



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DOS
PARÂMETROS ELÉTRICOS E DA TEMPERATURA DURANTE A
OPERAÇÃO DE SOLDAGEM**

**FABRÍCIO PINHEIRO CARDOSO
VALDIR SANTOS DA COSTA**

**Tucuruí – PA
2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DOS PARÂMETROS
ELÉTRICOS E DA TEMPERATURA DURANTE A OPERAÇÃO DE SOLDAGEM**

**FABRÍCIO PINHEIRO CARDOSO
VALDIR SANTOS DA COSTA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus Universitário de Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do título bacharel em Engenharia Mecânica.

**Orientador:
Prof. Dr. Douglas Neves Garcia**

**Tucuruí – PA
2019**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

C837d Costa, Valdir Santos da
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO
DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS E DA TEMPERATURA
DURANTE A OPERAÇÃO DE SOLDAGEM / Valdir Santos da
Costa, Fabrício Pinheiro Cardoso . — 2019.
xviii, 39 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Douglas Neves Garcia
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de
Engenharia Mecânica, Campus Universitário de Tucuruí,
Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2019.

1. Aquisição de dados. 2. Monitoramento. 3. Soldagem. I.
Título.

CDD 620.1



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DOS PARÂMETROS
ELÉTRICOS E DA TEMPERATURA DURANTE A OPERAÇÃO DE SOLDAGEM**

**FABRÍCIO PINHEIRO CARDOSO
VALDIR SANTOS DA COSTA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus Universitário de Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção de título de bacharel em Engenharia Mecânica.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Douglas Neves Garcia
FEM/CAMTUC/UFPA

Membro interno: Prof. Dr. Wassim Raja El Banna
FEM/CAMTUC/UFPA

Membro externo: Eng. Danilo Silva Santos

Conceito _____

Tucuruí – PA, ____ de _____ de 2019

A minha mãe e meus familiares que sempre me apoiaram e acreditaram no meu potencial é meu filho Yohan Felipe, pra quem eu dedico essa conquista.

AGRADECIMENTOS

FABRÍCIO PINHEIRO CARDOSO

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pelo dom da vida, por ter sempre cuidado de mim ao longo desta jornada acadêmica. A minha mãe por todo o amor é apoio necessário para que esta conquista se realizasse.

Agradeço aos meus familiares por todo o apoio em especial aos meus avó/avô Lucila Correa Pinheiro (*in memoriam*) e Mario Correa Pinheiro pela educação que me foi dada, por terem me criado como seu filho e ensinado valores essenciais para ser um cidadão de bem.

Às minhas tias Elizabeth Pinheiro e Maria Alice Pinheiro por estarem sempre presente quando precisei de algo a mais, meu muito obrigado.

A todos os meus colegas de turma, em especial para aquele que faziam parte da minha equipe de trabalhos Klemilson Castro, Nyanne Matos, Washington Fonseca e Felipe Silva, agradeço pelo incentivo e companheirismo de vocês.

A todos os professores que ministraram aula ao longo do curso, meu muito obrigado a todos pelo conhecimento repassado.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Douglas Garcia Neves por todo conhecimento repassado ao longo da graduação, orientação e ajuda neste trabalho.

Ao meu colega de TCC Valdir Santos, pelo empenho e dedicação para a realização deste trabalho.

A SAEST (Superintendência de Assistência Estudantil) por todo o apoio financeiro concedido a mim nesses cinco anos de curso através de bolsas dos auxílios Permanência e Moradia, sem eles esse sonho não seria possível de se realizar. Obrigado a todos vocês.

E, finalmente, a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

*Aos meus pais Aurineide e Evardi, que sempre
me apoiaram e acreditaram no meu potencial.*

AGRADECIMENTOS

VALDIR SANTOS DA COSTA

A Deus, acima de tudo, por me permitir as condições essenciais para alcançar esta gloriosa vitória em minha carreira acadêmica, sempre me guiando e mostrando a melhor forma de encarar os desafios que surgiram e foram superados graças a sua bondosa permissão.

Aos meus pais Aurineide Santos e Evardi Oliveira, que contribuíram de todas as formas possíveis, sempre doando o máximo de si para que eu pudesse alcançar o sucesso, pois sem o apoio deles jamais haveria possibilidade de concluir mais esta importante etapa em minha vida.

Aos meus irmãos Nair Assunção e Vanderson Felipe pelo fiel companheirismo, pessoas que sempre me incentivaram e se colocaram à disposição pra me ajudar todas as vezes que precisei.

Aos meus tios José de Jesus e Cleidizan de Maria e ao meu avô Francisco das Chagas que estiveram me acompanhando de perto desde 2014 nesta longa caminhada em inúmeras vezes me impulsionando e ajudando financeiramente e que de forma alguma poderia deixar de agradecê-los.

Aos meus padrinhos Maria do Socorro e Pedro Max que me ajudaram na medida do possível e me ofereceram condições de moradia na reta final do curso, os quais sempre serei grato pela bondade.

À Universidade Federal do Pará em especial ao CAMTUC, pela oportunidade, com sua estrutura e corpo docente que tornou um sonho distante em realidade.

À senhorita Luana Martins pelo incentivo e por todos os adoráveis momentos que estive ao meu lado me apoiando nas decisões.

A todos meus colegas de turma, em especial a minha equipe de trabalhos: Artur Cunha, Emanuel Matos, Gineton Rodrigo, Lorrann Borges, Thiago Barroso e Rodrigo Ribeiro pelo companheirismo nos desafios que enfrentamos juntos, além dos meus colegas: Edielson Silva, Erika Cristina e Natália Carvalho por todos os momentos que me ajudaram sem questionar.

Ao meu amigo Dárlison Alencar pela parceria desde o início da graduação e contribuição no meu Trabalho de Conclusão de Curso.

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS E DA TEMPERATURA DURANTE A OPERAÇÃO DE SOLDAGEM

RESUMO

O presente trabalho faz referência ao desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados capaz de permitir o monitoramento dos processos convencionais de soldagem a arco voltaico. As variáveis de interesse deste trabalho são: temperatura, tensão e corrente elétrica do arco voltaico, que serão medidas com auxílio de sensores e transdutores adequados a cada uma das variáveis em questão e lidas através do microcontrolador ATmega328P da plataforma Arduino UNO. Estes componentes serão conectados fisicamente através de uma placa de circuito impresso, permitindo o fluxo de dados e energia entre Arduino e demais componentes periféricos que integram o sistema, que além de monitorar possibilita o armazenamento de dados instantâneos de operações de soldagem a arco voltaico obtidos a cada cordão, permitindo que o usuário analise e identifique através de gráficos sobrepostos de tensão e corrente o modo de transferência metálica, além relacionar sua influência nas características operacionais dos processos tais como: a estabilidade do arco, nível de respingos e características geométricas do cordão de solda. A obtenção dos gráficos de temperatura auxilia no monitoramento de outros fatores qualitativos operacionais, como a deposição do metal de adição e fusão do metal de base relacionando-os com a seleção da corrente de soldagem. Pelos resultados dos experimentos realizados, foi possível observar a influência dos valores de corrente e tensão na geometria do cordão e aspectos tais como a largura, penetração, fusão do cordão de solda, defeitos e nível de respingos. A análise dos cordões permitiu identificar, que para valores menores de corrente e tensão o arco comportou-se mais instável, com grandes níveis de respingos, o cordão de solda apresentou pouca penetração no metal de base, defeitos e cordões estreitos. Para valores maiores de corrente e tensão o arco obteve maior estabilidade e poucos respingos, já os cordões apresentaram-se mais largos, com boa penetração e com um aporte térmico mais elevado o que explica a qualidade dos cordões. Os gráficos obtidos nos experimentos, mostraram a estabilidade do arco variando para os diferentes valores de corrente e tensão. Além disso, pelos gráficos foi possível observar o comportamento dinâmico do arco e o tipo de transferência metálica de cada cordão.

Palavras-chave: *Aquisição, Monitoramento, Soldagem.*

DEVELOPMENT OF AN ACQUISITION SYSTEM OF THE ELECTRICAL PARAMETERS AND THE TEMPERATURE DURING THE WELDING OPERATION

ABSTRACT

The present work refers to the development of a data acquisition system capable of monitoring the conventional welding processes by voltaic arc. The variables of interest of this work are: temperature, voltage and electric current of the voltaic arc, which will be measured with the aid of sensors and transducers suitable for each of the variables in question and read by the ATmega328P microcontroller of the Arduino UNO platform. These components will be physically connected through a printed circuit board, allowing the flow of data and energy between Arduino and other peripheral components that integrate the system, and besides of monitoring it enables the storage of instantaneous data of welding operations by voltaic arc obtained at each bead, allowing the user to analyze and identify through overlapping voltage and current graphs the metallic transfer mode, apart from relating their influence on the operational characteristics of the processes such as: arc stability, level of spatter and geometric characteristics of the weld bead. The obtaining temperature graphs assists in monitoring other qualitative operational factors, such as the deposition of the addition metal and the fusion of the base metal by relating them to the selection of the welding current. Based on the results of the experiments, it was possible to observe the influence of current and voltage values on the bead geometry and aspects such as width, penetration, weld bead fusion, defects and level of spatter. The analysis of the beads allowed us to identify that for smaller values of current and voltage the arc behaved more unstable, with high levels of spatter, the weld bead showed few penetrations in the metal base, defects and narrow beads. For higher values of current and tension the arc obtained greater stability and few spatters, however the beads were wider, with good penetration and with a higher thermal contribution which explains the quality of the beads. The graphs obtained in the experiments showed the stability of the arc varying for the different values of current and voltage. In addition, through the graphs, it was possible to observe the dynamic behavior of the arc and the type of metallic transfer of each bead.

Keywords: Acquisition, Monitoring, Welding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Representação esquemática de uma montagem para a determinação de curvas.....	22
Figura 2. Curvas características do arco GTAW para diferentes comprimentos de arco.....	22
Figura 3. Arco elétrico formado	23
Figura 4. Transferência por curto circuito.	24
Figura 5. Transferência globular.	25
Figura 6. Transferência metálica por "spray".....	26
Figura 7. Esquema do modo de transferência por arco pulsado.....	26
Figura 8. Sistema simplificado de aquisição de dados.	27
Figura 9. Placa do Arduino UNO.	28
Figura 10. Interface inicial da IDE do Arduino.....	29
Figura 11. Representação básica de um termopar.	30
Figura 12. Gráfico de precisão e abrangência para diferentes tipos de termopares.	31
Figura 13. Fita de cobre percorrida por uma corrente (i).	33
Figura 14. Esquema do divisor de tensão.	34
Figura 15. Tela de comunicação com o PLX-DAQ.	35
Figura 16. Arduino UNO.....	36
Figura 17. Caixa de acrílico comportando a placa impressa.	36
Figura 18. Fonte retificadora.	37
Figura 19. Leitor MAX31855.....	37
Figura 20. Placa trilhada.....	38
Figura 21. Resistores.	38
Figura 22. Sensor de corrente 200CV-15 e seu diagrama de conexões.	39
Figura 23. Dimensões físicas do sensor de corrente.....	40
Figura 24. Termopar tipo K.....	41
Figura 25. Transformador abaixador de tensão.	41
Figura 26. Posicionamento do sensor de corrente.	42
Figura 27. Conexões entre divisor de tensão e fonte.....	43
Figura 28. Posicionamento do termopar.....	43
Figura 29. Inclusão de bibliotecas e definição de pinos.....	44
Figura 30. Variáveis para a medição de tensão.	44
Figura 31. Nomeação das tabelas exibidas no Excel.....	44
Figura 32. Medição de tensão.....	44

Figura 33. Organização das variáveis a serem exibidas no Excel.	45
Figura 34. Equação do sinal de saída do sensor de corrente.	46
Figura 35. Aquisição dos valores de temperatura.	46
Figura 36. Gráficos de tensão e corrente obtidos no processo E.R. a 30 A.....	48
Figura 37. Gráfico de temperatura obtido no processo E.R. a 30 A.....	49
Figura 38. Cordão de solda obtido para 30 A.....	49
Figura 39. Gráficos de tensão e corrente obtidos para o processo E.R. a 70 A.....	50
Figura 40. Gráfico obtido no processo E.R. a 70 A.....	50
Figura 41. Cordão de solda obtido para 70 A.....	51
Figura 42. Gráficos de tensão e corrente obtidos para o processo E.R. a 120 A.....	51
Figura 43. Gráfico de temperatura obtido para o processo E.R. a 120 A.....	52
Figura 44. Cordão de solda obtido para 120A.....	52
Figura 45. Comparativo entre as larguras dos cordões.....	53
Figura 46. Gráfico sobrepostos para tensão de 10 V.....	54
Figura 47. Cordão de solda no processo MAG com 10 V.....	54
Figura 48. Gráfico para tensão de 20 V.....	55
Figura 49. Cordão de no processo MAG com 20 V.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos de termopares, faixa de temperatura e voltagem.	31
Tabela 2. Custo na aquisição de equipamentos e serviços.	41
Tabela 3. Especificações dos parâmetros utilizados no processo Eletrodo Revestido.	46
Tabela 4. Especificação dos parâmetros utilizados no processo MAG.	47
Tabela 5. Variações de tensão e corrente para os experimentos com Eletrodo Revestido.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CC – Corrente Contínua

