https://slideplayer.com/slide/4320997/>
- Sinclair, I. R. (2001). *Sensors and transducers* (p. 306). Newnes.
- Tamura Corporation. (2012). *L06P Series 2nd Version*.

- Tay, S. I., Lee, T. C., Hamid, N. Z. A., & Ahmad, A. N. A. (2018). *An Overview of Industry 4.0: Definition, Components, and Government Initiatives*. 10(Special Issue 14-Special Issue), 1379–1387.
- Texas Instruments. (2009). Ads1113/Ads1114/Ads1115. In *Datasheet*.
- Thames, L., & Schaefer, D. (2017). *Industry 4.0: An Overview of Key Benefits, Technologies, and Challenges* (pp. 1–33). https://doi.org/10.1007/978-3-319-50660-9_1
- Usher, M. J., & Keating, D. A. (1996). *Sensors and transducers : characteristics, applications, instrumentation, interfacing*.
- What Is Mig Welding /Gas Metal Arc Welding | Sparker Electric Ltd.* (2018). <https://www.sparkerweld.com/en/technology-detail/what-is-mig-welding--gas-metal-arc-welding/21>
- Whitmore, A., Agarwal, A., & Da Xu, L. (2015). The Internet of Things—A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 261–274. <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9489-2>
- Yumi Sato Duarte, A., Aparecida Sanches, R., & Giuseppe Dedini, F. (2018). Assessment and technological forecasting in the textile industry: From first industrial revolution to the Industry 4.0 1. *Strategic Design Research Journal*, 11(3), 193–202. <https://doi.org/10.4013/sdrj.2018.113.03>
- Zakir, J., Seymour, T., & Berg, K. (2015). BIG DATA ANALYTICS. *Issues in Information Systems*, 16, 81–90. https://doi.org/10.48009/2_iis_2015_81-90

Anexos

Anexo A – Desenhos Técnicos de Peças Modeladas para Construção do Sensor de Velocidade



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Roda	
2	1	CSN 024630 SKF - SKF 623	Single row ball bearings
3	1	BAse	
4	1	Sensor de Velocidade	
5	1	ISO 4032 - M3	Hex Nut. Product grades A and B
6	1	Parede	
7	1	Veio	
8	2	Cantoneira	
9	2	M 3x10	Socket Head Cap Screw DIN 912 - 12.9
10	1	Parede Furo Quadrado	

DRAWN Duarte		TITLE Conjunto de Suporte para Sensor de Velocidade		
CHECKED				
QA		SIZE A4	DWG NO	REV
MFG		SCALE 1 : 1		
APPROVED		SHEET 1 OF 1		