DAQ – Data Acquisition

EEPROM – Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory

f.e.m. – Força Eletromotriz

GMAW – Gas Metal Arc Welding

GTAW – Gas-Shielded Tungsten Arc Welding

I/O – Input/Output

IDE – Integrated Development Environment

ISA – Instrument Society of America

MAG – Metal Active Gas

PC – Personal Computer

PWM – Pulse Width Modulation

SAD – Sistema de Aquisição de Dados

SRAM – Static Random Access Memory

USB – Universal Serial Bus

LISTA DE SÍMBOLOS

% – Por Cento

I_b – Corrente de base

I_p – Corrente de pulso

I_t – Corrente de transição

® – Marca Registrada

μ – Mi

Al – Alumínio

Cr – Cromo

GND – Ground

Mn – Manganês

Ni – Níquel

Si – Silício

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	JUSTIFICATIVA.....	18
2	OBJETIVOS	20
2.1	OBJETIVO GERAL	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1	SOLDAGEM	21
3.1.1	Soldagem a arco elétrico	21
3.1.2	Características estáticas do arco	21
3.1.3	Funcionamento do arco elétrico	23
3.1.4	Tipos de transferência metálicas	23
3.1.4.1	<i>Transferência por curto circuito</i>	<i>24</i>
3.1.4.2	<i>Transferência globular.....</i>	<i>24</i>
3.1.4.3	<i>Transferência por “spray” ou aerossol (goticular).....</i>	<i>25</i>
3.2	AQUISIÇÃO DE DADOS.....	26
3.3	ARDUINO	27
3.3.1	Hardware.....	28
3.3.2	Software.....	29
3.3.3	Memória.....	29
3.4	SENSORES E TRANSDUTORES	30
3.4.1	Termopar.....	30
3.4.1.1	<i>Termopar Tipo K.....</i>	<i>31</i>
3.4.2	Transdutor de efeito Hall	32
3.4.3	Divisor de tensão resistivo	34
3.5	PLX-DAQ	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	36
4.1.1	Arduino UNO	36
4.1.2	Caixa em acrílico.....	36
4.1.3	Fonte retificadora simétrica ± 15 V.....	37
4.1.4	Leitor de termopar MAX31855	37
4.1.5	Placa de fenolite com superfície cobreada.....	38
4.1.6	Resistores	38

4.1.7	Sensor de corrente	39
4.1.7.1	<i>Características técnicas do sensor 200CV-15V:</i>	40
4.1.8	Termopar tipo K	40
4.1.9	Transformador abaixador de tensão (127 V ou 220 V/15 V)	41
4.1.10	Orçamento do projeto:	41
4.2	MÉTODO EXPERIMENTAL	42
4.2.1	Medição de corrente elétrica	42
4.2.2	Medição de tensão	42
4.2.3	Medição de temperatura	43
4.2.4	Programação	43
4.2.5	Calibração através da programação	45
4.2.5.1	<i>Calibração da tensão</i>	45
4.2.5.2	<i>Calibração da corrente</i>	45
4.2.5.3	<i>Calibração da temperatura</i>	46
4.2.6	Experimentos realizados	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1	Experimentos com eletrodo revestido.....	48
5.2	Identificação da transferência metálica.....	53
5.3	Experimentos com soldagem mag	53
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	56
6.1	CONCLUSÕES	56
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1 INTRODUÇÃO

Segundo Silva (2016), a indústria atual tem buscado a maximização da produção com o menor custo de fabricação possível, que juntamente com a eficiência energética compõe os principais desafios técnicos da indústria moderna.

Godin (2008) afirma que desde o fim da II Guerra Mundial, a dimensão tecnológica tem sido o foco de políticas públicas de vários países as quais têm por objetivo promover a capacitação industrial e sua capacidade de criar novos produtos e processos.

Segundo Sampaio (2010), a monitoração da qualidade de um processo produtivo vem se tornando cada dia mais necessário, tendo em vista o atual contexto mundial a interligação entre qualidade, produtividade e competitividade são fatores que na maioria das vezes determinam o sucesso ou o fracasso de uma empresa, processo ou produto.

Albertazzi e Sousa (2008) definem monitoramento como o processo de observar ou registrar passivamente o valor da grandeza. O interesse pode estar no seu valor momentâneo, no seu valor acumulado ou na sua evolução histórica. Pode ser utilizado para os mais variados fins, e influenciam diretamente na capacidade das indústrias e na qualidade dos processos.

Segundo Modenesi (2012), a soldagem é o mais importante processo industrial de fabricação de peças metálicas. Processos de soldagem ou processos afins são também utilizados na recuperação de peças desgastadas, para a aplicação de revestimentos de características especiais sobre superfícies metálicas e para corte.

1.1 JUSTIFICATIVA

Realizar o monitoramento em tempo real dos parâmetros referentes a processos de soldagem industrial é de fundamental importância quando se trata de controle de qualidade das peças produzidas nas várias áreas da indústria. (MILLER, 2002, apud STEINBACH, DIAS, e TEICHMANN, 2013).

Segundo Corrêa (1999), vários parâmetros físicos estão envolvidos em processos de soldagem e podem influenciar diretamente na qualidade do produto final, dentre estes podemos citar: corrente elétrica, tensão e comprimento do arco voltaico, comprimento e diâmetro do eletrodo, velocidade do arame, velocidade de soldagem e vazão do gás.

Ainda de acordo com Corrêa (1999), apesar de diversas grandezas terem importância para a qualidade da solda, as variáveis que mais impactam de forma significativa no processo são, corrente e tensão do arco voltaico de soldagem. Isto ocorre pois, através do monitoramento de tais variáveis, pode-se tomar conclusões relacionadas ao equilíbrio do processo, transferência de materiais e aporte térmico da solda.

Assim, este sistema de aquisição de dados, tem como finalidade auxiliar os alunos de graduação em Engenharia Mecânica nos estudos práticos dos processos de soldagem a arco elétrico.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema de aquisição de dados de baixo custo com auxílio da plataforma Arduino UNO versão R3, comunicando-se com a ferramenta Microsoft® Excel® para monitoramento das grandezas: corrente elétrica, tensão do arco voltaico e temperatura durante a operação de soldagem.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Relacionar graficamente as grandezas tensão e corrente do arco voltaico, permitindo determinar parâmetros qualitativos referentes a operação, tais como: estabilidade do arco, nível de respingos e geometria do cordão de solda;
- Identificar a transferência metálica do processo de soldagem através do comportamento gráfico das grandezas elétricas medidas;
- Armazenar valores instantâneos de temperatura para que seja possível estudar os efeitos de sua influência na capacidade de fusão do metal de base e deposição do metal de adição através da curva de resfriamento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SOLDAGEM

Para Marques et. al. (2011), a soldagem pode ser definida basicamente como a técnica de unir duas ou mais partes de metais ou não metais em um nível atômico por meio da fusão localizada, tornando a união permanente é assegurando entre elas a continuidade é as características físicas, químicas e metalúrgicas do material. Sendo este processo muito versátil, não há limites para sua aplicação podendo variar método e tipo de material a ser soldado.

Modenesi et. al. (2006), descrevem ainda que existe um grande número de processos de fabricação que encaixam no termo soldagem. A soldagem é considerada um método de união, porém atualmente esses métodos de união têm sido utilizados para outras finalidades como deposição de material com o intuito de recuperar peças ou até mesmo proteger com revestimento.

Secco (2002), destaca que a importância da soldagem se dá pelo fato de unir todos os metais comerciais, flexibilidade na aplicação, ser aplicado em qualquer local e facilidade em ser utilizada na recuperação e manutenção de equipamentos. Desse modo, a soldagem pode ser utilizada na indústria naval, mecânica, aeroespacial, vasos de pressão, estruturas metálicas plataformas petrolíferas, turbinas entre outros.

3.1.1 Soldagem a arco elétrico

Marques et. al. (2011), afirmam que o arco elétrico consiste em uma descarga elétrica mantida por meio de um gás ionizado a altas temperaturas chamado plasma, que produz energia térmica suficiente para ser usada na soldagem como fonte de calor para a fusão localizada de peças. Esse comportamento do arco elétrico foi observado pela primeira vez por Sir Humphrey no início do século XIX.

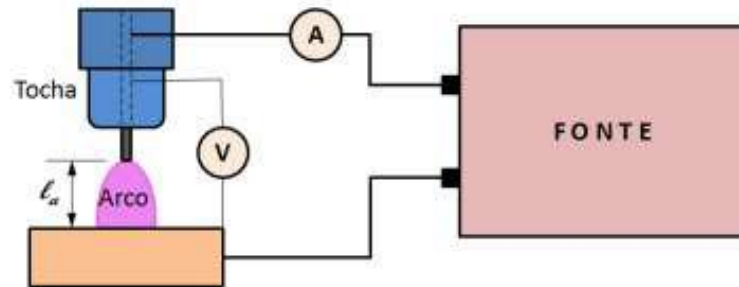
De acordo com Modenesi (2012), o arco elétrico é responsável pela grande versatilidade dos processos de soldagem e dos materiais metálicos soldados por fusão, em virtude das características que facilitam o controle do processo, baixo custo dos equipamentos, proporciona um nível de risco baixo à saúde do operador, tornando o arco elétrico muito importante nos processos de soldagem.

3.1.2 Características estáticas do arco

De acordo com Modenesi (2012), a curva característica estática do arco e a relação entre os valores médios de tensão (U) e corrente (i) determinadas por um valor constante de comprimento de arco é outras características do processo permanecerem inalteradas. A

característica estática do arco e obtida por meio de comprimento de arco é outros parâmetros operacionais fixos, através de medições de tensão e corrente nestas condições e possível obter as características estáticas do arco, conforme Figura 1.

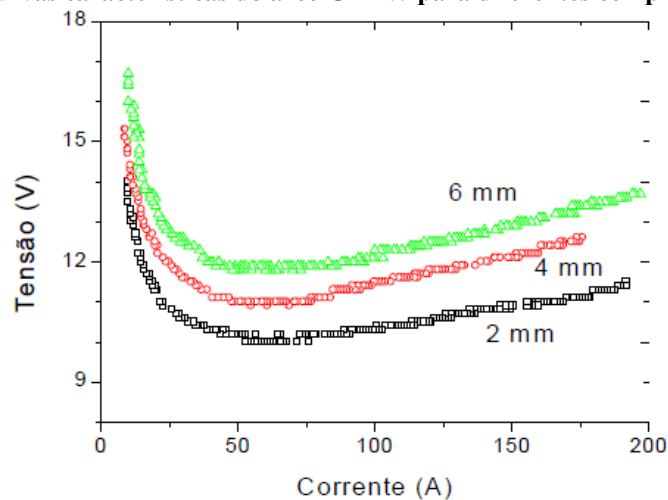
Figura 1. Representação esquemática de uma montagem para a determinação de curvas características do arco no processo GTAW. (A) Amperímetro e (V) Voltímetro.



Fonte: Modenesi (2012).

Marques et. al. (2011), afirmam que a curva características do arco passa por um valor mínimo de tensão, para valores intermediários de corrente. Ou seja, conforme ocorre a variação da corrente, a tensão tende a aumentar devido a redução da temperatura dos gases no arco e consequente menor energia gerada pelo mesmo, quem implicam em menos ionização do meio tornando a passagem da corrente elétrica menos favorável. Pode-se relacionar diferentes comprimentos de arco em função da tensão, conforme Figura 2.

Figura 2. Curvas características do arco GTAW para diferentes comprimentos de arco.



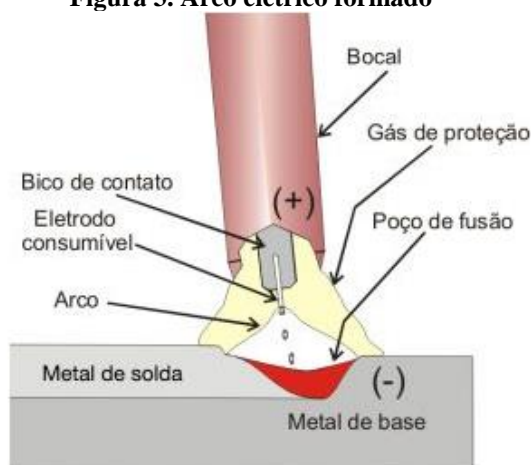
Fonte: Modenesi (2012).

Segundo Modenesi (2012), a forma da curva depende de diversos fatores como tamanho, forma, material e temperatura dos eletrodos, composição e pressão do gás de proteção e o comprimento do arco (l_a). Ou seja, um aumento no comprimento do arco, tende para valores cada vez maiores de tensão.

3.1.3 Funcionamento do arco elétrico

De acordo com Wainer et. al (2004), a fonte de energia para soldagem a arco elétrico e responsável por controlar a corrente do circuito, é ela deve possuir uma diferença de potencial característica (tensão em vazio) que favorece a abertura do arco. Como foi visto, para o arco elétrico entrar em funcionamento, e necessário que os dois eletrodos (ânodo e cátodo) sejam estabelecidos em um circuito fechado. Quando o eletrodo e o metal de base são aproximados, os elétrons acelerados colidem com os átomos e moléculas presentes no meio e as altas temperaturas da região ionizam o gás existente na coluna do arco deixando-o eletricamente carregado, assim, está aberto o arco, Figura 3.

Figura 3. Arco elétrico formado



Fonte: Peixoto (2012).

3.1.4 Tipos de transferência metálicas

Marques et. al. (2011), destacam que ao se fundir, o metal de adição é transferido para a poça de fusão. O modo como ocorre a transferência é importante, pois através dela muitas características são afetadas como estabilidade do arco, quantidade de gases absorvidos pelo metal fundido, capacidade de soldar fora da posição plana e a quantidade de respingos. Portanto conhecer os modos de transferência metálicas é importante para a execução do processo de soldagem a fim de aplica-los a cada situação adequada. É importante ressaltar que a maior parte dos artigos publicados sobre transferência metálica foi realizada com o processo GMAW, ou seja, as informações que serão descritas neste trabalho referem-se a este processo.

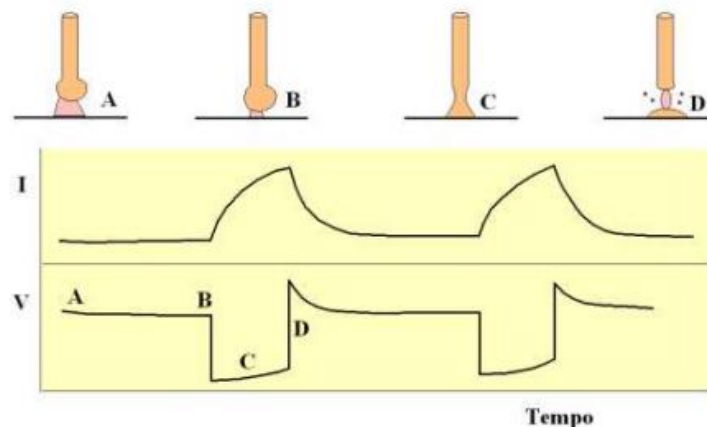
Segundo Fortes (2005), “basicamente o processo MIG/MAG inclui três técnicas distintas de modo de transferência de metal: curto-circuito (short arc), globular (globular) e aerossol (spray arc)”.

3.1.4.1 Transferência por curto circuito

A transferência metálica por curto circuito ocorre em processos que são realizados com baixos valores de corrente e comprimento do arco (tensão), sofre influência do diâmetro do eletrodo (arame) e pelo tipo de gás de proteção. A transferência ocorre quando a gota do material fundido na ponta do eletrodo entra em contato com o metal de base ocorrendo a transferência. Segundo Modenesi (2012), a cada segundo, cerca de 20 a 200 curtos circuitos podem ocorrer nesse tipo de transferência dependendo dos parâmetros operacionais.

Segundo Fortes (2005), devido aos baixos valores de corrente e tensão a soldagem utilizando esse tipo de transferência é indicado para materiais de menor espessura e na soldagem fora da posição plana. O comportamento da transferência por curto-circuito é distinguido em etapas, de acordo com a Figura 4.

Figura 4. Transferência por curto circuito.



Fonte: Modenesi (2012).

Conforme descreve Wickboldt (2014), é possível distinguir as fases do processo. No ponto A ocorre a alimentação do arame e aquecimento do metal de adição, no ponto B a gota de metal de adição está crescendo e aproxima-se da poça de fusão, no ponto C a gota toca a poça de fusão e a transferência de metal ocorre e o arco se extingue, no ponto D ocorre a religação do arco novamente. A transferência por curto circuito gera um nível grande de respingos, mas pode ser atenuada através do parâmetro de indutância da fonte de energia, é pelo fato do arco ser interrompido e reiniciado inúmeras vezes durante o processo, esse tipo de transferência é bastante instável.

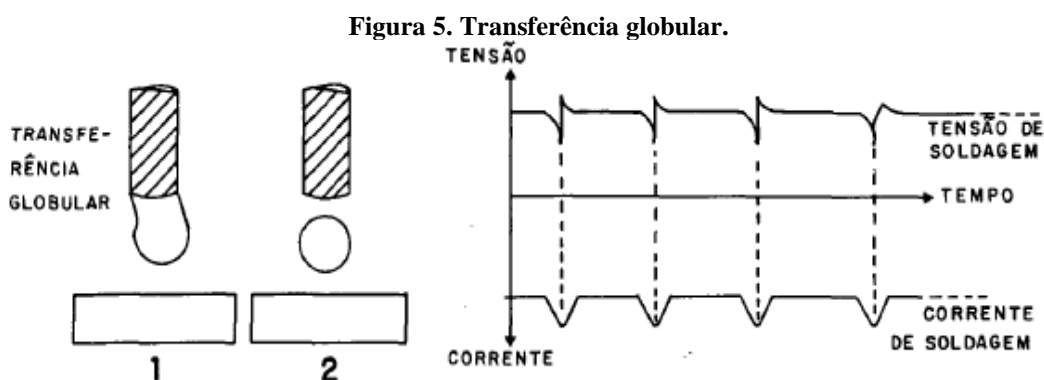
3.1.4.2 Transferência globular

Segundo Marques et al. (2011), o modo de transferência globular ocorre com valores médios de tensão e corrente no processo de soldagem resultando em arco mais estáveis com relação ao curto circuito. O tamanho do diâmetro das gotas do material de adição é comumente

maior que o próprio arame eletrodo, e isso está relacionado diretamente com a corrente, tendendo a diminuir com o aumento da mesma.

Conforme descreve Modenesi (2012), a transferência globular é comparada a uma torneira gotejando água, ou seja, o metal líquido formado permanece preso a ponta do arame por ação da tensão superficial, é conforme a gota de metal líquido aumenta em peso e tamanho acaba ocorrendo a separação da gota do arame finalizando a transferência para a poça de fusão com o auxílio da força da gravidade.

Como mencionado acima, a transferência globular depende do auxílio da gravidade para se concretizar, Figura 5, e por este fato, não é indicada para soldagem fora da posição plana, ocasionando pouca utilização deste modo de transferência, exceto para algumas aplicações em chapas finas de alumínio.



Fonte: Wainer et. al (2004).

3.1.4.3 Transferência por “spray” ou aerossol (goticular)

Segundo Marques et. al. (2011), a transferência por “spray” ou aerossol, ocorre quando se utiliza altos valores de corrente, os quais estejam acima da corrente de transição, ocasionando a mudança de transferência de globular para spray. As gotas de metal são produzidas em grande quantidade e têm tamanho menor que o diâmetro do eletrodo, conforme Figura 6.

Ainda de acordo com Marques et. al. (2011), nesse tipo de transferência não há ocorrência de respingos, é devido haver uma sobreposição de forças eletromagnéticas sobre a força da gravidade, em princípio isso facilita a soldagem em todas as posições. No entanto, como este tipo de transferência necessita de corrente elevadas, não é possível soldar chapas finas e sua utilização pode ser prejudicial na soldagem fora da posição plana. O gás ou mistura de gases de proteção utilizados são preminentemente os inertes, podendo haver misturas destes com outros em poucas porcentagens.

básicos, sendo eles: sensores ou transdutores, condicionamento de sinais, hardware de medição e um computador com software programável, conforme Figura 8.

Figura 8. Sistema simplificado de aquisição de dados.



Fonte: NATIONAL INSTRUMENTS (2013).

Um Sistema de Aquisição de Dados (SAD), pode ser entendido como desde apenas um instrumento até um grupo de componentes eletrônicos interligados atuando em conjunto, sendo destinado à medida e quantificação de sinais para análise ou processamento digital (VANDOREN, 1982, apud, BAPTISTA 1990).

Sistemas de aquisição de dados são dispositivos usados em instrumentação científica e englobam conjuntos de processos de coleta de sinais que medem condições físicas do mundo real e convertem os sinais coletados primeiramente em sinais elétricos e em seguida em valores numéricos digitais que podem ser armazenados por um computador para análise e tratamento posterior (MAURIZIO DI PAOLO, 2013, apud SILVA 2015).

3.3 ARDUINO

O projeto da placa e do software do Arduino foi desenvolvido no Interaction Design Institute em 2005 por Massimo Banzi juntamente com seu aluno David Mellis além dos professores David Cuarielles e Gianluca Martino da Universidade de Malmo na Suíça (EVANS, NOBLE e HOCHENBAUM, 2013, apud SANTOS 2015).

A plataforma Arduino, a princípio, tinha como objetivo ajudar no ensino dos alunos em assuntos básicos de eletrônica, através de uma plataforma de código aberto de baixo custo que proporcionasse o desenvolvimento mais facilitado de projetos práticos (SOUZA, 2013, apud RIBEIRO et al, 2017).

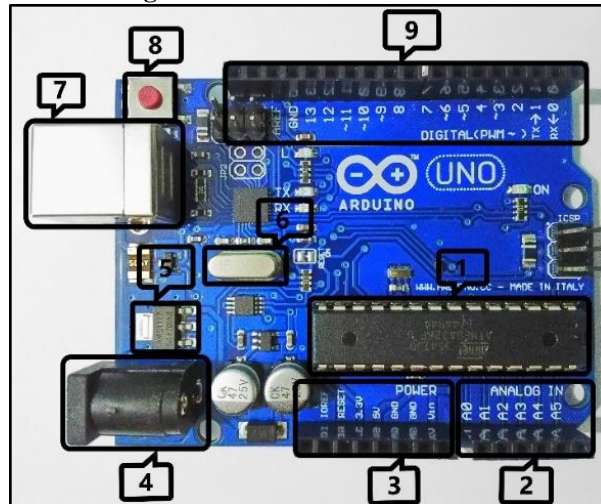
O Arduino é um tipo de microcontrolador que pode ser facilmente programado, agregando-se a ele diferentes tipos de sensores e atuadores, os quais serão controlados por portas de entrada e saída de dados específicas (MCROBERTS, 2011, apud SANTOS 2015).

O Arduino é composto por hardware e software, sendo o primeiro a placa sobre a qual estão dispostos os projetos (prototipagem) e o último se refere a parte lógica, no qual será feita a programação que nada mais é que a sequência de comandos para coordenar as funções que o Arduino vai executar depois (SOUZA, 2013, apud RIBEIRO et al, 2017).

3.3.1 Hardware

Segundo Melo (2012), o Arduino UNO R3 é uma plataforma contendo um pequeno circuito microcontrolado pelo chip ATmega328P, onde são colocados todos os componentes mínimos necessários, garantindo sua proteção e funcionamento para que este execute corretamente suas funções e se comunique com um computador, Figura 9.

Figura 9. Placa do Arduino UNO.



Fonte: Autoria própria.

Ainda de acordo com Melo (2012), os principais componentes da placa Arduino UNO R3 são:

1. **Microcontrolador ATmega328P:** é considerado o cérebro da placa, onde os programas são armazenados e posteriormente executados da forma como é requerido pelo usuário;
2. **Entradas Analógicas:** têm a função de ler o sinal de um sensor que mensura grandezas analógicas com a capacidade de convertê-lo em sinal digital;
3. **Entradas de Alimentação:** responsáveis em fornecer a tensão de saída necessária para cada sensor. Permitem tensão nos valores de 3,3 V, 5 V, 0 V (GND) e tensão da fonte conectada externamente pelo pino (*V_{in}*). **IOREF** fornece uma tensão de referência para que shields possam selecionar o tipo de interface apropriada, dessa forma shields que funcionam com as placas Arduino que são alimentadas com 3,3 V, podem se adaptar para ser utilizados em 5 V e vice-versa. O pino **RESET** pode ser utilizado para uma reinicialização externa da placa Arduino.
4. **DC Power Barrel Jack:** é usado para alimentar o Arduino com uma fonte de alimentação externa que pode variar de 6 a 20 V, porém segundo recomendações do fabricante é desejável a utilização de valores entre 7 e 12 V garantindo seu funcionamento contínuo corretamente. O valor de tensão da fonte conectada nesta entrada é o que aparece na porta *V_{in}*;

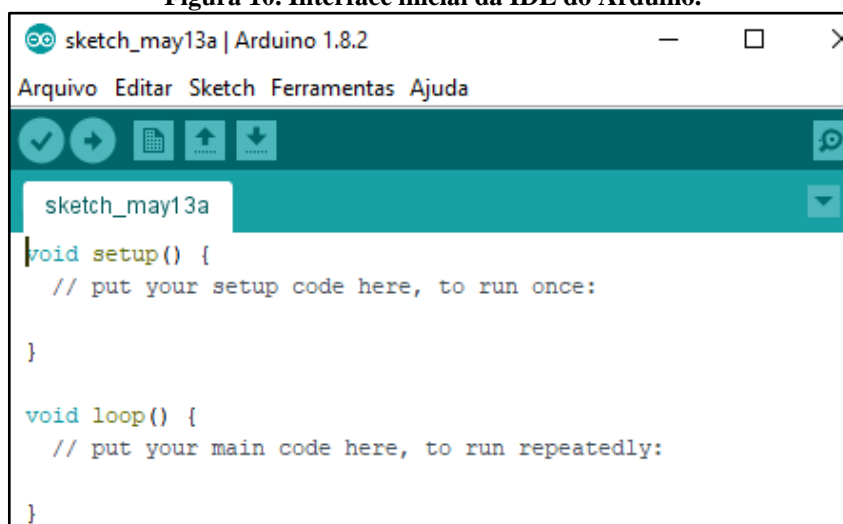
5. **Regulador de Tensão:** componente responsável em controlar o valor da voltagem de alimentação recebida na placa Arduino que funciona em 5 V;
6. **Cristal oscilador:** este componente tem a função de determinar a frequência na execução das tarefas solicitadas ao Arduino, que neste caso ocorrem em 16 MHz;
7. **Conexão USB:** permite simultaneamente a alimentação e troca de dados entre Arduino e um computador;
8. **Botão Reset:** quando pressionado tem a finalidade de reiniciar qualquer código que é carregado na placa Arduino UNO;
9. **Entradas/Saídas Digitais:** Os pinos 0 a 13 podem ser usados para entrada ou saída de sinais digitais.

3.3.2 Software

Segundo McRobert (2015), o IDE (Integrated Development Environment) é o que você vai usar para escrever o código para o seu Arduino, verificá-lo e fazer o upload dele para a sua placa.

De acordo com McRobert (2015), quando pressionado o botão upload da IDE, o código escrito é traduzido para a linguagem C e transmitido para o compilador, que realiza a tradução dos comandos para uma linguagem que pode ser compreendida pelo microcontrolador, Figura 10.

Figura 10. Interface inicial da IDE do Arduino.



Fonte: Autoria Própria.

3.3.3 Memória

Melo (2012) destaca algumas informações sobre a memória do Arduino:

- O ATmega328P possui 32 kB de memória flash (armazenamento dos programas);
- 2 kB de SRAM (armazenamento das variáveis);

- 1 kB de EEPROM (armazenamento de dados permanentemente).

3.4 SENSORES E TRANSDUTORES

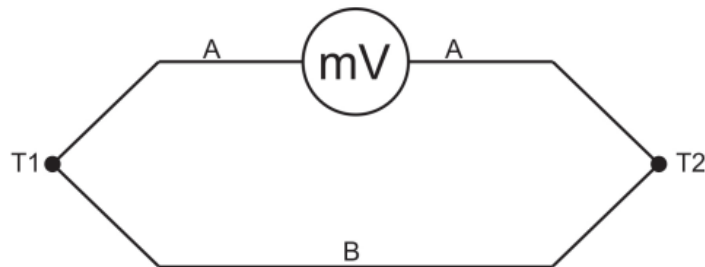
De acordo com Grando (2013), sensores e transdutores são os elementos responsáveis em fazer a conexão direta entre o mundo real e o sistema de aquisição de dados. Estes dispositivos respondem aos estímulos físicos de uma maneira específica, dessa forma grandezas físicas tais como temperatura, radiação solar, vibração, vazão entre outros, são convertidas em grandezas elétricas (tensões, correntes) permitindo a sua leitura pelo sistema de medição.

3.4.1 Termopar

Segundo Oliveira (2008), o princípio de medição da temperatura é definido em função da tensão elétrica gerada a partir do diferencial de temperatura em dois terminais do termopar

Fernandes (2012) afirma que a medição de temperatura com termopares se baseia no “Efeito Seebeck”. Thomas Johann Seebeck foi o físico que descobriu em 1821 que em um circuito fechado composto de dois metais distintos A e B, com as junções a duas temperaturas diferentes T1 e T2, aparece uma força eletromotriz que é diretamente proporcional a diferença entre as temperaturas T1 e T2, conforme Figura 11.

Figura 11. Representação básica de um termopar.



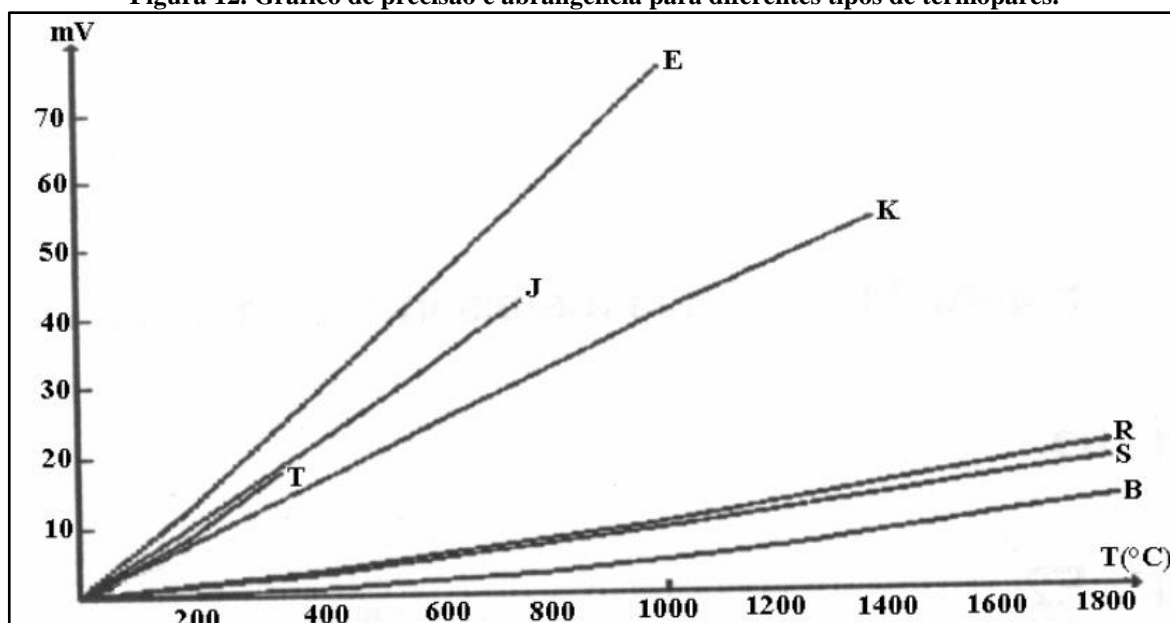
Fonte: SENSE 2015.

Segundo Fernandes (2012), existem diferentes tipos de termopares, que se classificam em função dos metais e do calibre dos fios utilizados. Os tipos mais comuns de termopares são identificados através de letras (T, J, K, E, N, R, S, B), originalmente atribuídas pela Instrument Society of America (ISA).

- Metal nobre (R, S, B): Contêm platina, possuem um custo mais elevado que se justifica devido a composição de material nobre e apresentam considerável precisão dada à grande homogeneidade e pureza de seus condutores termelétricos;
- Metal base (K, J, N, E, T): Contêm níquel e são os termopares de maior uso industrial, pelo motivo que os condutores são de custo relativamente baixo e sua aplicação admite um limite de erro maior;
- Termopares não definidos por letras.

Para Fernandes (2012), o tipo de material presente na composição do termopar influencia na sua precisão e limites de temperatura medidas, conforme Figura 12.

Figura 12. Gráfico de precisão e abrangência para diferentes tipos de termopares.



Fonte: Fernandes 2012.

3.4.1.1 Termopar Tipo K

De acordo com Oliveira (2008), os termopares do tipo K são recomendados para uso contínuo em atmosferas inertes ou oxidantes em temperaturas que varie entre -200 °C até 1260 °C, Tabela 1. Apresentam resolução apreciável para a maioria das aplicações industriais e em conjunto com seu custo relativamente baixo faz com que sua utilização seja bastante explorada em diversas áreas.

Tabela 1. Tipos de termopares, faixa de temperatura e voltagem.

Tipo	Faixa de Temperatura (°C)	Faixa de voltagem (mV)
T (Cobre - Constantan)	-185 a 400	-5.284 a 20.805
J (Ferro - Constantan)	-185 a 870	-7.52 a 50.05
K (Cromel - Alumel)	-200 a 1260	-6,458 a 48,838
E (Cromel - Constantan)	0 a 980	0 a 75.12
N (Nicrosil - Nisil)	-270 a 1300	-4.345 a 47.502
S (Platina 10% Ródio – Platina)	0 a 1535	0 a 15.979

R (Platina 13% Ródio - Platina)	0 a 1590	0 a 18.636
Platina 30% Ródio – Platina	38 a 1800	0.007 a 13.499
Platinel 1813 – Platinel 1503	0 a 1300	0 a 51.1
Írídio – 60% Ródio 40% Írídio	1400 a 1830	7.30 a 9.55
Tungstênio 3% Rênio – Tungstênio 25% Rênio	10 a 2200	0.064 a 29.47
Tungstênio – Tungstênio 26% Rênio	16 a 2800	0.042 a 43.25
Tungstênio 5% Rênio – Tungstênio 26% Rênio	0 a 2760	0 a 38.45

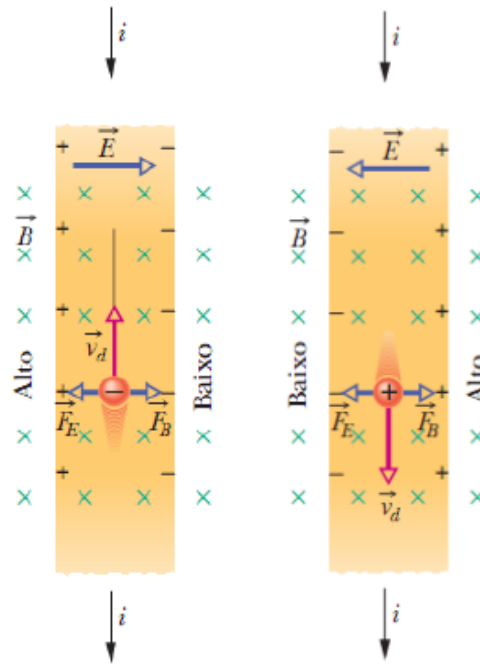
Fonte: Oliveira (2008).

Segundo Oliveira (2008) o termopar tipo K pode ser utilizado em atmosferas inertes e oxidantes. Devido a sua característica de alta resistência à oxidação é utilizado em temperaturas superiores a 600°C, e ocasionalmente em temperaturas abaixo de 0 °C. O termoelemento positivo é o cromel (Ni90% Cr10%) e o negativo é o alumel (Ni95% Mn2% Si1% Al2%). A faixa de utilização é de -200 °C a 1260 °C e a f.e.m. produzida varia entre -6,458 mV a 48,838 mV.

3.4.2 Transdutor de efeito Hall

Segundo Halliday e Resnick (2013) o efeito Hall observado em 1987 por Edwin H. Hall, ocorre quando elétrons que se movem no interior de um condutor são desviados por um campo magnético perpendicular ao sentido deste deslocamento, conforme Figura 13.

Figura 13. Fita de cobre percorrida por uma corrente (i).



Fonte: Halliday e Resnick (2013).

De acordo com Halliday e Resnick (2013) uma força magnética \vec{F}_B age sobre os elétrons, desviando-os para o lado direito da fita, Equação 1. A separação das cargas positivas e negativas produz um campo elétrico \vec{E} no interior da fita que aponta para a direita que por sua vez exerce uma força \vec{F}_e sobre os elétrons que tende a desviá-los para a esquerda em oposição a força magnética.

$$\vec{F}_B = q(\vec{v}_d \times \vec{B}) \quad (1)$$

Onde:

\vec{F}_B = força magnética (N);

q = carga elétrica (C);

v = velocidade da carga (m/s);

B = campo magnético (T).

Segundo Halliday e Resnick (2013) isto ocorre até que as forças elétrica e magnética se equilibrem e sendo assim entre as bordas da fita está associada uma diferença de potencial de Hall, conforme Equação 2.

$$V = E \cdot d \quad (2)$$

Onde:

V = Diferença de potencial de Hall;

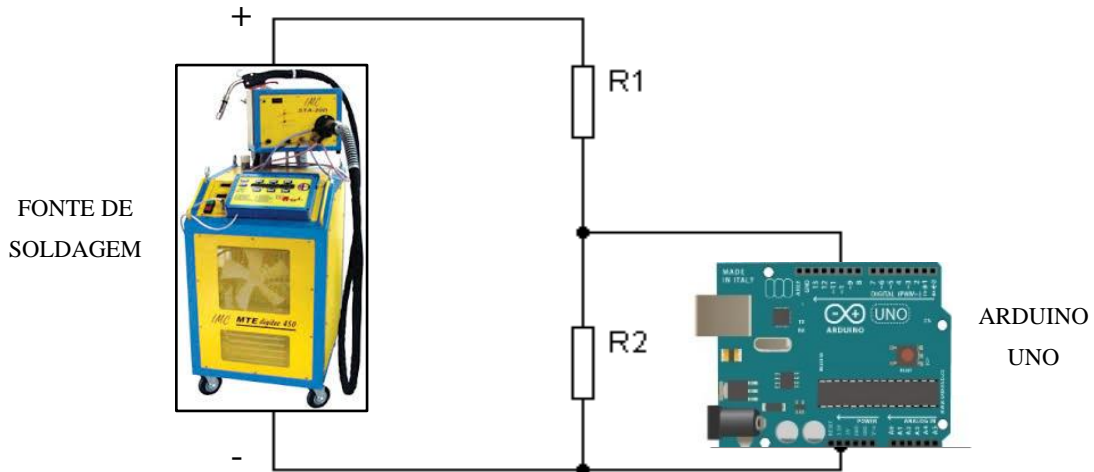
E = Campo elétrico;

d = Largura da fita.

3.4.3 Divisor de tensão resistivo

Para aquisição dos valores de tensão foi recorrido a utilização de um divisor de tensão resistivo que de forma simples consiste na associação série de resistores devidamente calculados com base nos limites dos equipamentos do projeto, Figura 14.

Figura 14. Esquema do divisor de tensão.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com Costa, Guimarães e Resende (2017), divisores de tensão em conjunto com Arduino funcionam como voltímetros que por sua vez são utilizados como medidores de tensão. O resistor R2 deve ser ligado entre uma porta analógica e o GND do Arduino UNO, variando sua tensão de 0 a 5 V, enquanto os resistores R1 e R2 associados em série estão ligados entre os terminais positivo e negativo da fonte.

Segundo Pires (2007), o cálculo dos resistores deve se aplicar a primeira lei de Ohm e a lei de Kirchhoff para malhas fechadas, conforme Equação 3.

$$v_{arduino} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_{fonte} \quad (3)$$

Onde:

$v_{arduino}$ = Tensão do arduino;

R_1 = Resistência do resistor 1;

R_2 = Resistência do resistor 2;

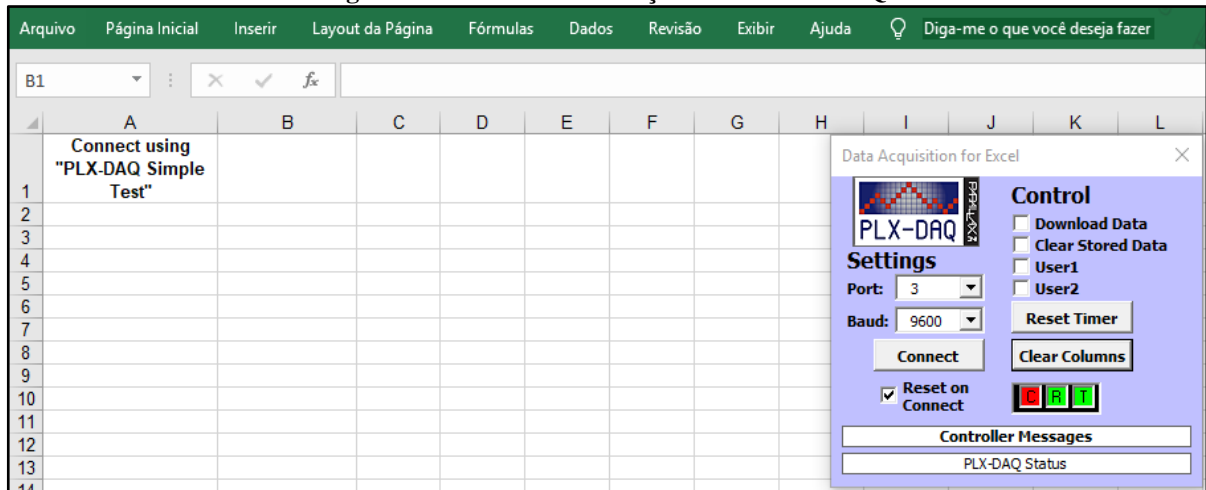
v_{fonte} = Tensão da fonte de soldagem.

A tensão nas portas analógicas do Arduino mede até 5 V e se deseja medir tensão da fonte de soldagem de até 70 V, além disso devem ser selecionados preferencialmente valores elevados de resistência para garantir a medição correta da queda de tensão no resistor R2 e impedir que altas correntes circulem pela placa do Arduino.

3.5 PLX-DAQ

Segundo Silva (2014), Parallax Data Acquisition tool é uma ferramenta de software add-in gratuita para a Microsoft Excel. Adquire até 26 canais de dados recolhidos por microcontroladores e organiza os números em colunas dentro de uma planilha em tempo real. O que possibilita a montagem de gráficos, cálculos e outras análises de acordo com o usuário, bastando apenas programar linhas de código dentro do Arduino, Figura 15.

Figura 15. Tela de comunicação com o PLX-DAQ.



Fonte: Autoria própria.

Segundo Cavalcante et al (2014), o PLX-DAQ está disponível somente para sistema operacional Windows e sua utilização facilita o recolhimento de dados de sensores analógicos ou digitais que vão sendo armazenados em uma planilha, possuindo os comandos básicos listados abaixo:

LABEL: usado para definir os títulos das colunas. O formato do comando é: `Serial.println("LABEL, INT_COLUMN");`

DATE, TIME permite que a porta serial envie dados para o Excel. O primeiro campo é sempre o tempo, sendo os campos de interesse (val). O formato do comando é: `Serial.print("DATE, TIME"); Serial.println(val);`

ROW, SET, k, permite que você defina a próxima linha para escrever. É útil se você quer plotar dados n e depois voltar para a primeira linha do ciclo, de modo a evitar um gráfico muito grande. O formato do comando é: `Serial.println(ROW, SET, 2)`, colocar o cursor na segunda linha próxima etapa.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

4.1.1 Arduino UNO

Este componente pode ser considerado o cérebro do sistema e tem a função de receber as informações obtidas pelos sensores e com auxílio de uma conexão USB exibir estes valores no monitor de um computador onde podem ser visualizados e armazenados, Figura 16.

Figura 16. Arduino UNO.

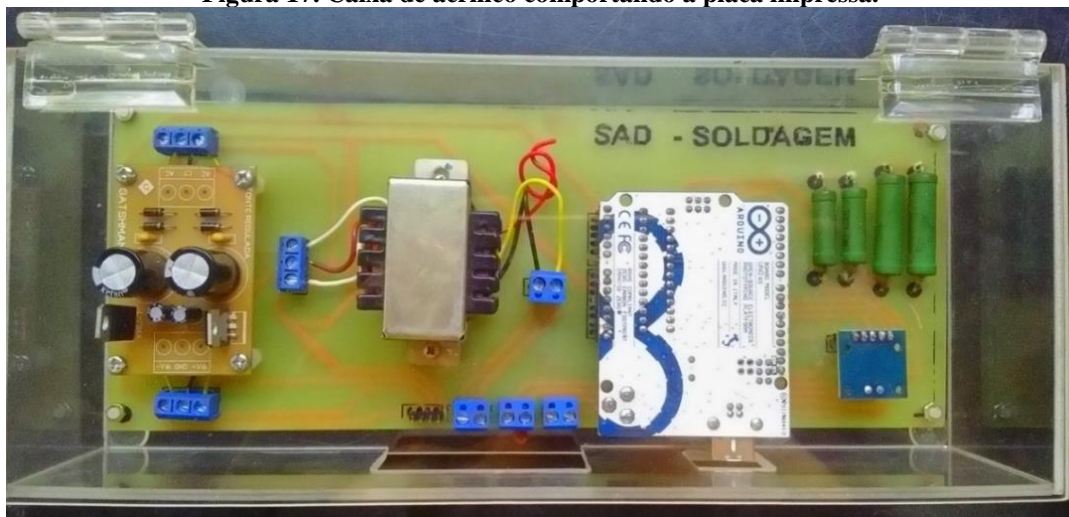


Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Caixa em acrílico

Confeccionada com o objetivo de proteger a placa de fenolite e demais componentes do sistema, Figura 17.

Figura 17. Caixa de acrílico comportando a placa impressa.



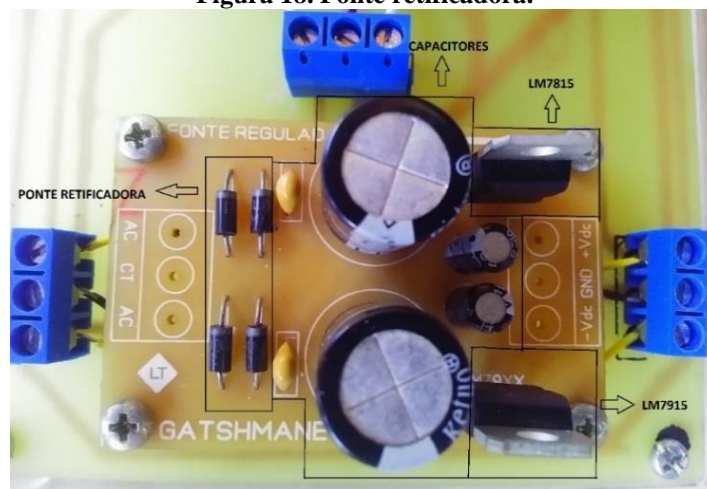
Fonte: Autoria própria.

4.1.3 Fonte retificadora simétrica ± 15 V

Componente responsável em receber a energia elétrica do transformador em corrente alternada a 15 V e retificá-la em corrente contínua simétrica em ± 15 V com o fim de alimentar o sensor de corrente.

A retificação é feita através de uma ponte retificadora de diodos que conta com auxílio de capacitores para reduzir o fenômeno conhecido como tensão de Ripple. Os valores de +15 V e -15 V são alcançados graças a presença dos reguladores de tensão LM7815 e LM7915 respectivamente, conforme Figura 18.

Figura 18. Fonte retificadora.

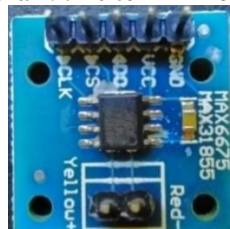


Fonte: Autoria própria.

4.1.4 Leitor de termopar MAX31855

Auxilia na leitura do valor de temperatura enviado do termopar ao Arduino, uma vez que os valores de saída do termopar sem este componente variam entre -6 a 48 mV, valor considerado muito baixo para ser lido diretamente. Sendo assim é necessário a utilização do leitor de termopar especificado, que atua como um conversor digital direto permitindo uma leitura correta pelo microcontrolador, Figura 19.

Figura 19. Leitor MAX31855.

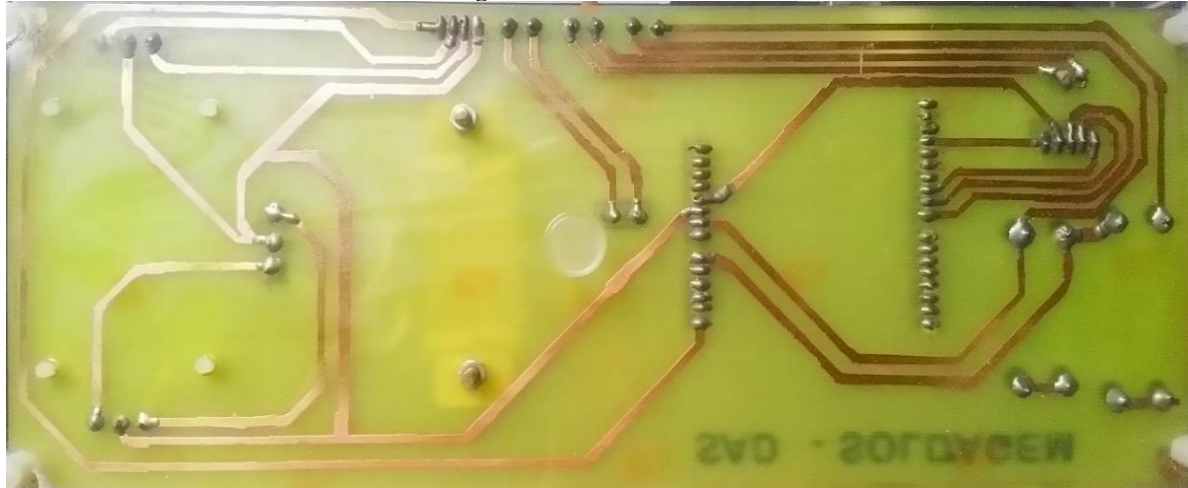


Fonte: Autoria própria.

4.1.5 Placa de fenolite com superfície cobreada

Possui a finalidade de permitir a conexão física entre o Arduino UNO e demais componentes periféricos que integram o sistema, desta forma permitindo o fluxo de eletricidade e informações entre estes, conforme Figura 20.

Figura 20. Placa trilhada.



Fonte: Autoria própria.

4.1.6 Resistores

Compõem o circuito de um divisor de tensão resistivo e funcionam de forma semelhante a um voltímetro, conforme Figura 21.

Neste trabalho foram utilizados dois resistores associados em série de $15\text{ k}\Omega$ cada um, totalizando $30\text{ k}\Omega$ que representam a resistência equivalente R_1 , além de outros dois resistores também associados em série de $820\ \Omega$ cada e que correspondem a resistência equivalente R_2 com valor total de $1,64\text{ k}\Omega$.

Figura 21. Resistores.



Fonte: Autoria própria.

Substituindo os valores de R_1 e R_2 na Equação 3 é possível determinar o valor máximo de tensão suportado pelo divisor resistivo.

$$v_{arduino} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_{fonte} \quad (3)$$

Onde:

$$v_{arduino} = 5 V;$$

$$R_1 = 30 k\Omega;$$

$$R_2 = 1,64 k\Omega;$$

Manipulando algebricamente a Equação 3 e isolando v_{fonte} tem-se o seguinte resultado:

$$v_{fonte} = \frac{v_{arduino}}{R_2} \cdot (R_1 + R_2)$$

Substituindo as variáveis na expressão:

$$v_{fonte} = \frac{5}{1640} \cdot (30000 + 1640)$$

$$v_{fonte} = 96,5 V$$

Cálculo da constante de relação, Equação 4:

$$R = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (4)$$

Substituindo os valores de R_1 e R_2 , temos:

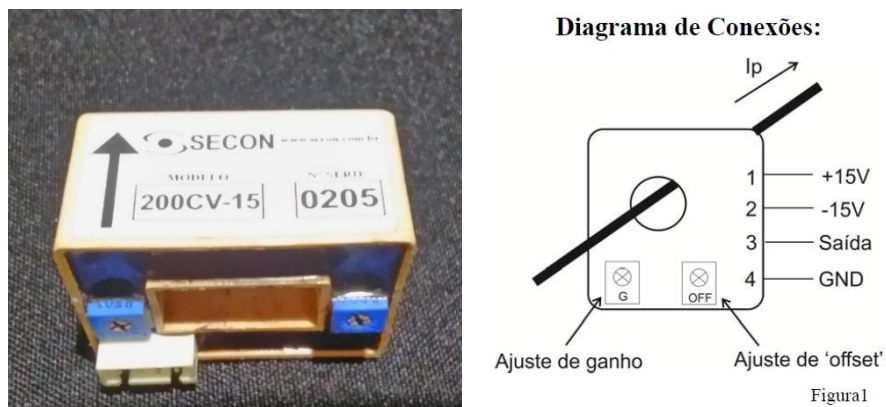
$$R = \frac{30000 + 1640}{1640}$$

$$R = 19,3$$

4.1.7 Sensor de corrente

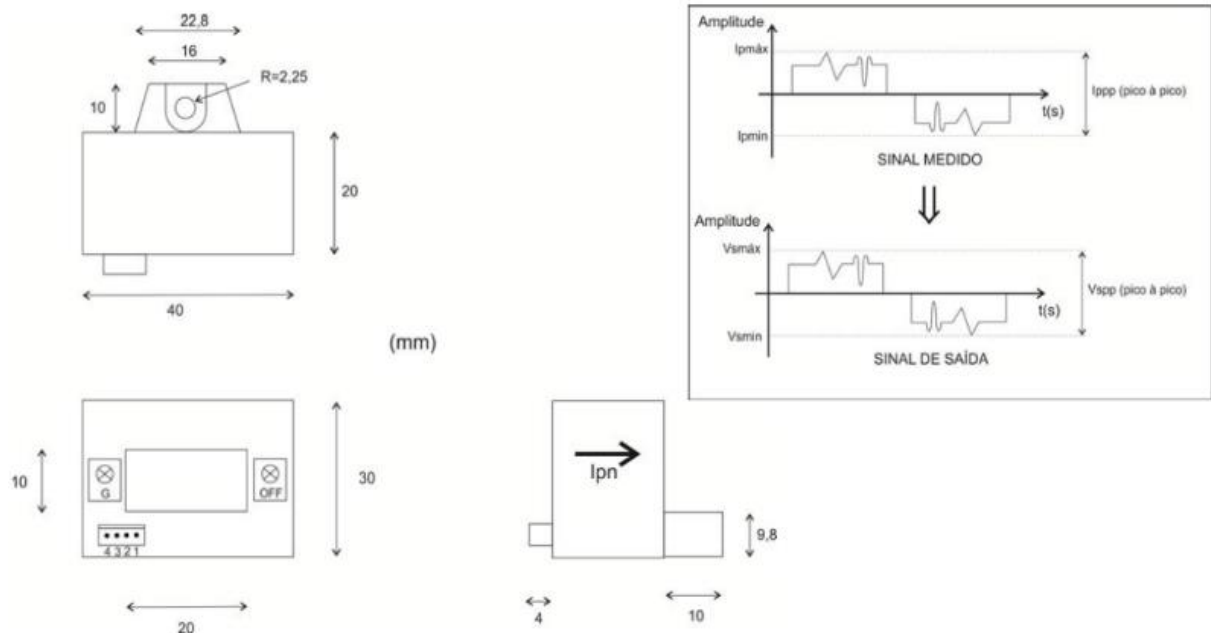
Este sensor fabricado pela SECON, modelo 200CV-15, atua através do efeito Hall, sendo capaz de medir corrente contínua ou alternada com valor máximo de 400 A, (Figuras 22 e 23).

Figura 22. Sensor de corrente 200CV-15 e seu diagrama de conexões.



Fonte: Autoria própria.

Figura 23. Dimensões físicas do sensor de corrente.



Todas as dimensões em milímetros

Fonte: Autoria própria.

4.1.7.1 Características técnicas do sensor 200CV-15V:

Faixa de medida (I_p): ± 400 A ou 800 App;

Erro: $\pm 1\%$ da corrente nominal;

Tempo de resposta: $\leq \mu\text{s}$;

Tensão de alimentação: ± 15 V;

Temperatura de operação: -10 °C a 70 °C;

Consumo: 25 mA;

4.1.8 Termopar tipo K

Destinado à aquisição de temperatura o termopar utilizado neste trabalho atua na faixa de -200 a 1250 °C, que é suficiente para auxiliar na análise da curva de resfriamento de uma chapa metálica submetida a processo de soldagem a arco voltaico, Figura 24.

Figura 24. Termopar tipo K.

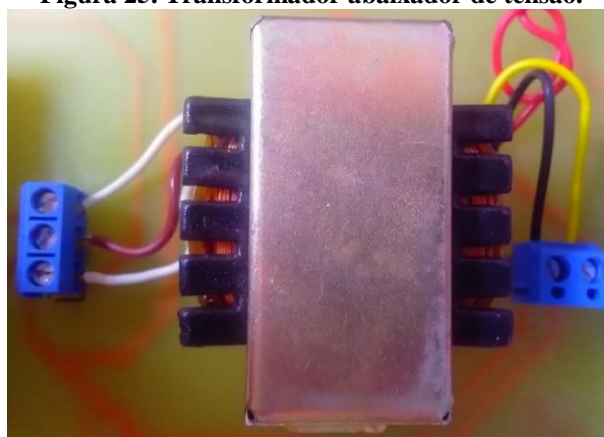


Fonte: Autoria própria.

4.1.9 Transformador abaixador de tensão (127 V ou 220 V/15 V)

Tem a finalidade de receber a tensão alternada da rede de energia elétrica em 127 ou 220 V_{AC} e reduzir para 15 V_{AC} , ou seja, atuando como um redutor de tensão, Figura 25.

Figura 25. Transformador abaixador de tensão.



Fonte: Autoria própria.

A conexão feita com os condutores preto e amarelo são destinados a tensão de 127 V, enquanto a conexão entre os condutores preto e vermelho correspondem a tensão de 220 V.

4.1.10 Orçamento do projeto:

Na Tabela 2 são exibidos os valores dos equipamentos adquiridos para a elaboração do projeto, bem como seu valor total.

Tabela 2. Custo na aquisição de equipamentos e serviços.

Componente	Valor (R\$)
------------	-------------

Arduino UNO	55,00
Caixa de acrílico	80,00
Fonte retificadora + transformador	75,00
Leitor MAX 31855	61,70
Placa de fenolite	50,00
Resistores	10,00
Sensor de corrente 200CV-15	214,77
Termopar tipo K	72,90
TOTAL	619,37

Fonte: Autoria própria.

4.2 MÉTODO EXPERIMENTAL

4.2.1 Medição de corrente elétrica

Realizada com um dos condutores passando no interior da janela do sensor de corrente, observando-se o sentido indicado pela seta, que aponta do polo negativo em direção ao polo positivo por se tratar de corrente contínua, Figura 26.

Figura 26. Posicionamento do sensor de corrente.



Fonte: Autoria própria.

4.2.2 Medição de tensão

A medição de tensão é obtida através da conexão do divisor de tensão em paralelo com a fonte, levando-se em consideração que o conector do polo negativo e positivo seguem uma sequência específica de conexão, pois o polo negativo (condutor preto) deve ser conectado a resistência equivalente R_2 , enquanto o polo positivo (condutor vermelho) é conectado juntamente a resistência equivalente R_1 , Figura 27.

Figura 27. Conexões entre divisor de tensão e fonte.

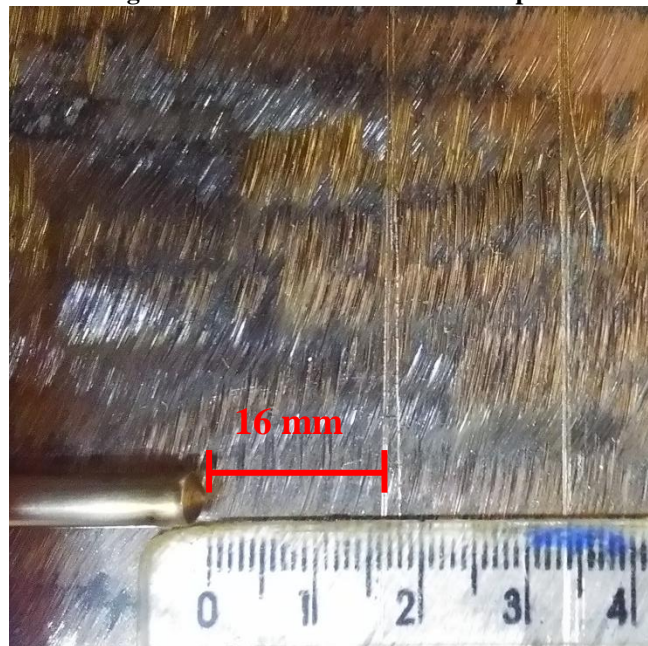


Fonte: Autoria própria.

4.2.3 Medição de temperatura

A extremidade do termopar foi posicionada a aproximadamente 16 mm da linha de referência, conforme Figura 28, para execução do cordão de solda, medindo uma temperatura pontual que chega ao valor de pico no instante em que o eletrodo está alinhado ao termopar.

Figura 28. Posicionamento do termopar.



Fonte: Autoria própria.

4.2.4 Programação

Executada no Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE), a programação do Sistema de Aquisição de Dados é quem determina a forma de interação entre os sensores e Arduino além de promover a integração entre Arduino e PLX-DAQ, garantindo o envio de

informações na forma de tabelas e gráficos a uma planilha específica no Microsoft Excel, (Figuras 29, 30, 31, 32 e 33).

Figura 29. Inclusão de bibliotecas e definição de pinos.

```
//Código completo
//*****
#include <SPI.h> //Bibliotecas para termopar
#include "Adafruit_MAX31855.h" //
//*****
//definindo pinos pro leitor de termopar *****
#define DO 8
#define CS 9
#define CLK 10

Adafruit_MAX31855 termopar(CLK, CS, DO);
```

Fonte: Autoria própria.

Figura 30. Variáveis para a medição de tensão.

```
//Declaração de variáveis para o divisor de tensão *****
float tensaoA0;
float aRef=5;
float relacaoA0=19.3;
#define AMOSTRAS 12
```

Fonte: Autoria própria.

Figura 31. Nomeação das tabelas exibidas no Excel.

```
void setup() {
  // Inicio Excel
  Serial.begin(9600); // inicialização da comunicação serial
  delay(500);
  Serial.println("CLEARDATA"); // Reset da comunicação serial
  Serial.println("LABEL,Hora,Corrente (A),Tensao (V),Temperatura (C),linha"); //
  // Fim excel
}
```

Fonte: Autoria própria.

Figura 32. Medição de tensão.

```
//Funções que serão usadas para a leitura de TENSÃO *****
float lePorta(uint8_t portaAnalogica) { //
float total=0; //
for (int i=0; i<AMOSTRAS; i++) { //
  total += 1.0 * analogRead(portaAnalogica); //
  delay(5); //
} //
return total / (float)AMOSTRAS; //
} //
//Segunda função que envia para o serial a tensao ***** //
void mostraTensoes() { //
  Serial.print(tensaoA0 * relacaoA0); //
} //
```

Fonte: Autoria própria.

Figura 33. Organização das variáveis a serem exibidas no Excel.

```

void loop() {

// fazendo a leitura de corrente *****
int corrente = analogRead(senCor); //fazendo a leitura do sensor
corrente = corrente/50; // Vs = Ip/50
valor = corrente;

// Saida usando serial que vai pro excel *****
linha++; // incrementa a linha do excel para que a leitura pule de linha em linha

Serial.print("DATA,TIME,"); //inicia a impressão de dados, sempre iniciando
Serial.print(valor); //mostra valor da corrente
Serial.print(","); //pula para a próxima tabela
// Leitura de tensao *****
tensaoA0 = (lePorta(A0) * aRef) / 1024.0; //faz a leitura da através da chada
mostraTensoes(); //faz a chamada da função pra enviar pro serial
//*****
Serial.print(","); //pula para a próxima tabela
Serial.println(temperatura.readCelsius()); //imprimindo a temperatura em C°
Serial.print(","); //pula para a próxima tabela
Serial.println(linha); //imprime a linha

if (linha > 200) //laço para limitar a quantidade de dados
{
    linha = 0;
    Serial.println("ROW,SET,2"); // alimentação das linhas com os dados sempre iniciando
}
delay(250); // espera 250 milissegundos
}

```

Fonte: Autoria própria.

4.2.5 Calibração através da programação

Este Sistema de Aquisição de Dados possibilita a calibração dos sensores através de ajustes na programação.

4.2.5.1 Calibração da tensão

A calibração de tensão pode ser realizada, com auxílio de um multímetro, através da medição dos valores das resistências equivalente R_1 e R_2 para determinar o valor da constante de relação R , conforme mostrado na Equação 4.

Após a obtenção do novo valor da constante de relação é preciso substituí-la na programação, onde a constante é chamada de relação A0, conforme mostrado na Figura 30.

4.2.5.2 Calibração da corrente

Com auxílio de um medidor de corrente como referência e ajustando a Equação 5, fornecida pelo fabricante do sensor de corrente, é possível fazer a calibração desta variável a ser coletada.

$$V_S = \frac{4}{200} \cdot I_P \quad (5)$$

O valor corrigido da equação deve ser substituído na programação onde é feita a referência à medição de corrente, Figura 34.

Figura 34. Equação do sinal de saída do sensor de corrente.

```
// fazendo a leitura de corrente *****
int corrente = analogRead(senCor); //fazendo a leitura do sensor
corrente = corrente/50; // Vs = Ip/50
valor = corrente;
```

Fonte: Autoria própria.

4.2.5.3 Calibração da temperatura

Para a calibração de temperatura é necessário realizar as alterações na exibição dos valores coletados pelo termopar, o qual é referido na programação como (termopar.readCelsius()), conforme Figura 35, além de um termopar devidamente calibrado como referência.

Figura 35. Aquisição dos valores de temperatura.

```
Serial.print(","); //pula para a próxima tabela
Serial.println(termopar.readCelsius()); //imprimindo a temperatura em C°
Serial.print(","); //pula para a próxima tabela
Serial.println(linha); //imprime a linha
```

Fonte: Autoria própria.

4.2.6 Experimentos realizados

Os experimentos para validação do Sistema de Aquisição de Dados foram realizados no Laboratório de Soldagem da Universidade Federal do Pará, Campus Tucuruí, através dos processos eletrodo revestido e MAG.

Foram realizados três experimentos com o processo Eletrodo Revestido, variando-se o tipo de eletrodo, diâmetro e corrente, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Especificações dos parâmetros utilizados no processo Eletrodo Revestido.

Experimento	Tipo de Eletrodo	Diâmetro (mm)	Corrente (A)	Revestimento
1	E6013	2,5	30	Rutílico
2	E6013	2,5	70	Rutílico
3	E7018	3,25	120	Básico

Fonte: Autoria própria.

Para a realização dos experimento com o processo MAG foi utilizado como gás de proteção o gás carbônico (CO_2) em três valores de tensão com os demais parâmetros fixados, Tabela 4.

Tabela 4. Especificação dos parâmetros utilizados no processo MAG.

Experimento	Eletrodo	Vazão do gás (l/min)	Velocidade do Arame (m/min)	Diâmetro do Arame (mm)	Tensão (V)
1	ER70S	14,0	3,0	1,2	10
2					20

Fonte: Autoria própria.

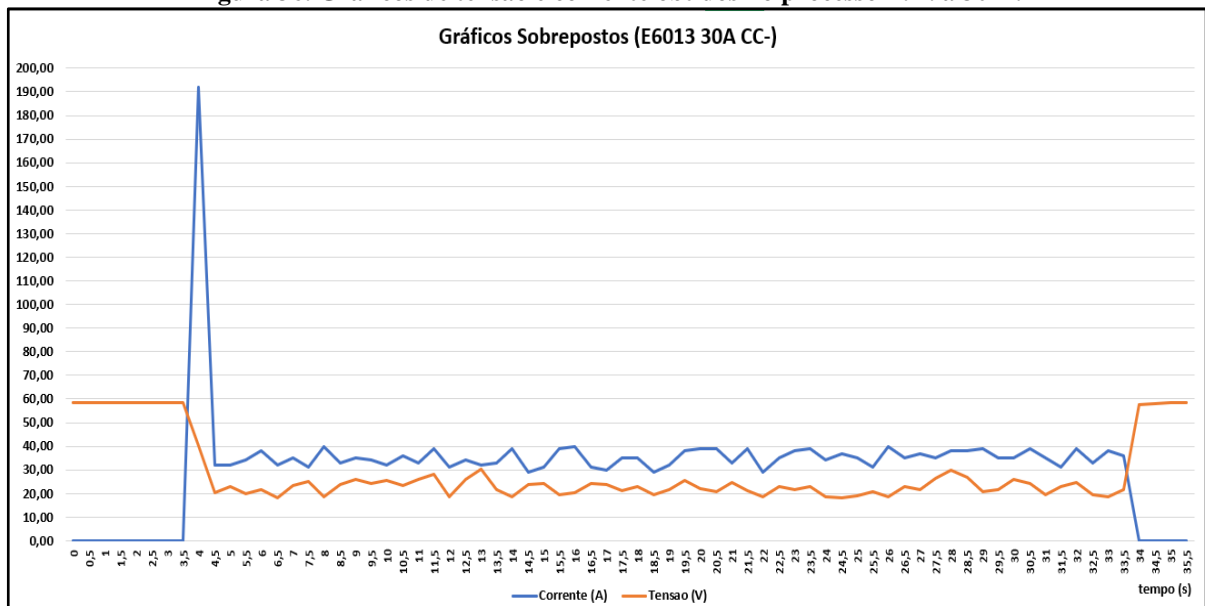
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 EXPERIMENTOS COM ELETRODO REVESTIDO

- **Experimento 1:**

No experimento a 30 A foi identificável uma dificuldade em executar o cordão de solda, os gráficos obtidos para tensão e corrente mostram a instabilidade do processo por meio de oscilações excessivas em ambas grandezas coletadas, além da detecção de um pico de corrente de (192 A) ocorrido no início do processo e que também pode ser justificado pela operação de soldagem ser executada manualmente, Figura 36.

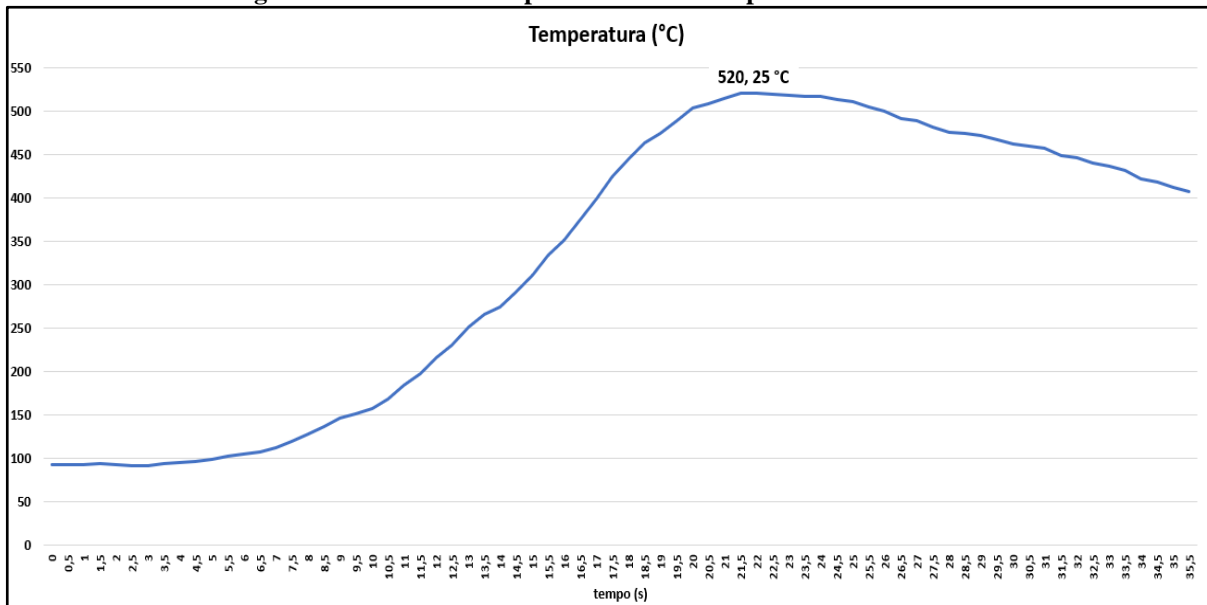
Figura 36. Gráficos de tensão e corrente obtidos no processo E.R. a 30 A.



Fonte: Autoria própria.

O gráfico de temperatura, Figura 37, mostra o valor máximo de (520,25 °C), como era de se esperar, o menor valor de pico observado nos experimentos em função da menor corrente.

Figura 37. Gráfico de temperatura obtido no processo E.R. a 30 A.

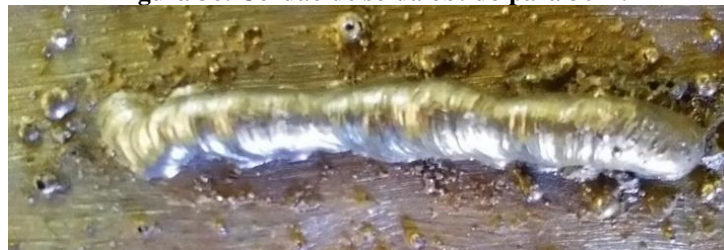


Fonte: Autoria própria.

Em relação aos demais, este cordão apresentou a maior quantidade de defeitos, como a falta de fusão e elevado nível de respingos, conforme Figura 38.

A instabilidade do processo é justificada pelo tipo de transferência metálica e principalmente pelo baixo valor de corrente que é inferior ao mínimo indicado pelo fabricante do eletrodo, o qual deve estar na faixa de 50 – 80 A.

Figura 38. Cordão de solda obtido para 30 A.

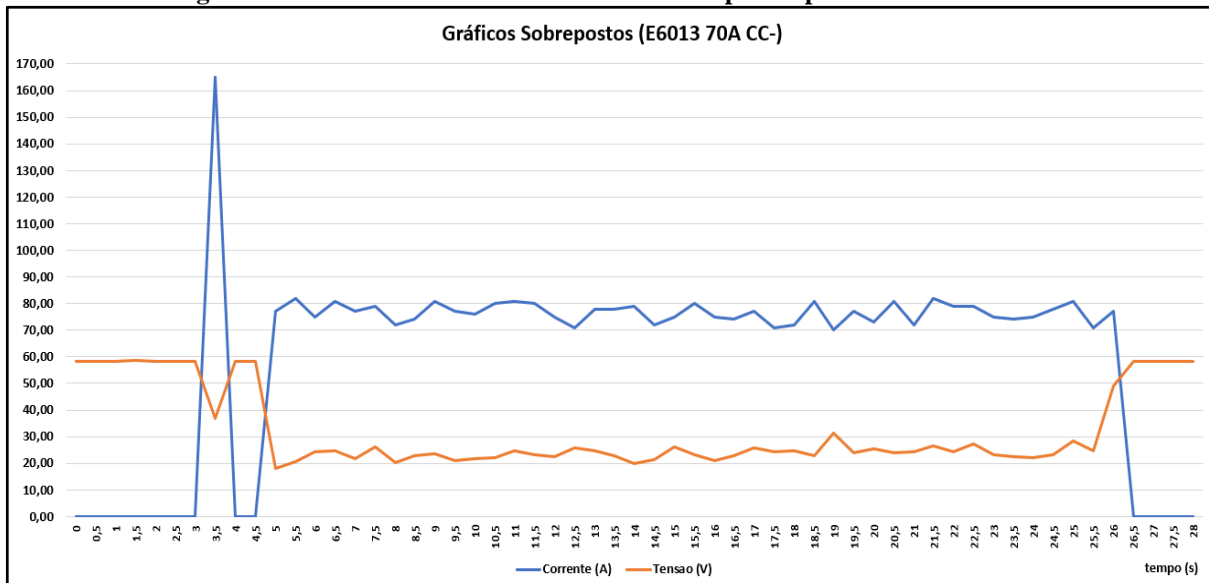


Fonte: Autoria própria.

- **Experimento 2:**

Neste experimento também foi observado um pico de corrente (165 A), ocasionado pela instabilidade inicial do processo, Figura 39. O comportamento do gráfico sobreposto de tensão e corrente por apresentar poucas oscilações indica um processo equilibrado após a estabilização do arco.

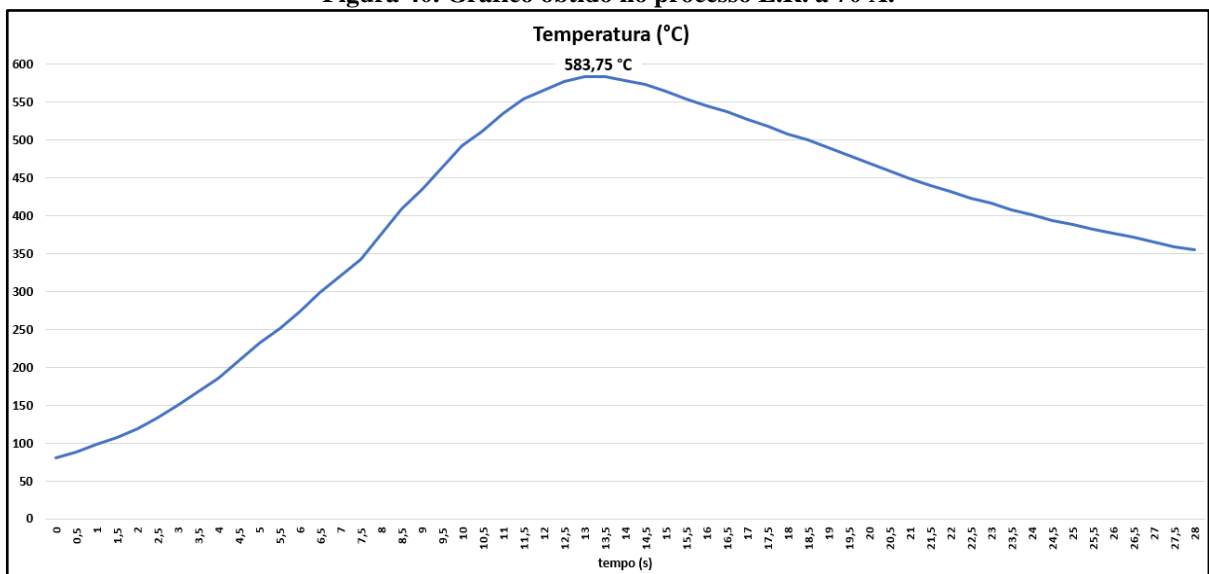
Figura 39. Gráficos de tensão e corrente obtidos para o processo E.R. a 70 A.



Fonte: Autoria própria.

O gráfico de temperatura obtido para o experimento a 70 A, apresentou valor máximo de (583,75 °C), resultando em melhorias na fusão do metal de base em relação ao experimento a 30 A, conforme Figura 40.

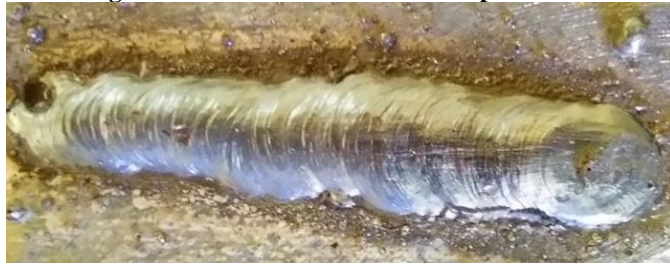
Figura 40. Gráfico obtido no processo E.R. a 70 A.



Fonte: Autoria própria.

O cordão de solda apresentou ótima aparência, gerando poucos respingos e estabilidade do arco ao decorrer do processo, conforme Figura 41. As características finais do cordão são resultado do controle adequado do comprimento de arco e escolha dos parâmetros de soldagem.

Figura 41. Cordão de solda obtido para 70 A.

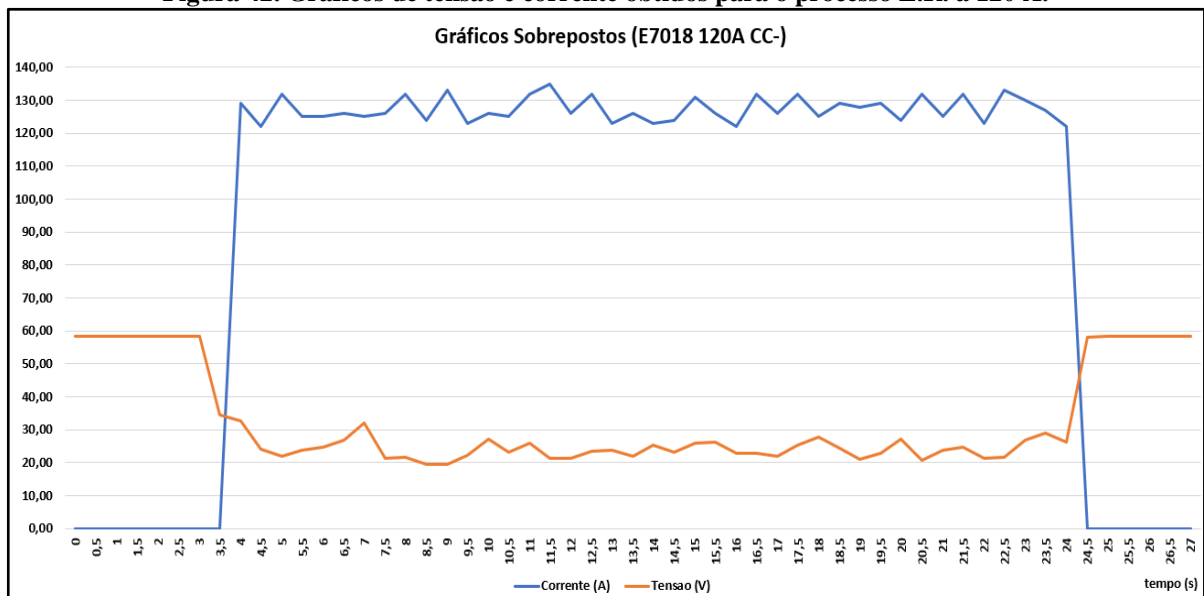


Fonte: Autoria própria.

- **Experimento 3:**

A operação de soldagem a 120 A foi executada com facilidade de estabilização do arco, que graficamente pode ser observada nas curvas de tensão e corrente, conforme Figura 42, as quais apresentaram poucas oscilações ao decorrer de todo o processo.

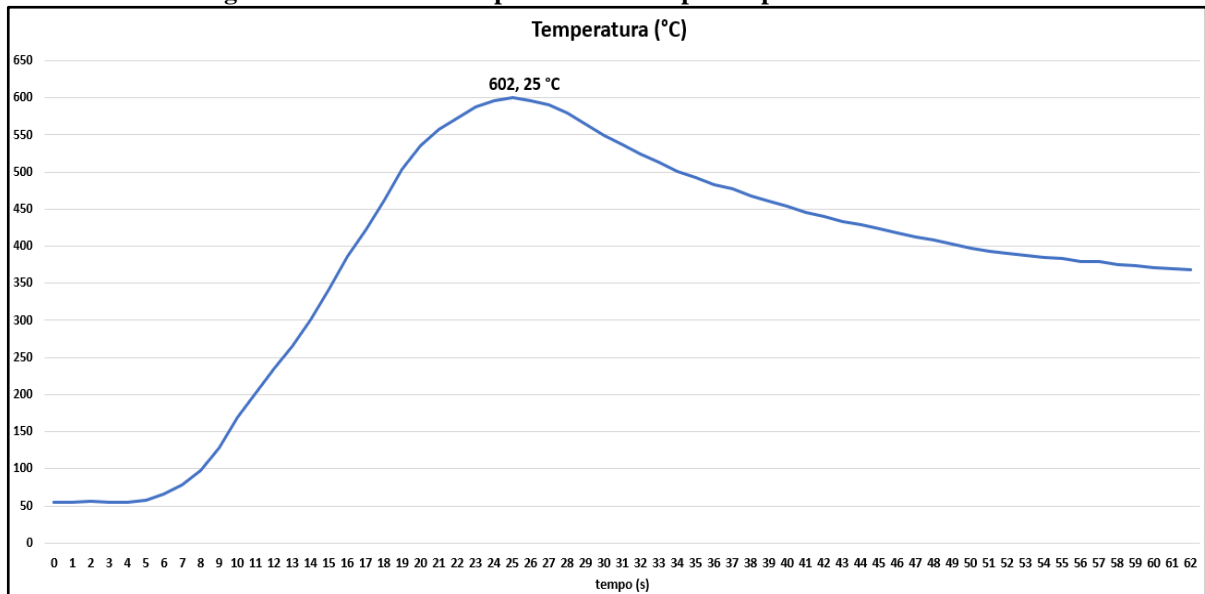
Figura 42. Gráficos de tensão e corrente obtidos para o processo E.R. a 120 A.



Fonte: Autoria própria.

Neste experimento observou-se a temperatura máxima de (602,25 °C), conforme Figura 43, que em termos qualitativos implicou em boa fusão do metal de base e deposição do metal de adição.

Figura 43. Gráfico de temperatura obtido para o processo E.R. a 120 A.



Fonte: Autoria própria.

No terceiro experimento o cordão de solda apresentou um moderado nível de respingos, conforme Figura 44, que ocorre por motivo anteriormente explicado, com boa aparência em função da estabilidade do arco, maior largura em relação aos cordões anteriores ocasionados pelo aumento do valor da corrente elétrica.

Figura 44. Cordão de solda obtido para 120A.



Fonte: Autoria própria.

5.2 COMPARAÇÃO ENTRE LARGURAS

Através dos experimentos realizados foi possível perceber a relação entre o valor de corrente de soldagem e largura do cordão, Figura 45.

Onde fica visualmente perceptível que o aumento da corrente selecionada para a operação de soldagem influencia no aumento da largura do cordão resultante.

Figura 45. Comparativo entre as larguras dos cordões.



Fonte: Autoria própria.

5.3 IDENTIFICAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA METÁLICA

Analisando-se os gráficos sobrepostos de tensão e corrente de todos os experimentos realizados através do processo eletrodo revestido foi possível identificar que após a estabilização do arco há variações moderadas de tensão e corrente, conforme Tabela 5.

Tabela 5. Variações de tensão e corrente para os experimentos com Eletrodo Revestido.

Experimento	Tensão (V)			Corrente (A)		
	Mínimo	Máximo	Variação	Mínimo	Máximo	Variação
1	18,32	30,29	11,97	29	40	11
2	18,12	31,35	13,23	70	82	12
3	19,41	32,70	13,29	122	133	11

Fonte: Autoria própria.

A transferência por curto circuito é caracterizada por instantes em que o arco elétrico é extinguido ocasionando quedas bruscas de tensão e picos de corrente, no caso da transferência goticular as variações de tensão são pequenas e a corrente permanece constante ao longo do processo e na transferência globular há variações moderadas de tensão e corrente.

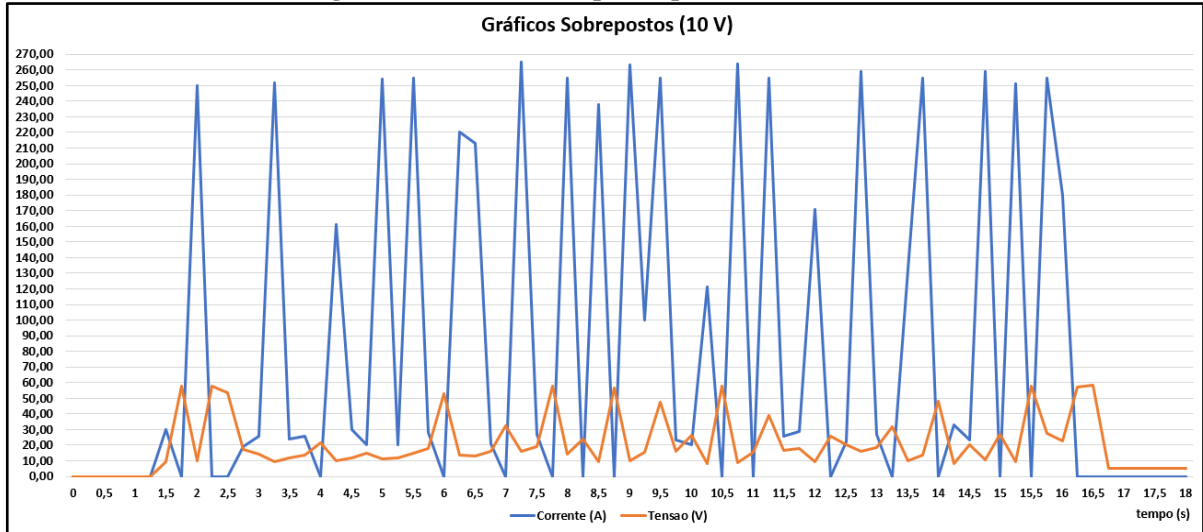
Considerando os fatores que caracterizam os diferentes processos de transferência metálica e os resultados dos gráficos gerados concluiu-se que nos experimentos realizados ocorreu em todos os casos a predominância da transferência globular.

5.4 EXPERIMENTOS COM SOLDAGEM MAG

- **Experimento 1:**

Como a fonte de energia neste processo opera com tensão constante, para este experimento foi selecionado o valor de tensão como sendo 10 V, afim de observar o formato do cordão e o comportamento do arco para baixos valores de tensão, Figura 46.

Figura 46. Gráfico sobrepostos para tensão de 10 V.



Fonte: Autoria própria

Feita análise do gráfico, foi possível observar o comportamento do arco e visualizar o comportamento dinâmico do arco, ou seja, de tensão constante. Ao longo da soldagem, é possível inferir que a tensão não sofre variações bruscas em seus valores quando comparado aos da corrente, o que de fato deveria ocorrer. Na Figura 47 é mostrado o cordão de solda feito com a tensão de 10 V selecionada.

Figura 47. Cordão de solda no processo MAG com 10 V.



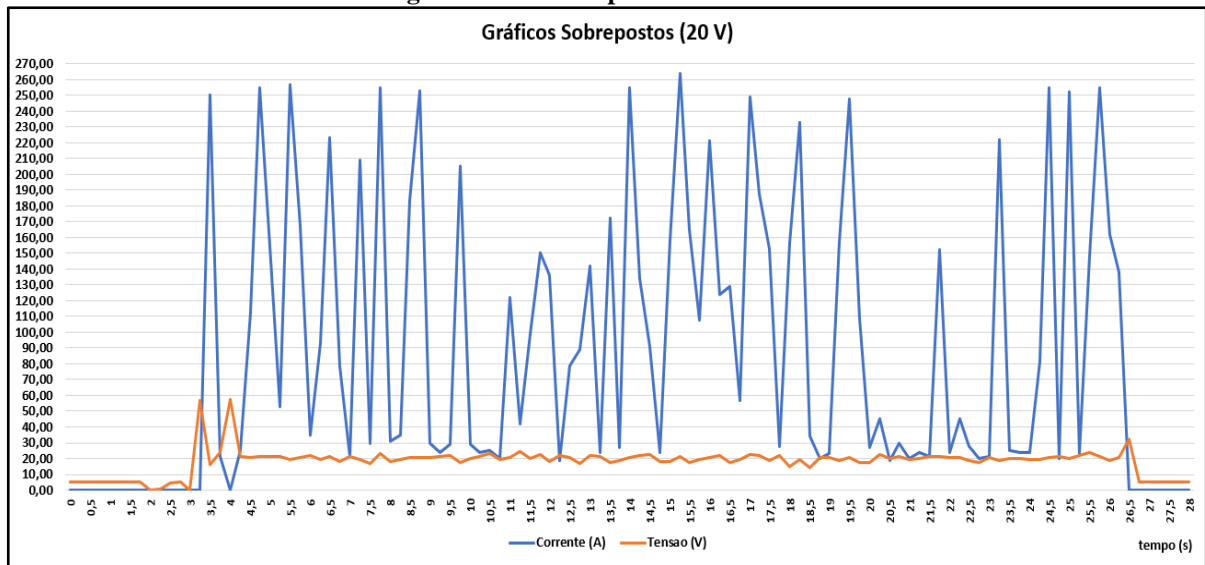
Fonte: Arquivo pessoal.

O valor de tensão selecionado mostrou-se baixo demais para se obter resultados satisfatórios, resultando em comprimentos de arco curtos, que por consequência resulta em um cordão de pequena largura e pouca penetração no metal de base. Além disso, para baixos valores de tensão, verificou-se uma dificuldade em controlar o arco pelo soldador, ocasionando em alguns pontos a falta de fusão do material.

- **Experimento 2:**

Neste experimento foi utilizado o valor de tensão correspondente a 20 V, é gerado o gráfico sobreposto de tensão e corrente. Observando o gráfico, Figura 48. vemos que o comprimento do arco sofre menores variações em relação ao experimento. Pelo aspecto do gráfico e possível inferir que o tipo de transferência metálica que está ocorrendo e do tipo globular, pois esse tipo de transferência ocorre para valores médios de tensão e corrente resultando em arco mais estáveis, o que de fato ocorreu neste experimento.

Figura 48. Gráfico para tensão de 20 V



Fonte: Autoria própria.

Analisando o cordão, Figura 49, foi possível observar que devido o aporte térmico mais acentuado o cordão apresentou uma fusão mais satisfatória, mais largo e boa penetração. Isto se dá, pelo fato pelo aumento da tensão, que se adequa melhor ao processo, aumentando o aporte térmico da poça de fusão proporcionando uma homogeneidade melhor ao cordão.

Figura 49. Cordão de no processo MAG com 20 V.



Fonte: Arquivo pessoal.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

O sistema de Aquisição permitiu analisar graficamente as grandezas tensão e corrente, e considerando os cordões de solda produzidos foi possível identificar a influência dessas variáveis nos parâmetros qualitativos da operação de soldagem como a estabilidade do arco, nível de respingo e geometria do cordão de solda.

Através da análise gráfica, e pelo comportamento das variáveis corrente e tensão nos gráficos obtidos, foi possível inferir o tipo de transferência metálica nos cordões de solda. Além disso, foi possível observar a influência dessas variáveis nos tipos de transferência metálicas

Com relação a temperatura o sistema mostrou-se capaz de gerar gráficos que exibem valores instantâneos desta grandeza, da qual foi possível relacionar através dos experimentos a falta de fusão do metal de base e deposição do metal de adição com os valores de temperaturas apresentados pelas curvas de resfriamento.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A aquisição de um termopar específico para soldagem se apresenta como uma ótima sugestão de melhoria para o Sistema de Aquisição de Dados, pois permitiria coletar a temperatura da zona termicamente afetada pela fusão entre o metal de base e metal de adição.

Inserir novos sensores para medir a velocidade de alimentação do arame e vazão do gás tornariam o sistema mais completo e com a possibilidade de coletar mais variáveis dos processos de soldagem GTAW e GMAW.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTAZZI, A; SOUSA, A. R. **Fundamentos de metrologia: científica e industrial**. Barueri. 1 ed. Manole, 2008. cap. 1, p. 6.

AS PARTES DE UM SISTEMA DAQ. **National Instruments**. Disponível em:<<http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/pt/>>. Acesso em: 17 mai. 2013.

BAPTISTA, J. P. C. **SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS**. 1990. 167 p. Tese (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

CAVALCANTE et al. **A Plataforma Arduino para fins didáticos: Estudo de caso com recolhimento de dados a partir do PLX-DAQ**. Brasília, Brasília. 2014.

CORRÊA, M. de A. **Diretrizes de Projeto e Qualificação Metrológica de Sistemas de Medição de Grandezas Elétricas em Processos de Soldagem e Arco**. 1999. 92 p. Tese (Mestrado em Metrologia) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CONHEÇA AS DIFERENÇAS ENTRE OS PROCESSOS SOLDAS MIG/MAG, TIG E ELÉTRICA. Disponível em:<<http://serralherianaveia.blogspot.com/2012/06/conheca-as-diferencas-entre-os.html>>. Acessado em: 05 fev. 2019.

FERNANDES, A. E. S. S. **Conversão de Energia com Células de Peltier**. 2012. 97 p. Dissertação (Mestre em Energias Renováveis) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

FORTES, C. **Apostila de soldagem MIG/MAG**. ESAB. 2005

GODIN, B. **Innovation: The History of a Category**. Montreal, Quebec: INRS. 2008.

GRANDO, F. L. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS EM AMBIENTE LABVIEW PARA AQUECEDORES SOLARES**. 2013. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J. **Fundamentos de física: eletromagnetismo**. Rio de Janeiro. 9 ed. LTC, 2013. cap. 28, p. 195-196.

MARQUES, P. V. MODENESI, P.J. BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 3.ed. Editora UFMG: Belo Horizonte, 2011.

MELO, J. L. G. G. **Mini Curso: Arduino**. Curitiba, 2012. 20 p.

MODENESI, P. J. **Introdução a Física do Arco**. Apostila da Universidade Federal de Minas Gerais, departamento de engenharia metalúrgica e de materiais. Belo Horizonte, julho de 2012.

OLIVEIRA, M. T. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS VIA USB UTILIZANDO TERMOPARES**. 2008. 69 p. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

PEIXOTO, A. **Soldagem**. Escola Técnica Aberta do Brasil. Belém, Pará. 2012.

PIRES, J. S. J. **AVALIAÇÃO DA GRANDEZA TENSÃO DE PICO PRÁTICA EM EQUIPAMENTOS CLÍNICOS UTILIZADOS EM RADIODIAGNÓSTICO**. 2007. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

RIBEIRO, I. S. et al. **PLATAFORMA ARDUINO: PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO E DEMONSTRAÇÃO PRÁTICA COM UM CONTROLADOR DE VENTILADORES**. **ConBRepro**. Ponta Grossa, Paraná, 2017.

SAMPAIO, D.J.B.S. **Automação do monitoramento da qualidade do processo de solda a ponto resistiva**. 2010. 173 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Controle e Automação Mecânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANTOS, J. A. **INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA COM O ARDUINO APLICADA AO ENSINO DE FÍSICA**. 2015. 70 p. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) – Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SECCO, M. A. **Soldagem: Processo por Eletrodo Revestido**. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI. Curitiba, 2002.

SENSE. **Medição de temperatura em processos industriais**. Rev. A. São Paulo, SP, 2015. 24 p.

SILVA, J. L. S.; Melo, M. C.; Camilo, R. S.; Galindo, A. L; e Viana, E. C. 2014. **Plataforma Arduino integrado ao PLX-DAQ: Análise e aprimoramento de sensores com ênfase no LM35**. XIV Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe (ERBASE). Feira de Santana, BA. 2014.

SILVA, W. L; CHOQUE, N. M. S. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS USANDO A PLACA ARDUINO UNO E O SOFTWARE NI-LABVIEW**. Araguaína, v. 03, n. Especial. P. 118-125, fev. 2015.

STEINBACH, R; DIAS, R. A; TEICHMANN, E. W. Plataforma Integrada para Rastreamento de Parâmetros de Soldagem a Arco Voltaico. **Ilha Digital**-Revista do Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis. n. 4, p. 67-73, 2013.

WAINER, E.; BRANDI, S.D. & DE MELO, F.D.H. **Soldagem: Metalurgia e Processos**, Editora: Edgard Blucher. São Paulo – SP, 2004.

WICKBOLDT, B. E. **AVALIAÇÃO DA SOLDABILIDADE DO AÇO GALVANIZADO NBR 7008 ZAR-230 POR MEIO DO PROCESSO GMAW UTILIZANDO TRANSFERÊNCIAS POR CURTO CIRCUITO E POR CORRENTE CONTROLADA**.

2014. 20 p. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Colegiado do curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul.