

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE  
TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL



ABRAÃO ANDRADE DE OLIVEIRA PINTO

**OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM DE REVESTIMENTO EM  
CHAPAS DE AÇO ABNT 1020 PELO PROCESSO GMAW COM ARAME DE AÇO  
INOXIDÁVEL E-308L UTILIZANDO UM ROBÔ DE SOLDAGEM CARTESIANO**

Cajazeiras

2021

ABRAÃO ANDRADE DE OLIVEIRA PINTO

**OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM DE REVESTIMENTO EM  
CHAPAS DE AÇO ABNT 1020 PELO PROCESSO GMAW COM ARAME DE AÇO  
INOXIDÁVEL E-308L UTILIZANDO UM ROBÔ DE SOLDAGEM CARTESIANO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Tecnologia em  
Automação Industrial do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,  
como parte dos requisitos para a obtenção do  
grau de Tecnólogo em Automação Industrial

Orientador: Prof. Dr. Raphael Henrique  
Falcão de Melo  
Coorientador: Prof. Me. Austriclinio da Costa  
Wanderley Neto

Cajazeiras

2021

Campus Cajazeiras  
Coordenação de Biblioteca  
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva  
Catalogação na fonte: Daniel Andrade CRB-15/593

D192a

Dantas, Maria Lindinêz Lopes

Análise qualitativa de risco em um laboratório de soldagem de uma instituição de ensino / Maria Lindinêz Lopes Dantas; orientador LuanCarvalho Santana de Oliveira. - 2021.

63 f.: il.

Orientador: Luan Carvalho Santana de Oliveira.

TCC (Tecnologia em Automação Industrial) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2021.

1. Soldagem 2. Mapa de riscos 3. Check-list 4. Acidentes 5.Laboratório I. Título.

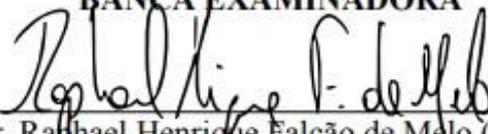
621.791(0.067)

ABRAÃO ANDRADE DE OLIVEIRA PINTO

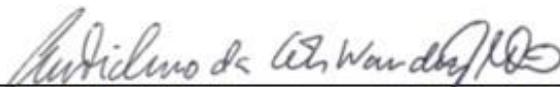
**OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM DE REVESTIMENTO EM  
CHAPAS DE AÇO ABNT 1020 PELO PROCESSO GMAW COM ARAME DE AÇO  
INOXIDÁVEL E-308L UTILIZANDO UM ROBÔ DE SOLDAGEM CARTESIANO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
à Coordenação do Curso de Tecnologia em  
Automação Industrial do Instituto Federal  
de Educação, Ciência e Tecnologia da  
Paraíba, como parte dos requisitos para a  
obtenção do grau de Tecnólogo em  
Automação Industrial

**BANCA EXAMINADORA**



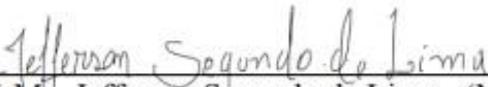
Prof. Dr. Raphael Henrique Falcão de Melo (Orientador)  
Unidade Acadêmica de Indústria, IFPB – *Campus* Cajazeiras



Prof. Me. Austriclinio da Costa Wanderley Neto (Coorientador)  
Unidade Acadêmica de Indústria, IFPB – *Campus* Cajazeiras



Prof. Luan Carvalho de Santana de Oliveira - (Membro)  
Unidade Acadêmica de Indústria do IFPB.



Prof. Me. Jefferson Segundo de Lima - (Membro)  
IFRN.- *Campus* Currais Novos

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais (Antônio Rocha Pinto e Damiana Andrade de Oliveira Pinto), em especial a minha querida mãe “Damiana Andrade”, pela dedicação, fé, força e perseverança. Aos meus irmãos (Aran Andrade, Amon Andrade e Maria de Lourdes Andrade) pelo apoio em todos os momentos difíceis.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por fazer parte da minha vida, me abençoando com muita força, sabedoria e persistência necessária para o alcance dos meus objetivos. A minha família, pela educação, pelo exemplo de vida e de seres humanos. Aos professores e amigos Prof. Dr. Raphael Henrique Falcão de Melo (Orientador) e Prof. Me. Austriclinio da Costa Wanderley Neto (Coorientador), pela orientação, pela paciência e pelas importantes contribuições no desenvolvimento deste trabalho. A minha namorada Cinthya Dias, pelo apoio, carinho, tolerância e compreensão. Aos técnicos do laboratório de usinagem e soldagem (Oficina Mecânica do IFPB Campus Cajazeiras), em especial a Walter, pela ajuda e dicas nas atividades de laboratório. Ao professor Antônio Marcos e aos colegas de curso Jefferson Segundo e Francisco dos Santos, pela ajuda em momentos importantes do trabalho, pela convivência, amizade e apoio. A todos os professores do IFPB Campus Cajazeiras, pela formação e conhecimento adquirido. A todos os meus amigos, que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Ao Instituto Federal da Paraíba IFPB, pela oportunidade de realização de trabalhos em minha área de pesquisa.

*“Quem como Deus?”*

## RESUMO

Nos últimos anos, o Brasil tem apresentado elevado custo na manutenção industrial devido à perda de metal nos equipamentos através das severas condições de trabalho (altas pressões, elevadas temperaturas e meio corrosivo). Aumentar a confiabilidade, a vida útil dos equipamentos e diminuir os gastos são as buscas mais frequentes no setor industrial. Com isso, a *soldagem de revestimento* tem ganhado forte influência no meio industrial, por permitir que superfícies com propriedades anticorrosivas sejam obtidas à partir de materiais de baixo custo, como os aços carbono ou aços de baixa liga. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo à otimização dos parâmetros de soldagem de revestimento automatizada em chapas de aço carbono ABNT 1020 pelo processo GMAW com arame de aço inoxidável AISI 308L utilizando um robô de soldagem cartesiano. Para tanto, foi analisada a influência dos parâmetros de soldagem sobre a formação da primeira camada de revestimento com aço inoxidável, visando a otimização da operação no sentido de minimizar a relação entre reforço e largura do cordão de solda e a diluição.

**Palavras-Chave:** Soldagem de revestimento. Processo GMAW. Robô cartesiano. Aço carbono ABNT 1020. Aço inoxidável AISI 308L.

## ABSTRACT

In recent years, Brazil has shown a high cost in industrial maintenance due to the loss of metal in the equipment because of severe working conditions (high pressures, elevated temperatures, corrosive setting). Increasing reliability, equipment's service life, and reducing costs are some of the most frequent pursuits in the industrial sector. As a result, stainless steel cladding has gained a strong influence in industrial environment by allowing surfaces with anti-corrosion properties to be obtained from low-cost materials, such as carbon steels or low alloy steels. Thus, this work aims to optimize the parameters of automated stainless steel cladding on ABNT 1020 carbon steel plates by the GMAW process with AISI 308L stainless steel wire using a Cartesian welding robot. For this, the influence of welding parameters on the first layer formation of stainless steel coating will be analyzed, aiming at optimizing the operation in order to minimize the relationship between reinforcement and width of the weld bead and dilution.

**Keywords:** Welding. Stainless steel cladding. GMAW process. Cartesian robot. Carbon steel ABNT 1020. Stainless steel AISI 308L.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Apresentação simplificada da soldagem.....	21
<b>Figura 2:</b> Princípio de operação da soldagem de revestimento.....	23
<b>Figura 3:</b> Esquema de um sistema de soldagem semi-automática para aplicação GMAW ....	26
<b>Figura 4:</b> Painel de parâmetros de soldagem semi-automática para aplicação GMAW .....	27
<b>Figura 5:</b> Cabeçote alimentador de arame de soldagem semiautomática para aplicação GMAW .....	28
<b>Figura 6:</b> Tocha de soldagem semi-automática para aplicação GMAW .....	28
<b>Figura 7:</b> Esquema de como acontece o processo de soldagem GMAW .....	29
<b>Figura 8:</b> Intensidade da corrente x Velocidade de alimentação.....	32
<b>Figura 9:</b> Influência da velocidade de alimentação do arame ( $V_{alim}$ ) na diluição para diferentes velocidades de soldagem ( $V_s$ ). a) corrente de soldagem de 80 A; b) corrente de soldagem 90 A. ....	33
<b>Figura 10:</b> Apresentação simplificada do DBCP (distância entre o bico de contato e a peça).	35
<b>Figura 11:</b> Relação entre metal base, diâmetro do arame eletrodo e a faixa de corrente. ....	36
<b>Figura 12:</b> Ilustração simplificada do ângulo de inclinação da tocha e direção de soldagem.	37
<b>Figura 13:</b> Registro regulador e medidor de vazão de gás. ....	38
<b>Figura 14:</b> Apresentação simplificada do arco elétrico com auxílio da proteção gasosa.....	38
<b>Figura 15:</b> Relação entre a intensidade da corrente, a vazão do gás de proteção e o diâmetro do bocal de gás .....	39
<b>Figura 16:</b> Apresentação simplificada do tipo de gás quanto a sua penetração .....	40
<b>Figura 17:</b> Apresentação simplificada das transferências metálicas. ....	43
<b>Figura 18:</b> Robô cartesiano .....	46
<b>Figura 19:</b> Representação esquemática das dimensões geométricas das seções transversais dos cordões/ revestimentos soldados .....	48

<b>Figura 20:</b> Representação esquemática das dimensões geométricas da diluição .....	49
<b>Figura 21:</b> Cordões de solda executados para encontrar ótimos parâmetros de operação (1 e 2) .....	53
<b>Figura 22:</b> Cordões de solda iniciais realizados para encontrar ótimos parâmetros de operação (3 e 4) .....	54
<b>Figura 23:</b> Cordões de solda iniciais (5 e 6).....	54
<b>Figura 24:</b> Cordões de solda sem tecimento (ST), software repetier host 3d.....	56
<b>Figura 25:</b> Cordões de solda com tecimento serra (TS), software repetier host 3d .....	56
<b>Figura 26:</b> Cordões de solda com tecimento quadrado (TQ), software repetier host 3d.....	56
<b>Figura 27:</b> Posição da tocha .....	58
<b>Figura 28:</b> Cordão de solda finalizado .....	60
<b>Figura 29:</b> Extração das amostras dos corpos de prova, vista computadorizada .....	60
<b>Figura 30:</b> Extração das amostras dos corpos de prova, ensaio com tecimento quadrado (TQ), vista real.....	61
<b>Figura 31:</b> Medidas das características geométricas: penetração (mm), área do reforço (mm <sup>2</sup> ) e área da penetração (mm <sup>2</sup> ).....	61
<b>Figura 32:</b> Seção transversal das amostras soldadas na condição sem tecimento (ST). .....	64
<b>Figura 33:</b> Seção transversal das amostras soldadas na condição com tecimento serra (TS).64	
<b>Figura 34:</b> Seção transversal das amostras soldadas na condição com tecimento quadrado (TQ). .....	64
<b>Figura 35:</b> Influência da tensão de referência ( $U_r$ ) sobre a largura (L) do cordão de solda. ..	65
<b>Figura 36:</b> Influência da tensão de referência ( $U_r$ ) sobre o reforço (R) do cordão de solda...66	
<b>Figura 37:</b> Influência da tensão de referência ( $U_r$ ) sobre a razão (R/L) do cordão de solda. 66	
<b>Figura 38:</b> Influência da tensão de referência ( $U_r$ ) sobre a diluição (D) do cordão de solda.67	
<b>Figura 39:</b> Influência do tecimento (ST,TS e TQ) sobre a largura (L) do cordão de solda. ...69	
<b>Figura 40:</b> Influência do tecimento (ST,TS e TQ) sobre o reforço (R) do cordão de solda....70	

<b>Figura 41:</b> Influência do tecimento (ST,TS e TQ) sobre a razão (R/L) do cordão de solda. .	70
<b>Figura 42:</b> Influência do tecimento (ST,TS e TQ) sobre a penetração (P) do cordão de solda. .....	71
<b>Figura 43:</b> Influência do tecimento (ST,TS e TQ) sobre a diluição (D) do cordão de solda. .	71
<b>Figura 44:</b> Influência da velocidade de alimentação do arame (Valim) sobre a largura (L) do cordão de solda. ....	72
<b>Figura 45:</b> Influência da velocidade de alimentação do arame (Valim) sobre o reforço (R) do cordão de solda. ....	73
<b>Figura 46:</b> Influência da velocidade de alimentação do arame (Valim) sobre a razão (R/L) do cordão de solda. ....	74
<b>Figura 47:</b> Influência da velocidade de alimentação do arame (Valim) sobre a diluição (D) do cordão de solda. ....	74
<b>Figura 48:</b> Influência da velocidade de alimentação do arame (Valim) sobre a penetração (P) do cordão de solda. ....	75
<b>Figura 49:</b> Influência da velocidade de soldagem (Vs) sobre a largura (L) do cordão de solda. .....	76
<b>Figura 50:</b> Influência da velocidade de soldagem (Vs) sobre o reforço (R) do cordão de solda. .....	77
<b>Figura 51:</b> Influência da velocidade de soldagem (Vs) sobre a razão (R/L) do cordão de solda. .....	77
<b>Figura 52:</b> Influência da velocidade de soldagem (Vs) sobre a penetração (P) do cordão de solda.....	78
<b>Figura 53:</b> Influência da velocidade de soldagem (Vs) sobre a diluição do cordão (D) de solda. .....	76

## LISTA TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Algumas vantagens da solda em comparação com outros processos, tais como rebitar e parafusar.....	22
<b>Tabela 2:</b> Especificações da AWS de materiais de adição para GMAW (AWS, 2004). .....	42
<b>Tabela 3:</b> Composição química média do depósito.....	46
<b>Tabela 4:</b> Medidas e valores obtidos sem tecimento (ST).....	52
<b>Tabela 5:</b> Medidas e valores obtidos com tecimento serra (TS) .....	52
<b>Tabela 6:</b> Medidas e valores obtidos com tecimento quadrado (TQ).....	53
<b>Tabela 7:</b> Fatores de controle e seu níveis.....	57
<b>Tabela 8:</b> Planejamento dos fatores de controle .....	59
<b>Tabela 9:</b> Medidas e valores obtidos para variáveis resposas sem tecimento (ST).....	63
<b>Tabela 10:</b> Medidas e valores obtidos para variáveis resposas com tecimento serra (TS).....	63
<b>Tabela 11:</b> Medidas e valores obtidos para variáveis resposas com tecimento quadrado (TQ) .....	64

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AISI – American Iron and Steel Institute

SAE – Society of Automotive Engineers - EUA

AWS – American Welding Society

FCAW – Flux-Cored Arc Welding

GTAW – Gas-shielded Tungsten Arc Welding

PTAW – Plasma Transferred Arc Welding

GMAW – Gas-Shielded Metal Arc Welding

MIG – Metal Inert Gas

MAG – Metal Active Gas

DBCP – Distância do Bico de Contato com a Peça

Valim – Velocidade de Alimentação do Arame Eletrodo

PB – Paraíba

## LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

Ad – Área de Deposição

Af – Área de Fundição

amp – Amperes

Ar – Argônio

C – Comprimento do Cordão de Solda

D – Diluição do Cordão de Solda

E – Energia de Soldagem

ER – O prefixo E indica Eletrodo e ER sob forma de Arame ou Vareta

Ir – Corrente de Referência

l – Largura da Chapa de Aço

L – Largura do Cordão de Solda

° – Ângulo de Arcos em Graus

P – Penetração do Cordão de Solda

R – Reforço do Cordão de Solda

R/L – Razão Reforço/Largura do Cordão de Solda

ST – Sem Tecimento

TD – Taxa de Deposição

TF – Taxa de Fusão

TQ – Tecimento quadrado

TS – Tecimento Serra

ts – Tempo de Soldagem

Ur – Tensão de Referência

$v$  – Tensão

$V_s$  – Velocidade de Soldagem

$cm$  – Submúltiplo do padrão metro (Centímetro)

$g$  – Submúltiplo do padrão quilo (Gramas)

$kg$  – Quilograma

$m$  – Metro

$mm^2$  – Submúltiplo do padrão metro (Milímetro Quadrado)

$mm$  – Submúltiplo do padrão metro (Milímetro)

$s$  – Segundos

$\eta$  – Eficiência de Deposição

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA TABELAS .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>14</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>15</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1. TEMA.....	18
1.2. OBJETIVOS.....	18
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	19
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
2.1. DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM .....	21
2.1.1. REVESTIMENTOS .....	22
2.1.1.1. REVESTIMENTOS METÁLICOS .....	22
2.1.1.2. SOLDAGEM DE RESVESTIMENTO.....	23
2.1.2. PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW .....	24
2.1.2.1. SISTEMA BÁSICO .....	25
2.1.3. MECANISMO DO PROCESSO GMAW.....	26
2.1.3.1. FONTE DE ENERGIA .....	27
2.1.3.2. ALIMENTADOR DE ARAME .....	27
2.1.3.3. TOCHA “PISTOLA” DE SOLDAGEM.....	28
2.1.3.4. VANTAGENS.....	30
2.1.3.5. LIMITAÇÕES.....	30

2.1.4. VARIÁVEIS DO PROCESSO GMAW .....	31
2.1.4.1. CORRENTE DE SOLDAGEM .....	322
2.1.4.2. TENSÃO E COMPRIMENTO DO ARCO .....	333
2.1.4.3. POLARIDADE.....	333
2.1.4.4. VELOCIDADE DE SOLDAGEM.....	344
2.1.4.5. COMPRIMENTO DO ELETRODO ( <i>STICK-OUT</i> ).....	334
2.1.4.6. DIÂMETRO DO ARAME.....	35
2.1.4.7. ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA TOCHA.....	37
2.1.5. CONSUMÍVEIS DO PROCESSO GMAW .....	38
2.1.5.1. GASES.....	38
2.1.5.2. ARAMES ELETRODOS .....	41
2.1.5.3. TRANSFERÊNCIA METÁLICA .....	42
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>4ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
3.1. MATERIAIS DE CONSUMO .....	45
3.1.1. METAL BASE .....	45
3.1.2. METAL DE ADIÇÃO.....	46
3.1.3. GÁS DE PROTEÇÃO.....	46
3.2. EQUIPAMENTOS EMPREGADOS NAS SOLDAGENS .....	46
3.2.1 EQUIPAMENTOS PARA PREPARAÇÃO METALOGRÁFICA.....	47
3.2.2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICA.....	47
3.1.2. CARACTERÍSTICAS ECONÔMICA.....	49
<b>4. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.1</b>	
4.1.PROCESSO DE REVESTIMENTO .....	51
4.1.1. PLANEJAMENTO DOS FATORES DE CONTROLE .....	455
4.1.2. METALOGRAFIA E MEDIÇÃO.....	<b>Erro! Indicador não definido.9</b>

<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>63</b>
5.1 INFLUÊNCIA DA TENSÃO DE REFERÊNCIA (UR) .....	65
5.2 INFLUÊNCIA DO TECIMENTO (ST, TS E TQ) .....	68
5.3 INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE ALIMENTAÇÃO (Valim) .....	71
5.4 INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE SOLDAGEM (VS) .....	75
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>78</b>
<b>7 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho de conclusão de curso assume a forma de atividade de pesquisa e inovação, intitulado de “Otimização dos Parâmetros de Soldagem de Revestimento em Chapas de Aço ABNT 1020 pelo Processo GMAW com Arame de Aço Inoxidável AISI E-308L Utilizando um Robô de Soldagem Cartesiano”, desenvolvido no IFPB (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba) *campus* Cajazeiras.

### 1.1 TEMA

Com o desenvolvimento a partir dos anos de 1990, as jazidas de *petróleo leve* no Brasil estavam acabando e ao mesmo tempo surgia novas grandes descobertas de jazidas de *petróleo pesado*, daí a indústria de refino passou a investir em poços de petróleo pesado (BOND, 2008).

Em contrapartida as novas jazidas possuíam altos níveis de ácidos naftênicos, enxofre e outros componentes corrosivos (BOND, 2008). Essas características contidas no petróleo pesado foram um grande problema para as unidades de refino da PETROBRAS, pois anteriormente só trabalhavam com petróleos leves, ou seja, todos os seus equipamentos não foram desenvolvidos para receberem petróleo pesado. Portanto, as unidades de refino de petróleo começaram a apresentar sérios problemas devido ao contato dos equipamentos com substâncias corrosivas em temperaturas elevadas de operação. Por esse motivo, houve uma queda de resistência por parte dos equipamentos, fazendo com que os mesmos se desgastassem mais rapidamente, causando paradas inesperadas, para manutenção. Além de desgastes causados nos equipamentos, estas paradas acarretaram um grande prejuízo, além de atrasos no fornecimento de seus produtos (CORDEIRO, 2009).

### 1.2 OBJETIVOS

Diante a perda de metal em equipamentos devido a corrosão, aumentar a confiabilidade, a vida útil dos equipamentos e diminuir os custos é a mais frequente busca no setor de petróleo e gás.

Nesse sentido é premente a necessidade de utilizar a solda de revestimento, por permitir que superfícies com propriedades anticorrosivas sejam obtidas a partir de materiais de baixo custo, como os aços carbonos ou aços de baixa liga.

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é analisar a influência dos parâmetros de soldagem sobre a formação da primeira camada de revestimento com aço inoxidável, visando a otimização da operação no sentido de minimizar a relação entre reforço e largura do cordão de solda e diluição.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que se consiga atingir o objetivo geral tem-se como objetivo específico:

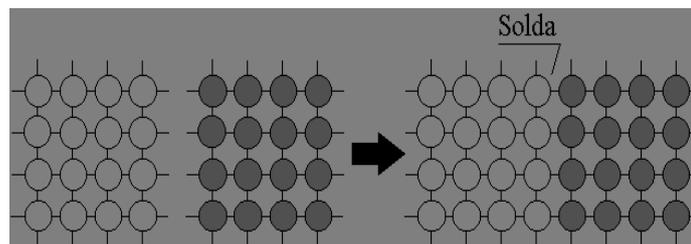
- Determinar os parâmetros ótimos de soldagem de revestimento utilizando o processo GMAW;
- Verificar a influência do tecimento nas características geométricas dos cordões de solda de revestimento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM

Um grande número de diferentes processos utilizados na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas é abrangido pelo termo “soldagem”. Existem várias definições de soldagem, segundo diferentes normas. A Associação Americana de Soldagem (*American Welding Society – AWS*), define soldagem como “processo de união de materiais usados para obter a coalescência (união) localizada de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição” (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2005). A Figura 1, ilustra a união de dois metais distintos através da soldagem.

**Figura 1:** Apresentação simplificada da soldagem



Fonte: GELSONLUZ, 2018.

A sua aplicação atinge desde pequenos componentes eletrônicos até grandes estruturas e equipamentos (pontes, navios, vasos de pressão e etc.). Atualmente, diferentes processos relacionados com a soldagem são usados para a deposição de materiais sobre uma superfície, visando à recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento metálico com características especiais, sendo necessária a seleção do processo (ou processos) adequado para uma dada aplicação (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2005).

É possível ver (Tabela 1) algumas vantagens e desvantagens da solda em comparação com outros processos:

**Tabela 1:** Algumas vantagens da solda em comparação com outros processos, tais como rebitar e parafusar.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Grande variedade de processos	Pode afetar microestruturas e propriedades das partes
Aplicável a diversos materiais	Pode causar distorções e tensões residuais
Operação manual ou automática	Requer considerável habilidade do operador
Pode ser altamente portátil	Não pode ser desmontada
Custo, em geral, razoável	Pode exigir operações auxiliares de elevado custo e duração (ex.: tratamentos térmicos)

Fonte: GELSONLUZ, 2018.

### 2.1.1 REVESTIMENTOS

#### 2.1.1.1 REVESTIMENTOS METÁLICOS

Os revestimentos metálicos foram desenvolvidos no início da década de 1930 e uma de suas primeiras aplicações foi a utilização de níquel sobre aço carbono. Este composto era usado na construção de tanques de guerra. Outros produtos feitos de aço revestido foram os fornos de destilação, vasos de processamento, ferramentas manuais, equipamentos de armazenamento e outros (MAGALHÃES, 2008).

Tecnicamente esse tipo de material consiste na interposição de uma camada metálica entre o meio corrosivo e o metal que se quer proteger (metal de base). Os revestimentos metálicos, geralmente são fornecidos em chapas ou bobinas em diversas espessuras (CERPOLO, 2013).

Esta é uma aplicação muito comum na indústria. Os motivos para esta grande utilização incluem, do lado dos aços carbono o seu menor custo em relação aos aços inoxidáveis austeníticos, aliado a uma maior resistência mecânica, principalmente em relação ao limite de escoamento e do lado dos aços inoxidáveis, a sua resistência à corrosão muito superior e

necessária em aplicações em que um meio agressivo esteja em contato com alguma parte do equipamento (PARANHOS, 2015).

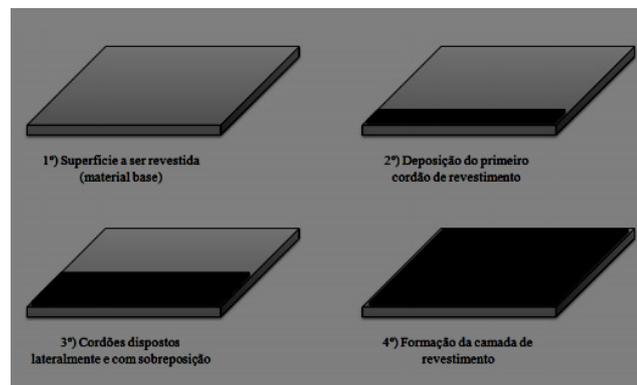
Vantagens dos revestimentos metálicos:

- Leveza;
- Durabilidade;
- Boa adaptação nos ambientes;
- Planicidade;
- Maleabilidade, dependendo do material;
- Evitam desgastes por abrasão, corrosão e erosão.

#### 2.1.1.2 SOLDAGEM DE REVESTIMENTO

A soldagem de revestimento trata-se da deposição de múltiplos cordões de solda dispostos de forma a produzir uma ou mais camadas de metal com características específicas beneficiando superfícies com tendência ao desgaste (ou restaurar a dimensão original de uma peça ou componente). A Figura 2 ilustra o início meio e fim da formação de um revestimento metálico. De acordo com o que é proposto pela norma DIN 50320 há dois tipos de mecanismos de desgaste: por ação química/eletrolítica (corrosão) ou ação mecânica (GONDINHO, 2016).

**Figura 2:** Princípio de operação da soldagem de revestimento



Fonte: GONDINHO, 2016.

A corrosão pode ser definida como a remoção ou degradação das propriedades de um material por meio de uma atuação química do meio. Esta ação torna-se mais desenvolvido em meios aquosos, o qual está inserido a maioria dos problemas, como por exemplo na indústria de Petróleo e Gás em ambiente de extração petrolífera submarina.

Dentre as formas o qual um material pode sofrer corrosão podemos enumerar: corrosão por pites, corrosão sob tensão, corrosão galvânica, dentre outras (GONDINHO, 2016).

A seleção do processo de soldagem para revestimento é tão importante quanto a seleção da liga. Os serviços não são ditados somente pela seleção da liga, mas sofrem forte influência de um processo de soldagem bem selecionado. Outros fatores técnicos envolvem a seleção do processo, incluindo mas também não limitando, as propriedades e a qualidade do revestimento, as características físicas da peça, as propriedades metalúrgicas do metal de base, a forma e composição da liga de revestimento e a habilidade do soldador (INFOSOLDA, 2013).

A soldagem de revestimento é internacionalmente conhecida como *Weld Overlay* e pode ser classificada de acordo com objetivos específicos do material a ser depositado:

- a) *Hardfacing (revestimento duro)*: técnica de revestimento, que é aplicada com a finalidade de reduzir o desgaste, a abrasão, o impacto, a erosão, a escoriação ou a cavitação. As ligas para revestimento duro podem ser depositadas por soldagem oxiacetilênica, inúmeros processos de soldagem a arco elétrico, soldagem a laser e por processos de aspersão térmica (PESSOA, 2009);
- b) *Buildup (reconstrução)*: refere-se à adição de metal de solda sobre a superfície do metal de base para a recuperação das dimensões exigidas para o componente. Neste processo, geralmente não são utilizadas ligas para resistir ao desgaste, mas sim para devolver suporte adequado para camadas subsequentes de verdadeiros materiais para revestimento duro (PESSOA, 2009);
- c) *Weld Cladding (solda de revestimento)*: camada relativamente grossa de metal de adição aplicada sobre aço carbono ou aço baixa liga (material de base) com a finalidade de obter-se uma superfície resistente à corrosão. Esta técnica de revestimento normalmente é realizada por processos a arco elétrico (PESSOA, 2009);
- d) *Buttering (amanteigamento)*: deposição de uma ou mais camadas de metal de solda na face da junta ou da superfície a ser soldada. Diferente do buildup, pois a finalidade principal do amanteigamento é satisfazer alguma consideração de caráter metalúrgico.

Esta técnica é usada principalmente quando há uma união entre materiais de base dissimilares (PESSOA, 2009).

Este trabalho terá como foco a abordagem do *Weld Cladding* que se trata da deposição de uma fina camada de uma liga especial (aço inoxidável AISI ER308L) com propriedades específicas sob um material de base aço carbono com fins de proteção contra principalmente reações oxidantes, além de solicitações mecânicas.

*Weld Cladding* difere-se das outras em termos de finalidade. *Hardfacing* busca a resistência a abrasão, erosão, impacto. *Buildup* aplica-se para restauração de peças e equipamentos desgastados. Já o *Buttering* busca melhorias na superfície para realização de um novo procedimento de soldagem (GONDINHO, 2016).

Inúmeros processos de soldagem têm sido aplicados na indústria, dentre eles destacam-se o eletrodo revestido, arco submerso, GMAW, arame tubular, TIG com alimentação de arame, plasma com arco transferido e alimentação de pó, dentre outros (ARTHUR, 2013).

Sendo o processo GMAW largamente utilizado em função da boa produtividade, flexibilidade e custo relativamente baixo. Além disto, nas últimas décadas apresentou grande desenvolvimento, devido a sua facilidade de automação, aliado à utilização de periféricos informatizados e à crescente utilização de sistemas robotizados na indústria (PESSOA, 2009).

### 2.1.2 PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW

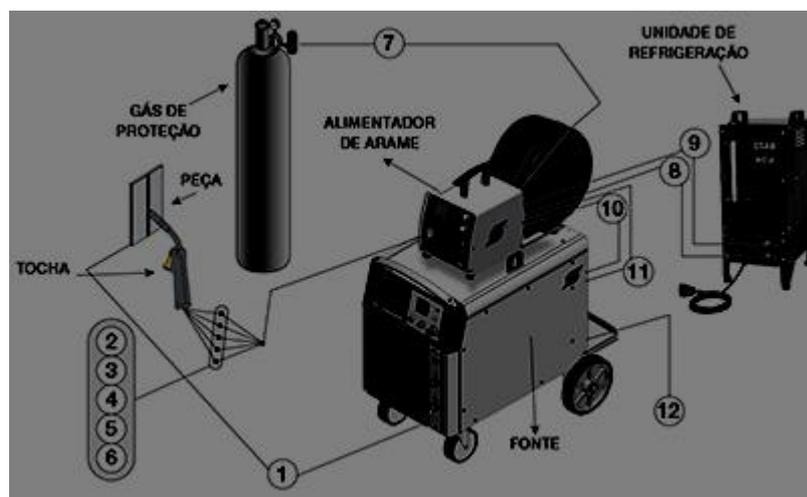
O processo de soldagem GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), ou Soldagem ao Arco Elétrico com Atmosfera de Proteção Gasosa, foi introduzido na década de 1920 e tornado comercialmente viável a partir de 1948. Consiste de um processo de alimentação constante de um arame consumível (polaridade +), que é direcionado a uma peça metálica (polaridade -), sob uma atmosfera de proteção gasosa (ESAB, 2019).

### 2.1.2.1 SISTEMA BÁSICO

Como mostra a Figura 3, o sistema básico utilizado na soldagem GMAW é composto por:

1. Cabo de solda (negativo);
2. Refrigeração da tocha (entrada d'água);
3. Gás de proteção;
4. Gatilho da tocha;
5. Refrigeração da tocha (retorno d'água);
6. Conduíte do arame;
7. Gás de proteção vindo do cilindro;
8. Saída de água de refrigeração;
9. Entrada de água de refrigeração;
10. Cabo de comanda (alimentador/fonte);
11. Cabo de solda (positivo);
12. Conexão para a fonte primária (220/380/440 VCa).

**Figura 3:** Esquema de um sistema de soldagem semiautomática para aplicação GMAW.



Fonte: ESAB, 2019

### 2.1.3 MECANISMO DO PROCESSO GMAW

#### 2.1.3.1 FONTE DE ENERGIA

A fonte de energia (Figura 4) tem como função fornecer corrente elétrica para o processo GMAW. Geralmente possui curva característica de saída de tensão constante, podendo ser fabricada com diversos tipos de tecnologia para controle da tensão, como chaves comutadoras, controle tiristorizado ou através de inversores.

**Figura 4:** Painel de parâmetros de soldagem semiautomática para aplicação GMAW



Fonte: BALMER, 2019.

Este possui melhor desempenho principalmente por suas características, que possibilita baixo consumo de energia, redução de peso e dimensões e capacidade de alterar a forma de onda de saída (ESAB, 2019)

#### 2.1.3.2 ALIMENTADOR DE ARAME

Este tem como função alimentar o arame consumível (metal de adição) através dos guias e conduítes mostrados na Figura 5, devendo fornecer uma velocidade de alimentação sempre constante a fim de evitar oscilações no processo. O alimentador de arame pode ser utilizado tanto para aplicações semiautomáticas, quanto para aplicações automáticas, existindo ainda alimentadores de arame específicos para soldagem robotizada (ESAB, 2019).

**Figura 5:** Cabeçote alimentador de arame de soldagem semiautomática para aplicação GMAW



Fonte: BALMER, 2019.

O sistema de alimentação de arame eletrodo é constituído por um conjunto de roletes que tracionam o arame eletrodo e por um motor que possui velocidade de rotação que pode ser ajustada. Este sistema tem que apresentar boa velocidade de resposta, caso contrário a soldagem pode ficar com suas características e qualidades comprometidas (PESSOA, 2019).

#### 2.1.3.3 TOCHA “PISTOLA” DE SOLDAGEM

A tocha de soldagem direciona a alimentação de arame, os fluxos de corrente elétrica e gás de proteção para a poça de fusão. Especificamente a tocha é composta de, um cabo de cobre para a passagem da corrente elétrica, um conduíte e uma mangueira, respectivamente para direcionar o arame e o fluxo de gás (Figura 6). Adicionalmente pode haver um sistema de refrigeração da tocha, geralmente à água, para manter a temperatura da tocha de soldagem controlada (ESAB, 2019).

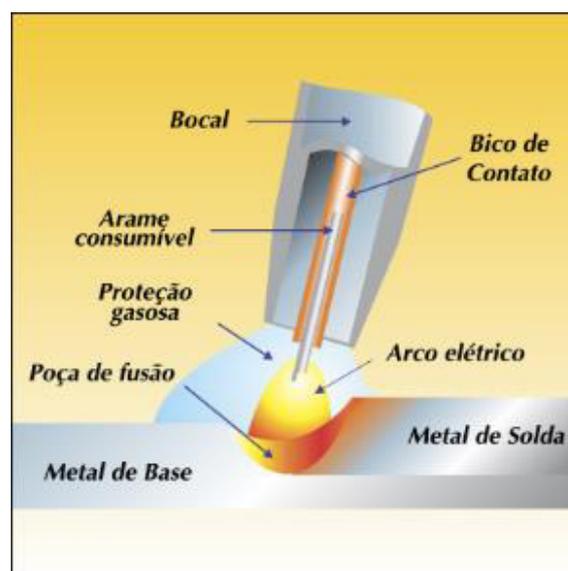
**Figura 6:** Tocha de soldagem semiautomática para aplicação GMAW



Fonte: BALMER, 2019.

Quando o arame consumível entra em contato com o metal de base, temos o fechamento do circuito e a circulação de corrente elétrica entre o polo positivo e o negativo, os metais são aquecidos até a temperatura de fusão e o resultado é a chamada "poça de fusão" que efetua a coalescência dos metais ali presentes, mostrados na Figura 7. Parte desta poça de fusão é composta pelo arame consumível ou metal de adição, e parte é composta pelo resultado da fusão entre o arame e o metal de base, o que é chamado de diluição. Após o resfriamento desta poça de fusão temos a união entre estes metais (ESAB, 2019).

**Figura 7:** Esquema de como acontece o processo de soldagem GMAW



Fonte: CASTOLIN EUTECTIC, 2017

Trata-se de um processo flexível pois proporciona soldagens de qualidade com grande produtividade, principalmente quando comparado com processos manuais como eletrodos revestidos.

#### 2.1.3.4 VANTAGENS

Como já foi descrito anteriormente, o processo GMAW apresenta várias vantagens em relação a outros processos de soldagem por arco elétrico em baixa ou alta produtividade, como eletrodo revestido, arco submerso e TIG. Uma das grandes vantagens do processo de solda GMAW, é a ausência de escória no cordão de solda (ALUSOLDA, 2019).

Uma lista com algumas vantagens:

- Tempo total de execução de soldas de cerca da metade do tempo se comparado ao eletrodo revestido;
- Alta taxa de deposição do metal de solda;
- Alta velocidade de soldagem;
- Largas aberturas preenchidas ou amanteigadas facilmente, tornando certos tipos de soldagem de reparo mais eficientes;
- Soldagem pode ser executada em todas as posições;
- Soldas de excelente qualidade;
- Baixo custo de produção.

#### 2.1.3.5 LIMITAÇÕES

Como acontece em qualquer processo de soldagem, GMAW apresenta algumas limitações:

- Não solda metais muito espessos, sendo indicada para metais de pequena e média espessura;
- Não deve ser utilizado em presença de corrente de ar;

- Manutenção mais trabalhosa. (Tocha, roldanas, bico de contato, bocal, regulador de gás);
- Por causa do uso do gás, não é completamente portátil.

#### 2.1.4 VARIÁVEIS DO PROCESSO GMAW

O ajuste das variáveis de soldagem no processo GMAW é bem complexo devido ao grande número de variáveis existentes, muitas vezes há interações entre elas, de tal forma que é fundamental o conhecimento e o controle de cada uma destas para se conseguir soldas com qualidade desejada.

A qualidade do cordão de solda obtido pelos processos GMAW é influenciada por alguns parâmetros, tais como intensidade de corrente, tensão e comprimento do arco, velocidade de soldagem “*stick-out*”, gases de proteção, diâmetro do eletrodo e posição da tocha, seus tipos e vazão.

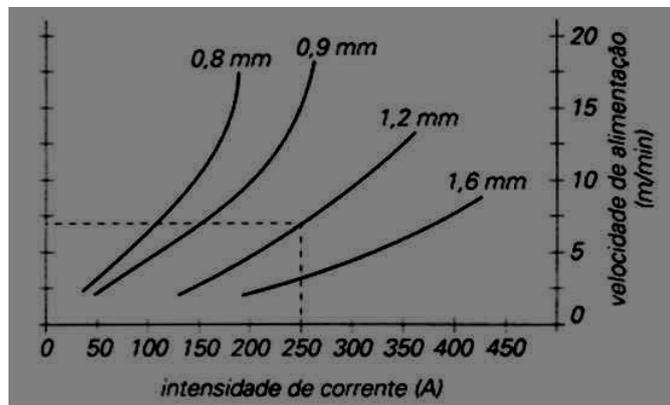
Entre algumas variáveis importantes desse processo que influenciam na soldagem, estão:

- Tipo e intensidade de corrente soldagem;
- Polaridade da corrente;
- Tensão do arco (comprimento do arco);
- Velocidade de soldagem;
- Comprimento do eletrodo;
- Distância entre bico de contato e a peça (DBCP);
- Indutância da fonte;
- Velocidade de alimentação do arame;
- Diâmetro do arame-eletrodo;
- Tipo de gás de proteção;
- Vazão do gás de proteção;
- Posicionamento da tocha em relação à peça;
- Execução ou não de tecimento;
- Modo de transferência metálica.

### 2.1.4.1 CORRENTE DE SOLDAGEM

A transferência do metal e o controle da taxa de fusão do arame eletrodo são influenciados pela intensidade da corrente. O uso de eletrodos de materiais resistivos como o aço não ligado, com baixas correntes, apresenta uma relação linear entre a intensidade de corrente e a velocidade de alimentação; entretanto, à medida que a intensidade de corrente aumenta, essa relação se modifica (Figura 8), tendendo para uma curva, especialmente no caso de arames com diâmetro menor (INFOSOLDA, 2013).

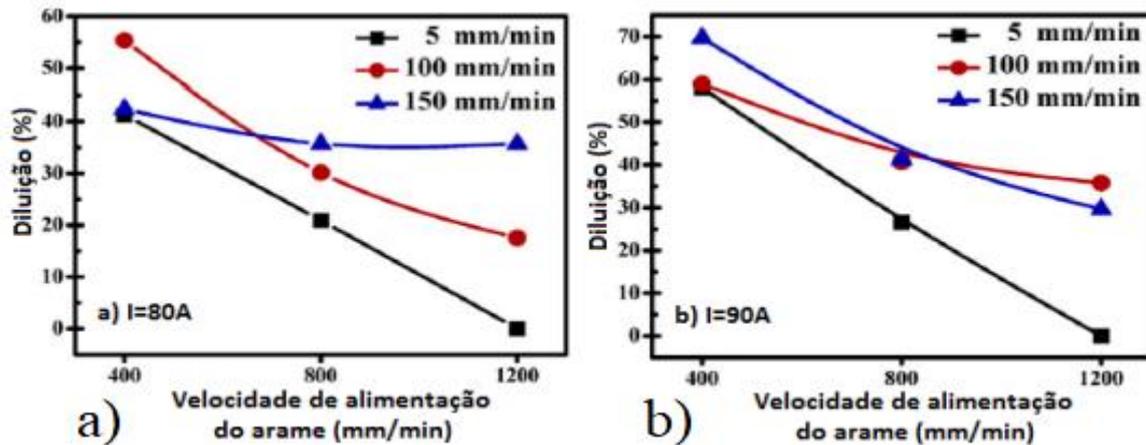
**Figura 8:** Intensidade da corrente x Velocidade de alimentação.



Fonte: INFOSOLDA, 2013

Isto acontece devido ao efeito Joule, responsável pelo calor na ponta do eletrodo, e que influencia de modo significativo a taxa de fusão. Aumentando-se a intensidade de corrente e mantendo-se constantes as outras variáveis, o cordão de solda apresenta aumento de penetração e de largura (INFOLSOLDA, 2013). A Figura 9 mostra os resultados obtidos por (LIN, 2013) da influência da velocidade de alimentação do arame com velocidades de soldagem diferentes e para duas correntes de soldagem. É possível observar que a diluição diminuiu com o aumento da velocidade de soldagem e que a corrente de soldagem maior,  $I = 90^a$ , proporciona uma maior diluição que também tende a diminuir com o aumento da velocidade de alimentação.

**Figura 9:** Influência da velocidade de alimentação do arame ( $V_{alim}$ ) na diluição para diferentes velocidades de soldagem ( $V_s$ ). a) Corrente de soldagem de 80A; b) Corrente de soldagem de 90A.



Fonte: Adaptado de (LIN, 2013).

#### 2.1.4.2 TENSÃO E COMPRIMENTO DO ARCO

A tensão do arco depende do comprimento do arco e também do tipo e do diâmetro do arame eletrodo, do gás de proteção e do modo de transferência. Se todas essas variáveis se mantiverem constantes, o aumento da tensão do arco provoca maior largura e menor altura do cordão, melhor molhagem, ou distribuição do metal depositado, e redução da penetração. Tensões excessivas do arco provocam porosidade, salpicos e mordeduras; por outro lado, tensões mínimas resultam em porosidade e cordões muito convexos (INFOSOLDA, 2013).

#### 2.1.4.3 POLARIDADE

O termo polaridade é usado para descrever a conexão elétrica da tocha de soldagem em relação aos terminais de corrente da saída da fonte de tensão. Como já foi comentado, no processo GMAW geralmente utiliza-se CCEP, pois produz um arco estável, com um melhor perfil do cordão de solda, maior penetração e menor quantidade de respingos gerados (PESSOA, 2009).

A corrente contínua com eletrodo na polaridade negativa (CCEN) é raramente utilizada devido à transferência axial não ser possível sem modificações que não são aceitas comercialmente, mas esta polaridade tem como vantagens, em relação à CCEP, uma maior velocidade de fusão e uma menor penetração (PESSOA, 2009).

#### 2.1.4.4 VELOCIDADE DE SOLDAGEM

A velocidade de soldagem é a velocidade de deslocamento do arco elétrico ao longo da junta ou peça. A velocidade de soldagem está diretamente ligada à quantidade de *energia cedida* à peça; quanto maior a velocidade, menor a quantidade de calor cedida por unidade de área. Velocidades muito baixas, além de elevar o custo da operação, podem causar alterações metalúrgicas na estrutura do material devido à concentração térmica. Por outro lado, velocidades excessivas provocam menor penetração e menor largura do cordão, possíveis mordeduras e falta de fusão, além de falta de penetração (INFOSOLDA, 2013).

Sendo a avaliação da velocidade de soldagem ( $V_s$ ) dada pela Equação 1.

$$V_s = \frac{C}{ts} \quad (1)$$

Onde:

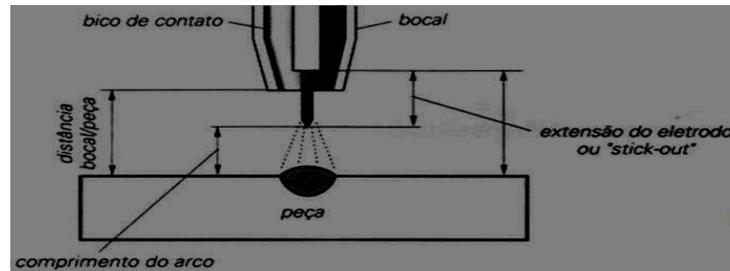
$C$  = Comprimento do cordão de solda (mm);

$t$  = Tempo necessário para que o robô execute cada cordão de solda (s).

#### 2.1.4.5 COMPRIMENTO DO ELETRODO (*STICK-OUT*)

O “*stick-out*” está relacionado à velocidade de fusão do eletrodo, se for aumentado, o calor é aumentado por efeito Joule, e a velocidade de fusão do eletrodo também se torna maior.

**Figura 10:** Apresentação simplificada do DBCP (distância entre o bico de contato e a peça).



Fonte: INFOSOLDA, 2013.

Se o “*stick-out*” for muito pequeno, o calor gerado não será suficiente para fundir o eletrodo adequadamente, por outro lado, se for muito elevado, o arco tornar-se instável, a proteção gasosa deixará de existir e a consequência será o aparecimento de porosidades. Portanto, é preciso controlar rigorosamente o “*stick-out*” (INFOSOLDA, 2013).

#### 2.1.4.6 DIÂMETRO DO ARAME

Uma dúvida frequente de quem utiliza o processo de soldagem GMAW, diz respeito ao diâmetro do arame. Escolher as dimensões adequadas é muito importante para se ter soldas com produtividade, estabilidade e qualidade esperadas para a aplicação. Os arames para a soldagem GMAW normalmente são sólidos e com diâmetro que varia de 0,6 a 1,6 mm (SUMIG, 2018).

O diâmetro do eletrodo influencia a forma do cordão de solda. Quanto maior o diâmetro do arame, maior será a corrente mínima necessária para a fusão do arame, e para se obter as mesmas características de transferência metálica. Altas correntes também proporcionam altas taxas de deposição e grande penetração. Entretanto nas posições vertical e sobre cabeça, menores diâmetros de arame são utilizados com baixas correntes de soldagem (PESSOA, 2009).

A definição ou escolha pelo melhor diâmetro depende da aplicação ou tipo de solda a ser executada.

Outros fatores que ajudam na definição da escolha correta do diâmetro do arame são:

- Potência do equipamento de solda – Por exemplo, uma fonte de energia de 200 amperes não deve utilizar arame de 1,2 mm, sendo os mais recomendados os diâmetros de 0,6 a 1 mm para aplicações que não necessitem de elevado fator de trabalho. Para trabalhos

de elevada produção ou fator de trabalho, deve-se optar por fontes de energia acima de 300 amperes de saída (SUMIG, 2018).

- Espessura da chapa a ser soldada – Chapas finas (menores do que 6 mm de espessura, soldadas manualmente) geralmente utilizam arame de 0,8 a 1 mm de diâmetro. Em casos especiais, como em chapas com menos de 2 mm de espessura, é importante considerar o uso de outros processos, como o TIG, por exemplo (SUMIG, 2018).
- Posição de soldagem – Soldas fora de posição geralmente utilizam transferências por curto-circuito e/ou pulsada e usualmente requerem arame de diâmetro de 0,9 ou 1mm, sempre considerando também a espessura da chapa (SUMIG, 2018).
- Tipo de junta e técnica de soldagem a ser utilizada – Alguns tipos de juntas que apresentam abertura excessiva ou irregular exigem o uso de técnicas de soldagem (manuseio da tocha) especiais e diâmetros de arame menor do que 1,2 mm (SUMIG, 2018).
- Tipo de transferência metálica – Em soldas por curto-circuito, o diâmetro de 1,2 mm é o máximo a possibilitar bom desempenho, mas o ideal são os de 1mm ou abaixo, pois eles operam em uma faixa de ajuste mais confortável para a operação (SUMIG, 2018).

**Figura 11:** Relação entre metal de base, diâmetro do arame eletrodo e a faixa de corrente.

Material	Diâmetro do eletrodo	Faixa de corrente
Aço carbono e de baixa liga	0,8	70 - 180
	1,0	90 - 220
	1,2	100 - 270
	1,6	190 - 360
	2,4	280 - 490
	3,2	270 - 580
Aço inox austenítico	0,8	60 - 180
	1,0	80 - 200
	1,2	90 - 260
	1,6	170 - 320
	2,4	250 - 450
Alumínio	0,8	70 - 150
	1,2	80 - 200
	1,6	120 - 300
	2,4	180 - 350
Cobre	0,8	70 - 170
	1,2	90 - 250
	1,6	150 - 400

Fonte: INFOSOLDA, 2013

### 2.1.4.7 ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA TOCHA

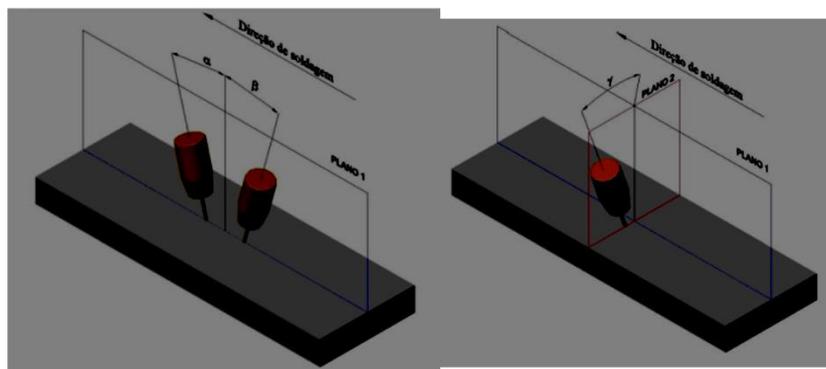
A posição da tocha diz respeito ao ângulo de inclinação da tocha em relação ao cordão e influencia a largura, a altura e a penetração do cordão (INFOSOLDA, 2013).

Considerando o plano 1 da Figura 12, a tocha pode assumir dois tipos de inclinação na soldagem GMAW. A primeira corresponde ao ângulo **a**, denominada de soldagem “puxando” que direciona a tocha mais para poça de fusão, proporcionando uma maior taxa de transferência de calor para a peça, aumentando a penetração para ângulos de até cerca de 25°, quando depois começa a diminuir. A segunda, ângulo **b**, é denominada soldagem “empurrando” direciona a tocha mais para o metal base (mais frio) proporcionando uma redução na penetração e produzindo um cordão de solda mais largo e plano (PESSOA, 2009).

A tocha ainda pode ser inclinada de um ângulo  $\gamma$  no plano 2 da Figura 2 para facilitar a visualização do arco pelo operador na soldagem semiautomática e em soldagem de revestimento para minimizar a presença de defeitos no “pé” do cordão de solda (PESSOA, 2009).

**Figura 3:** Ilustração simplificada do ângulo de inclinação da tocha e direção de soldagem

Fonte: PESSOA, 2009.



Fonte: PESSOA, 2009

## 2.1.5 CONSUMÍVEIS DO PROCESSO GMAW

### 2.1.5.1 GASES

O processo ficou caracterizado no mercado como GMAW ou MIGMAG, ou seja, MIG (*Metal Inert Gas*), quando o gás de proteção utilizado para proteção da poça de fusão é inerte, ou MAG (*Metal Active Gas*), quando o gás de proteção da poça de fusão é ativo (ESAB, 2019).

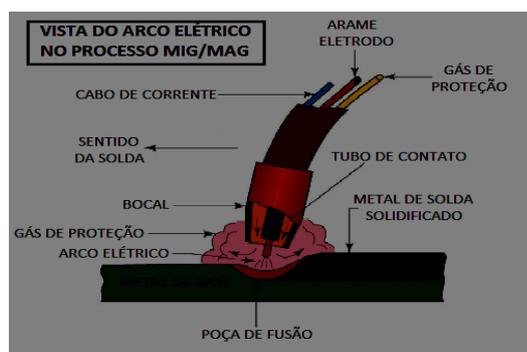
**Figura 4:** Registro regulador e medidor de vazão de gás.



Fonte: INFOSOLDA, 2013.

Os gases de proteção têm como função primordial a proteção da poça de fusão, expulsando os gases atmosféricos da região da solda, principalmente Oxigênio, Nitrogênio e Hidrogênio, que são gases prejudiciais ao processo de soldagem. Além disso, os gases de proteção, ainda possuem funções relacionadas a soldabilidade, penetração e pequena participação na composição química da poça de fusão, quando gases ativos são empregados na soldagem (ESAB, 2019).

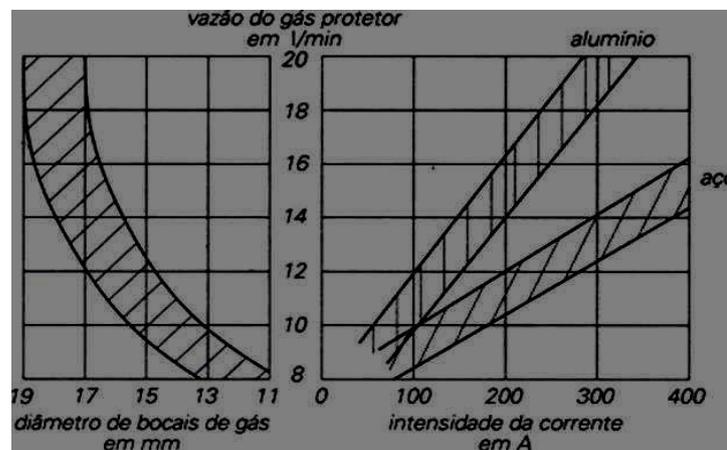
**Figura 5:** Apresentação simplificada do arco elétrico com auxílio da proteção gasosa



Fonte: SUMIG, 2018.

A vazão do gás nos processos GMAW refere-se à quantidade em litros de gás protetor espalhada por minuto em volta da poça de fusão, em função da intensidade de corrente. Assim, quanto mais elevada é a intensidade de corrente, maior deve ser a vazão do gás e maior o diâmetro do bocal da tocha. Se a vazão do gás for muito baixa, não haverá quantidade suficiente de gás para manter a cortina protetora; por outro lado, se for excessiva, pode acontecer uma turbulência no gás, provocando sucção de ar. A vazão de gás pode ser visualizada no gráfico (INFOSOLDA, 2013).

**Figura 6:** Relação entre a intensidade da corrente, a vazão do gás de proteção e o diâmetro do bocal de gás



Fonte: INFOSOLDA, 2013.

A escolha do gás dependerá da aplicação, já que cada gás de proteção influenciará as características mecânicas e metalúrgicas dos cordões de solda de maneira unívoca.

O Argônio é um gás inerte e possui maior densidade que o ar. Proporciona um arco estável e uma boa proteção de poça de fusão. Sua baixa energia de ionização facilita a reignição do arco e gera uma menor potência do arco, o que o torna mais adequado que o hélio para soldagens de ligas ferrosas em chapas finas ou fora de posição (PESSOA, 2009).

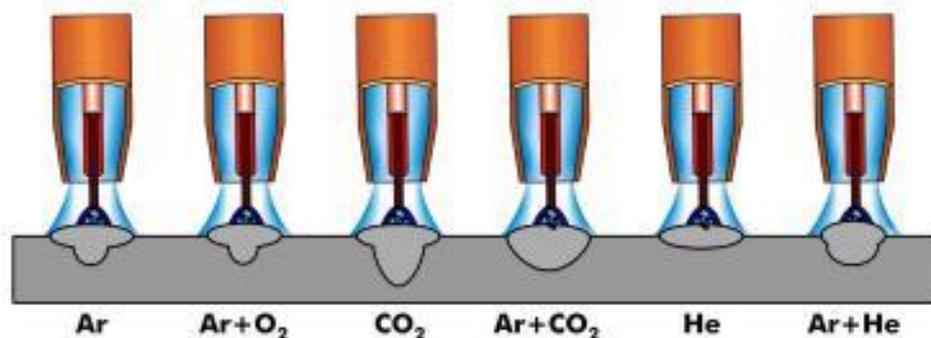
O Hélio, assim como o argônio, é inerte. Sua densidade é menor que a do ar. Sua alta energia de ionização dificulta a reabertura do arco, mas, por apresentar uma maior condutividade térmica que o argônio, este gás confere a solda uma grande penetração. Por isso é mais utilizado nas soldagens de materiais de elevada espessura, especialmente aquele de elevada condutividade térmica, como o alumínio e o cobre (PESSOA, 2009).

O Dióxido de carbono é um gás ativo e tem como característica uma alta condutividade térmica. A utilização do CO<sub>2</sub> puro como gás de proteção apresenta uma vantagem muito grande em comparação à utilização de gases inerte que o custo do gás. Este gás normalmente é utilizado nas soldagens de aços baixo carbono (PESSOA, 2009).

O Nitrogênio apesar de ser considerado inerte em baixas temperaturas, reage com certos matérias (Al, Mg e Ti) de forma que não é utilizado como componente principal de uma mistura de gás de proteção. Tem alta entalpia, como o H<sub>2</sub>, transferindo mais calor para a solda, mas favorece a formação de poros (PESSOA, 2009).

Os gases de proteção utilizados no processo MIG são o argônio ou o hélio ou ainda uma mistura de ambos. Eles ainda se dividem quanto à composição, que pode ser simples contendo apenas um tipo de gás, ou podem ser compostos por misturas, possuindo dois ou mais tipos de gases em sua composição.

**Figura 7:** Apresentação simplificada do tipo de gás quanto a sua penetração



Fonte: SENAI, 2004

O processo MAG utiliza CO<sub>2</sub> ou mistura de gás inerte com CO<sub>2</sub> ou com oxigênio. O emprego de CO<sub>2</sub>, um gás oxidante mais barato que outros gases de proteção, faz do processo MAG um dos mais utilizados na soldagem de estruturas de aço. Quando submetido a altas temperaturas, o CO<sub>2</sub> decompõe-se em CO e O<sub>2</sub> segundo uma reação química (INFOSOLDA, 2013).

Quando se utiliza mistura de argônio e CO<sub>2</sub>, é preciso atentar para a porcentagem de argônio existente na mistura. O aumento de argônio no CO<sub>2</sub> serve para estabilizar o arco

elétrico e, em consequência, atenuar o respingo, uma vez que há um aumento na frequência de gases de proteção (INFOSOLDA, 2013).

#### 2.1.5.2 ARAME ELETRODO

Frequentemente os arames são classificados pela sua composição química e propriedades mecânicas, segundo AWS A5.18. O exemplo abaixo mostra a especificação de arame sólido destinado à soldagem de aço carbono.

Exemplo: *Arame ER 70 S 6*.

Neste caso:

ER – O prefixo E indica Eletrodo e ER sob forma de arame ou vareta;

70 – Indica o limite mínimo de resistência à tração multiplicado por 1.000 psi que neste caso seria de 70.000 psi ou 490 Mpa;

S – Indica arame ou vareta sólido;

6 – Indica uma determinada composição química e obtida conforme ensaios específicos estabelecidos pela especificação AWS.

Existe uma faixa muito grande de tipos ou classificação de arame para os processos GMAW. A maioria dos arames se encontram em especificações da AWS (*Associação Americana de Soldagem*). As classificações mais comuns são: arames para aços carbono, aços de baixa liga, aços inoxidáveis, cobre, alumínio, ligas de níquel e titânio como mostra a tabela 2 (SUMIG, 2018).

**Tabela 2:** Especificações da AWS de materiais de adição para GMAW (AWS, 2004).

<b>Especificação</b>	<b>Materiais</b>
AWS	Alumínio e suas ligas
AWS	Cobre e suas ligas
AWS	Aço inox e aços com alto Cr
AWS	Níquel e suas ligas
AWS	Titânio e suas ligas
AWS	Aço Carbono e baixa liga
AWS	Magnésio e suas ligas

Fonte: SUMIG, 2018.

### 2.1.5.3 TRANSFERÊNCIA METÁLICA

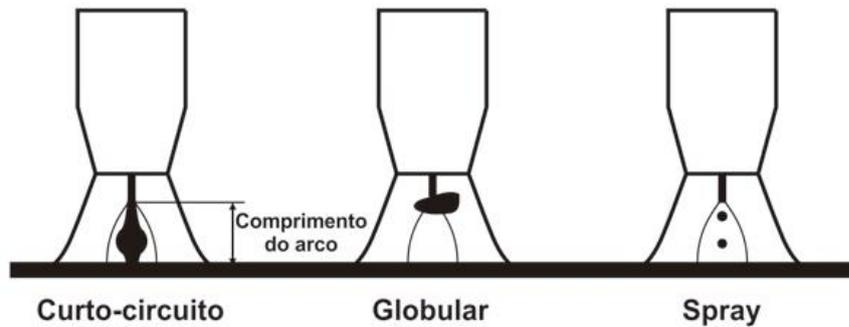
Devido à grande influência na soldagem, o estudo dos fenômenos de transferência metálica começou quase que no mesmo período da implementação dos processos que empregam eletrodos consumíveis (PESSOA, 2009)

As características do processo GMAW são definidas pelos tipos de transferências metálicas que por sua vez são determinadas por diversos fatores: amperagem, voltagem, diâmetro do arame, comprimento do arco, gás de proteção e pelos equipamentos utilizados.

A atual geração destes equipamentos é programável, intercalando controle no arco elétrico com a possibilidade de pulsação e programas sinérgicos pré-selecionados (ALUSOLDA, 2018)

Como mostra a Figura 17, foram identificados os três principais modos de transferência do metal de adição:

**Figura 8:** Apresentação simplificada das transferências metálicas.



Fonte: ALUSOLDA, 2018.

**Transferência metálica por Curto circuito** – O processo GMAW com transferência por curto-circuito engloba os processos que são realizados com baixos níveis de corrente e diâmetro do arame. Os gases geralmente utilizados nesse modo de transferência são misturas de Argônio e  $CO_2$  (75%/25%), para solda em aço carbono e aços de baixa liga e Argônio puro ou com adição de Hélio para metais não ferrosos (alumínio e suas ligas) (DUTRA, 2014).

Uma gota de metal fundido é formada no fim do eletrodo. Quando ela se torna suficientemente grande para entrar em contato com a poça de fusão, o arco sofre um curto-circuito. Isto eleva a corrente de soldagem e a corrente é liberada, permitindo que o arco seja ignitado novamente. O aumento da corrente causado pelo curto-circuito gera respingos (FREIRE, 2011).

**Transferência metálica Globular** – Este modo de transferência ocorre no ponto entre a corrente de curto-circuito e spray. Sua característica é produzir gotas com tamanho maior que o arco, e por vezes o curto-circuito também ocorre, o que faz com que o método não seja indicado pois é instável e produz altos níveis de respingos (DUTRA, 2014).

O tamanho, a forma e a posição da gota, assim como a frequência de transferência, dependem, principalmente, do diâmetro e composição do arame-eletrodo, do gás de proteção e da intensidade da corrente.

A gota permanece no arame devido, principalmente, à ação das forças de tensão superficial e de vaporização, até que o volume da gota se torne suficientemente grande. Com o seu peso maior a gota se destaca devido à força gravitacional (FREIRE, 2011).

O diâmetro das gotas aumenta sendo igual ou maior que o diâmetro do arame. A fase globular aparece nas faixas de corrente entre 200 e 250 amperes (ALUSOLDA, 2018).

Devido à baixa corrente, esse tipo de transferência tem uma baixa taxa de produção. Outro fator negativo a este tipo de transferência é que, por ser governada principalmente pela força gravitacional ela é limitada à posição de soldagem plana (FREIRE, 2011).

**Transferência metálica Goticular (Spray)** – Também conhecida como transferência “Spray”, sua característica é de gotas de pequeno diâmetro (com diâmetro próximo do eletrodo) e com alta frequência de destacamento (FREIRE, 2011).

Ocorre normalmente na soldagem GMAW com polaridade positiva, com altas correntes (altas forças eletromagnéticas que facilitam o destacamento) e tensões elevadas (para garantir arcos longos) e em atmosfera de argônio (FREIRE, 2011).

O diâmetro das gotas sendo transferidas se reduz lentamente até que, a um nível determinado da corrente (corrente de transição, “ $I_{tr}$ ”), ocorre uma rápida redução do diâmetro das gotas e, portanto, um aumento da frequência de transferências ao mesmo tempo em que o arco, antes confinado à porção inferior da gota ainda ligada ao arame, passa a envolvê-la completamente (MODENESI, 2012).

Nestas condições, a transferência não é mais controlada pela gravidade e as gotas são transferidas em direção à poça de fusão independentemente da posição de soldagem. A transferência goticular ou spray ocorre usualmente de forma muito estável, com mínimas perturbações do arco e poucos respingos (MODENESI, 2012).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados e descritos todos os equipamentos, os acessórios e os materiais de consumo utilizados. O objetivo deste capítulo é comparar as informações adquiridas de forma que seja possível a compreensão e reprodução das condições dos ensaios. Para simular a operação de revestimento, se propôs depositar cordões sobre chapas de aço carbono ABNT 1020 (metal base) na posição plana, pelo processo GMAW com alimentação de arame de aço inoxidável AISI E-308L com diâmetro de 1,0 mm (metal de adição) utilizando uma fonte de soldagem tiristorizada acoplada à um robô cartesiano de soldagem. Os parâmetros de soldagem que foram de interesse para análise serão o tipo do *tecimento*, *velocidade de alimentação do arame* (metal de adição) e *velocidade de soldagem* sobre as características geométricas do cordão de revestimento, inclusive foram adotadas três diferentes níveis de energia para a deposição de cordões simples, os quais foram executados sem e com o uso do *tecimento*, conforme a Tabela 4. A fim de determinar a influência dos parâmetros de soldagem, as principais variáveis de resposta avaliadas serão visando a otimização da operação no sentido de minimizar a relação entre reforço e largura do cordão de solda e diluição.

#### 3.1 MATERIAIS DE CONSUMO

Os *materiais de consumo* empregados neste trabalho estão agrupados em três categorias: o gás de proteção, o metal de adição e o metal base.

##### 3.1.1 METAL BASE

Os materiais do metal base utilizados foram chapas de aço carbono ABNT 1020.

##### 3.1.2 METAL DE ADIÇÃO

Foi utilizado como metal de adição somente o arame eletrodo: Arame MJV MIX S 308L para solda pelo processo GMAW com nomenclatura AWS A-5.9 ER 308L Si.

**Tabela 3:** Composição química média do depósito

C	Cr	Ni	Si	Mn
0,04	18,00-21,00	9,00-11,00	0,90	0,50-2,50

Fonte: ESAB, 2020.

### 3.1.3 GÁS DE PROTEÇÃO

Nos ensaios, foi utilizado somente um tipo de gás de proteção: argônio Puro (100%Ar).

### 3.2 EQUIPAMENTOS EMPREGADOS NAS SOLDAGENS

A relação dos equipamentos citados nesse trabalho, tem como objetivo informar as características de cada dispositivo empregado e sua aplicação.

- Um robô cartesiano para deslocamento automático da tocha de soldagem Figura 18;
- Uma fonte de soldagem eletrônica modelo VULCANO MIG 412 (com medidor de velocidade de alimentação de arame - Valim) com corrente máxima de 400A.

**Figura 98:** Robô cartesiano

Fonte: LIMA, 2018.

#### 3.2.1 EQUIPAMENTOS PARA PREPARAÇÃO METALGRÁFICA

A seguir são descritos os equipamentos utilizados para preparação dos corpos de provas soldados para análise metalográfica:

- Cortadora metalográfica modelo (CM 80), equipamento utilizado para corte das amostras;
- Lixadeira e politriz modelo (PLF);
- Mistura de Nital 3% em Álcool 97%;
- (IMAJE J) Software utilizado para fazer as medidas das características geométricas: largura (L), reforço (R), penetração (P), área fundida (Af), área diluída (Ad).

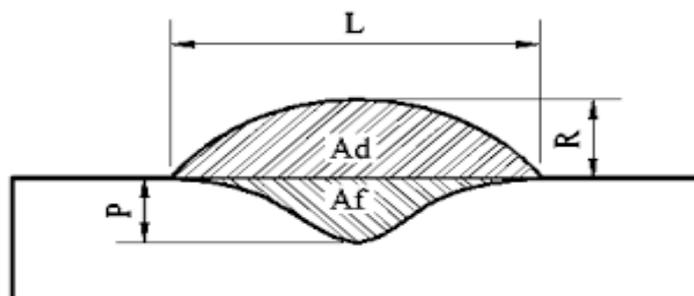
### 3.2.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

A corrente de soldagem é de primordial importância na penetração, a penetração da solda é diretamente proporcional à corrente de soldagem. Um aumento ou uma diminuição na corrente aumentará ou diminuirá a penetração da solda, respectivamente.

A penetração (P) de solda é a distância que a linha de fusão se estende abaixo da superfície do material sendo soldado (ESAB, 2005).

Entretanto, tem sido observado que a corrente de soldagem pode ser variada sem alteração da velocidade de alimentação do arame, particularmente através da variação da extensão do eletrodo (distância entre o bico de contato e a peça). O efeito da extensão do eletrodo na penetração da solda é de natureza oposta ao da corrente de soldagem. Um aumento na extensão do eletrodo diminuirá a corrente de soldagem e a penetração da solda e vice-versa (ESAB, 2005).

**Figura 19:** Representação esquemática das dimensões geométricas das seções transversais dos cordões/ revestimentos soldados



Fonte: PESSOA, 2009.

$L$  = Largura do cordão;

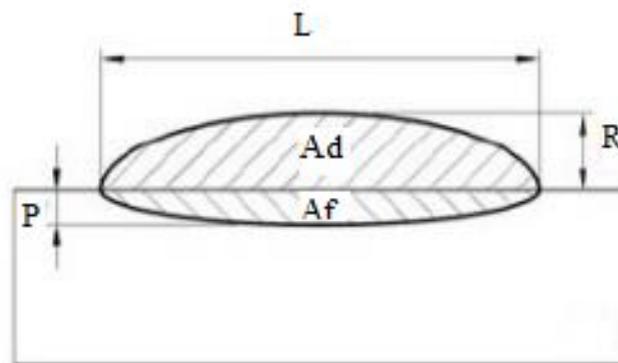
$R$  = Reforço do cordão;

$P$  = Penetração do cordão;

Para  $Ad$  = Área depositada do cordão e  $Af$  = Área fundida do metal de base.

Outro fator importantíssimo sobre a qualidade da solda de revestimento é o nível de diluição “ $D$ ” do substrato no metal de solda, que também é influenciado diretamente pelas características geométricas do cordão de solda Figura 19. Esse nível de diluição é decisivo sobre a resistência à corrosão dos revestimentos aplicados por soldagem. A porcentagem de diluição de um cordão de solda pode ser definida como a razão entre a área proporcional da quantidade de metal base ( $Af$ ) pela soma da área proporcional de material de adição fundido ( $Ad$ ) com a área ( $Af$ ). As áreas  $Ad$  e  $Af$  são obtidas pela análise de imagem da seção transversal do cordão de solda Figura 26. O valor da diluição depende do processo de soldagem, das condições de operação e da espessura da chapa (MODENESI, 2012). Sendo a avaliação da diluição ( $D\%$ ) dada pela Equação 2.

**Figura 20:** Representação esquemática das dimensões geométricas da diluição.



Fonte: MODENESI, 2012.

$$D = \frac{Af}{Ad + Af} \times 100(\%) \quad (2)$$

### 3.3 CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS

A economia de energia sempre é motivo de assunto para se preocupar, e para o setor de soldagem não é diferente, pois além de contribuir com o meio ambiente, a economia de energia é sinônimo de economia de custos no final do mês, e isso poderá refletir diretamente no preço final do seu produto ou serviço, tornando o seu negócio mais competitivo ou não. De acordo como foi apresentado na *seção 1* a soldagem consiste no processo de unir materiais, em especial metais. Este processo é largamente utilizado na fabricação e recuperação de equipamentos, peças e estruturas e, por isso, exige uma atenção especial na escolha dos materiais para que esses não danifiquem os equipamentos (EUTECTIC CASTOLIN, 2017).

Sendo assim, ao adquirir um equipamento de soldagem, deve se levar em consideração não apenas o preço, mas o ciclo do trabalho, a eficiência elétrica, a segurança, o custo de manutenção e a garantia. Estes equipamentos, geralmente, consomem energia mesmo quando não estão soldando. Isso porque, a maioria deles não possui a chave "liga-desliga", além de não oferecer nenhuma proteção térmica ou elétrica. Por isso, é sempre melhor investir em equipamentos de qualidade (EUTECTIC CASTOLIN, 2017).

Existem muitas variáveis capazes de influenciar no desempenho econômico, entre elas podemos citar a taxa de fusão (TF), taxa de deposição (TD) e energia de soldagem (Es), que definem características econômicas do consumível na soldagem de revestimento.

- Taxa de fusão do arame (TF) é a quantidade de massa fundida do arame por unidade de tempo, e pode ser calculada pela Equação 3.

$$TF = \frac{3,6 * P_{\text{aramé}} * \text{comp}}{ts} \left( \frac{Kg}{h} \right)$$

(3)

Onde:

$P_{\text{aramé}}$  é a densidade linear do arame (g/m);

$\text{comp}$  é o comprimento do arame consumido (m);

$ts$  é o tempo de soldagem (s).

- Taxa de deposição do arame (TD) é a quantidade de massa fundida do arame por unidade de tempo que realmente foi incorporada ao metal de solda, dada através da Equação 4.

$$TD = \frac{3,6 * (Pf - Pi)}{ts} \quad (4)$$

Onde:

$Pf$  é o peso final da chapa (g);

$Pi$  é o peso inicial da chapa (g);

$ts$  é o tempo de soldagem (s).

## 4 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Conforme apresentado anteriormente, o presente trabalho busca identificar a combinação dos parâmetros que permitam a maximização das características geométricas do cordão de revestimento e ao mesmo tempo, níveis mínimos de qualidade. Dessa forma, considerando a geometria do cordão de solda, deseja-se a:

- Maximização da largura do cordão;
- Maximização do reforço;
- Minimização da penetração;
- Minimização da diluição.

Para a produtividade do processo, busca-se a:

- Maximização da taxa de deposição;
- Maximização do rendimento.

Quanto à qualidade superficial dos revestimentos, deseja-se que os cordões sejam otimizados considerando as seguintes condições:

- Ocorrência nula de defeitos;
- Pequenas falhas quanto ao recobrimento da escória.

### 4.1 PROCESSO DE REVESTIMENTO

Esta seção é formada pela execução de ensaios exploratórios, devido à necessidade de um melhor entendimento prático da faixa operacional dos parâmetros de soldagem (*DBCP*, *ângulo tocha*, *tensão*, *gás*, *metal de adição e metal base*), para obtenção da transferência metálica por curto-circuito no processo GMAW operando em modo de tensão constante. A partir daí foram realizados cordões de solda em chapas de aço ABNT 1020, estas barras foram pesadas, obtendo-se o valor da massa inicial ( $P_i$ ) – massa do corpo de prova antes da soldagem, e a massa final ( $P_f$ ), massa do corpo de prova após a soldagem mostrados nas Tabelas 4, 5 e 6, medido após uma limpeza para retirada de salpicos em uma balança de precisão. Assim para evitar variações da DBCP (distância entre o bico de contato e a peça), as soldagens foram executadas fixando a DBCP em 14mm. Foram utilizadas as seguintes variáveis de controle: efeito do tecimento (Tecimento), velocidade de soldagem ( $V_s$ ) e velocidade de alimentação

(Valim). E como variáveis de resposta para escolha dos melhores parâmetros para etapa seguinte foram adotados os seguintes critérios: largura (L), penetração (P), reforço (R), diluição (D%), a razão (R/L) e o aspecto superficial. Neste primeiro caso, não foram adquiridos os valores dos parâmetros para análise, pois houve uma má formação dos cordões de soldas, até conseguir encontrar uma combinação ótima dos parâmetros de soldagem, como mostra as Figuras 21, 22 e 23 respectivamente.

**Tabela 4:** Medidas e valores obtidos sem tecimento (ST).

ENSAIO	C – (mm)	l – (mm)	E – (mm)	Pi – (g)	Pf – (g)	Adição – (g)	Us – (v)	I – (amp)	Vs – (m/min)	Valim – (m/min)
<b>A</b>	150	37	7	168	195	27	19,7	9,7	0,24	7
<b>B</b>	150	37	7	166	191	25	19,3	9,9	0,24	7
<b>C</b>	150	37	7	180	212	32	21,4	8,9	0,24	7
<b>D</b>	150	37	7	173	203	30	20,9	9,2	0,24	7
<b>E</b>	150	37	7	165	190	25	19,3	9,9	0,24	7

Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Tabela 5:** Medidas e valores obtidos com tecimento serra (TS).

ENSAIO	C – mm	l – mm	E – mm	Pi – (g)	Pf – (g)	Adição – (g)	Us – (v)	I – (amp)	Vs – (m/min)	Valim – (m/min)
<b>F</b>	150	37	7	183	215	32	22,4	10,9	0,11	8
<b>G</b>	150	37	7	184	212	28	21,9	12,9	0,11	8
<b>H</b>	150	37	7	177	205	28	21,9	12,9	0,11	8
<b>I</b>	150	37	7	187	219	32	22,4	10,9	0,11	8
<b>J</b>	150	37	7	176	203	27	21,7	13,4	0,11	8

Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Tabela 6:** Medidas e valores obtidos com tecimento quadrado (TQ).

ENSAIO	C – mm	l – mm	E – mm	Pi – (g)	Pf – (g)	Adição – (g)	Us – (v)	I – (amp)	Vs – (m/min)	Valim – (m/min)
<b>L</b>	150	37	7	178	227	49	23,4	15,4	0,075	10
<b>M</b>	150	37	7	183	220	37	22,9	15,9	0,075	10
<b>N</b>	150	37	7	191	226	35	22,7	16,2	0,075	10
<b>O</b>	150	37	7	183	218	35	22,7	16,2	0,075	10
<b>P</b>	150	37	7	178	231	53	23,9	14,9	0,075	10

Fonte: Aatoria Própria, 2020.

**Figura 21:** Cordões de solda executados para encontrar ótimos parâmetros de operação (1 e 2)

Fonte: Aatoria Própria, 2020.

**Figura 22:** Cordões de solda iniciais realizados à procura de encontrar ótimos parâmetros de operação (3 e 4)



Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Figura 23:** Cordões de solda iniciais (5 e 6)



Fonte: Autoria Própria, 2020.

Com base nos ensaios iniciais, foram identificados os fatores de controle e seus níveis mais influente para obtenção da transferência metálica por curto-circuito, bem como os fatores

capazes de influenciar de forma significativa as características geométricas dos cordões de solda.

#### 4.1.1 PLANEJAMENTO DOS FATORES DE CONTROLE

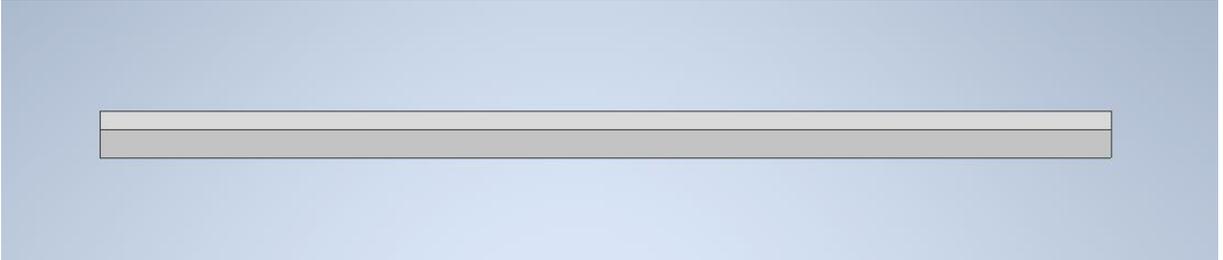
- Tensão de referência ( $U_r$ )

Tanto a tensão como a velocidade de soldagem possuem um pequeno efeito na geometria (forma) do cordão de solda. Para alterar a geometria do cordão de solda deve ser feito um ajuste na quantidade de metal de solda depositado (g) por unidade de comprimento linear da solda (m). A tensão e a velocidade de soldagem são os parâmetros mais influentes no controle do tamanho do cordão de solda. A largura e a altura do cordão de solda aumentam ou diminuem conjuntamente. O tamanho do cordão de solda também pode ser modificado variando-se apenas a velocidade de soldagem. O tamanho do cordão de solda e a velocidade de soldagem são inversamente relacionados. Uma diminuição na velocidade de soldagem resultará num aumento da largura e da altura do cordão de solda e vice-versa (ESAB, 2005). Para avaliar o efeito da tensão de referência sobre as variáveis de respostas, foram adotados três níveis para esse fator de controle: 24v, 26v e 28v, conforme mostrado na Tabela 4.

- Tipo de tecimento (Tecimento)

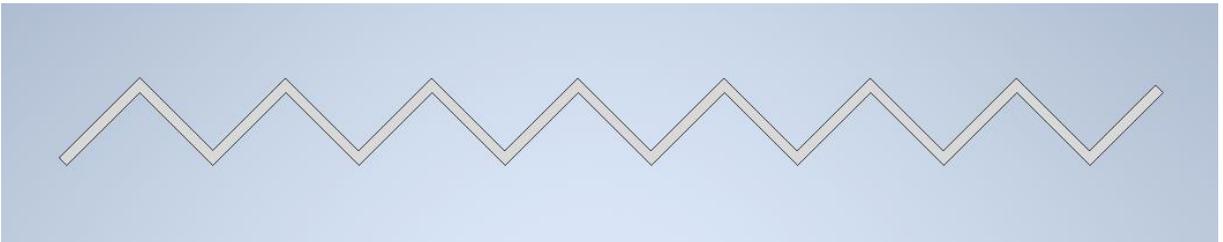
O tipo de tecimento foi escolhido por ter forte influência no formato do perfil geométrico do cordão de solda. Para avaliar o efeito do tecimento sobre as variáveis de respostas, foram adotados três níveis para esse fator de controle: *soldagem sem tecimento* (figura 24), *soldagem com tecimento tipo serra* (figura 25) e *soldagem com tecimento quadrado* (figuras 26). Para cada geometria dos cordões de solda e sua finalidade foi necessário um pré-projeto em CAD, visando um melhor entendimento da geometria dos cordões de soldas a serem executados e os movimentos que o robô cartesiano iria realizar em seu plano de trabalho (*largura total do tecimento, comprimento total do cordão, comprimento da chapa*). Em seguida foi realizada a geração de um código G utilizando o software “*Repetier Host 3D*”. Essa ferramenta é responsável pelo controle de movimentos do robô cartesiano. A partir do tamanho da chapa a ser revestida, foi pré-estabelecido o comprimento do cordão de solda a velocidade de soldagem ( $V_s$ ), a DBCP (distância entre o bico de contato e a peça) e o aspecto superficial.

**Figura 24:** Cordão de solda sem tecimento (ST), software repetier host 3D



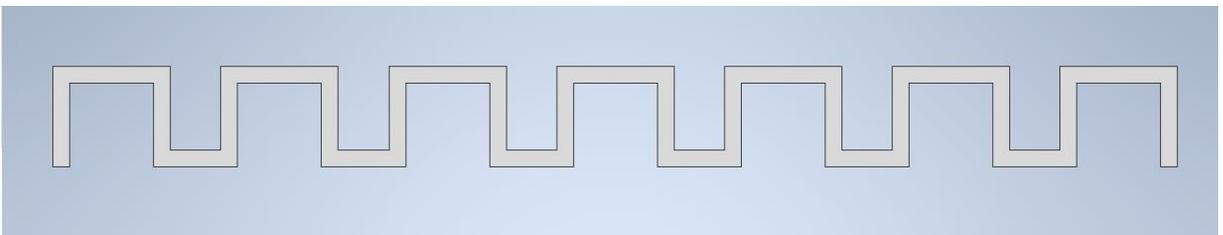
Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Figura 25:** Cordão de solda tecimento serra (TS), software repetier host 3D



Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Figura 26:** Cordão de solda tecimento quadrado (TQ), software repetier host 3D



Fonte: Autoria Própria, 2020.

- Velocidade de alimentação do arame (Valim)

A alimentação do material de adição é outro parâmetro importante, pois em processos manuais, a maneira como o material é adicionado influencia no número de passes e na aparência da solda acabada. Na soldagem mecanizada a posição e a velocidade de alimentação do arame são importantes pois uma velocidade de alimentação de arame elevada pode provocar um reforço excessivo do cordão de solda e até uma fusão parcial do arame. No caso da posição se a alimentação for feita no arco de soldagem, ao invés de ser feita na poça de fusão, a transferência de metal para a peça se torna muito irregular o que pode causar instabilidade no arco e provocar defeito no cordão de solda. (MARQUES, 2011). Estudos feitos por (SHANMUGAN; MURUGAN, 1999) demonstram que o aumento da velocidade de alimentação do arame acarreta um decréscimo na diluição. Isso acontece devido ao fato de que com o aumento da velocidade de alimentação do arame uma maior quantidade de material terá que ser fundida com a mesma energia de soldagem.

- Velocidade de soldagem ( $V_s$ )

Este fator foi escolhido, pois sua variação também é capaz de modificar a geometria do cordão de solda. Para avaliar a influência deste fator de controle, foi necessário cronometrar o tempo(s) em que o robô necessitou para realizar cada tipo de tecimento(mm). Em seguida foi feito o cálculo (equação 1), onde obteve as três velocidades de soldagem diferentes: 0,24 m/min, 0,11m/min e 0,075m/min representados pelos níveis 1, 2 e 3 respectivamente. Os fatores bem como seus três níveis escolhidos para realização dos ensaios podem ser vistos conjuntamente na Tabela 7.

**Tabela 7:** Fatores de controle e seu níveis.

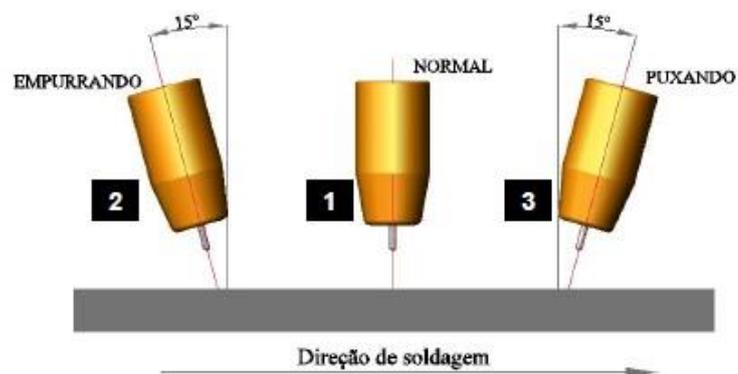
Fatores de Controle	Nível		
	1	2	3
Ur (v)	24	26	28
Tecimento (T)	(ST)	(TS)	(TQ)
$V_s$ (m/min)	0,24	0,11	0,075
Valim (m/min)	7	8	10

Fonte: Autoria Própria, 2020.

**a) Fatores de controle e de seu níveis**

Os ensaios foram feitos utilizando três velocidade de alimentação ( $V_{alim} = 7, 8$  e  $10$  m/min), três velocidades de soldagem ( $V_s = 0,24, 0,11$  e  $0,075$  m/min), três tensões de referências ( $U_r = 24v, 26v$  e  $28v$ ) e por fim três tipos de tecimento (Sem Tecimento (ST), Tecimento tipo Serra (TS), Tecimento quadrado (TQ)). Nestes ensaios, as soldagens foram realizadas por simples deposição do arame eletrodo AWS E-308L Si com diâmetro de  $1,0$  mm em chapas de aço baixo carbono ABNT 1020 com dimensões de  $150 \times 37 \times 7$  mm. Foi utilizado, como gás de proteção, argônio puro a uma vazão de  $15$  L/min. a distância entre o bico de contato e a peça (DBCP) foi mantida em  $14$  mm para todas as soldagens. Antes de iniciar a soldagem, os corpos de prova foram limpos mecanicamente por uma escova com cerdas de aço, para remoção de possível contaminação da superfície dos mesmos.

**Figura 27:** Posição da tocha



Fonte: PESSOA, 2009

A Tabela 8 apresenta as combinações dos parâmetros de soldagem e os consumíveis para a realização dos ensaios referentes a esta etapa do trabalho.

**Tabela 8:** Planejamento dos fatores de controle.

ENSAIO	Tensão de Referência (v)	Técnica da Tocha	Ângulo de Inclinação	Gás de Proteção	Tipo de Tecimento	Velim (m/min)
A	24	Puxando	15°	(100%Argônio)	(ST)	7
B	24	Puxando	15°	(100%Argônio)	(ST)	7
C	24	Puxando	15°	(100%Argônio)	(ST)	7
D	24	Puxando	15°	(100%Argônio)	(ST)	7
E	24	Puxando	15°	(100%Argônio)	(ST)	7
F	26	Puxando	15°	(100%Argônio)	(TS)	8
G	26	Puxando	15°	(100%Argônio)	(TS)	8
H	26	Puxando	15°	(100%Argônio)	(TS)	8
I	26	Puxando	15°	(100%Argônio)	(TS)	8
J	26	Puxando	15°	(100%Argônio)	(TS)	8
L	28	Puxando	15°	(100%Argônio)	(TQ)	10
M	28	Puxando	15°	(100%Argônio)	(TQ)	10
N	28	Puxando	15°	(100%Argônio)	(TQ)	10
O	28	Puxando	15°	(100%Argônio)	(TQ)	10
P	28	Puxando	15°	(100%Argônio)	(TQ)	10

Fonte: Autoria Própria, 2020.

#### 4.1.2 METALOGRAFIA E MEDIÇÃO

Esta seção foi dividida em duas atividades básicas:

- Preparação metalográfica;
- Medição das características geométricas.

Para cada uma das chapas revestidas, foram retiradas 2 (duas) amostras com 10 mm de largura dos cordões de solda. O corte da 1ª amostra foi feito a 30 mm do início do cordão de

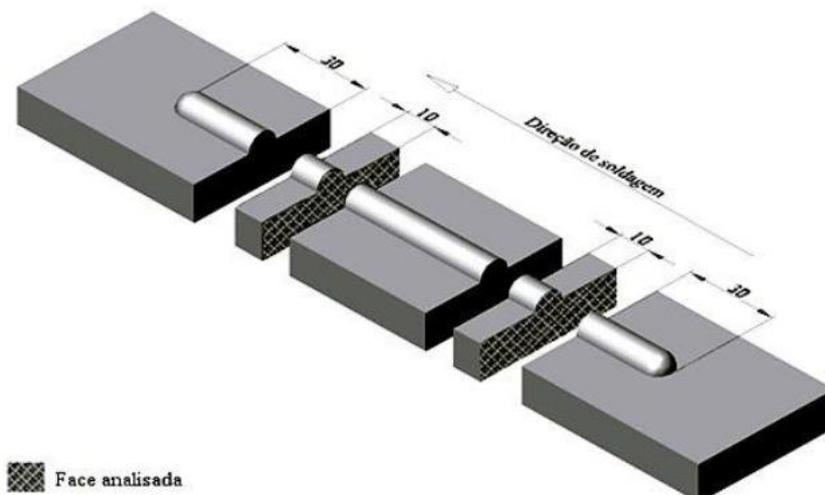
solda, e a extração da 2ª amostra se deu a 30 mm do final do cordão de solda de cada corpo de prova. As Figuras 29 e 30, mostram as regiões de onde foram extraídas as amostras para realização da preparação metalográfica.

**Figura 28:** Cordão de solda finalizado



Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Figura 29:** Extração das amostras dos corpos de prova, vista computadorizada



Fonte: PESSOA, 2009.

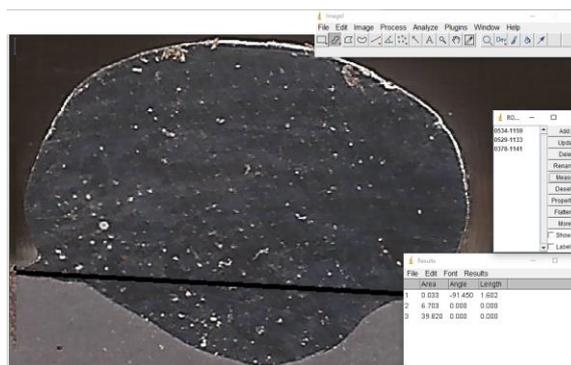
**Figura 30:** Extração da amostra, ensaio com tecimento quadrado (TQ), vista real.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

Após os corpos de prova serem cortados, suas seções transversais foram devidamente preparadas para serem lixadas. O lixamento consistiu em lixar usando “lixas d’água” de granulação de 220, 320, 400, 600 e 1200. Após o lixamento foi feito um polimento com *Alumina* (um composto químico de alumínio e oxigênio), em seguida atacadas com *Nital 2%* durante 10s e por fim levadas para um scanner para revelação do perfil geométrico do cordão de solda. Após a preparação metalográfica os corpos de provas foram submetidos a uma análise mais profunda utilizando o “Software IMAJE J” para fazer as medidas das características geométricas como mostra na Figura 31.

**Figura 31:** Medidas das características geométricas: penetração (mm), área do reforço (mm<sup>2</sup>), área da penetração (mm<sup>2</sup>)



Fonte: Autoria Própria, 2020.

Para análise da geometria foi utilizado um software de análise de imagens “*Image J*”. Este programa consiste em realizar a medida da largura, reforço e penetração, a partir da macrografia da amostra com uma escala em milímetros servindo como referência. Com a ajuda do software analisador, as dimensões do cordão foram mensuradas, obtendo-se: a largura (L),

reforço (R), penetração (P), razão reforço/largura (R/L), área depositada (Ad), área fundida (Af), diluição (D), bem como os valores de algumas variáveis respostas importantes: taxa de deposição (TD) e taxa de fusão (TF). O percentual de diluição foi então calculado, dividindo-se a área de penetração pela área total.

## 5 RESULTADOS E DISCURSÕES

Os resultados do efeito da tensão de referência ( $U_r$ ), do tecimento ( $T$ ), velocidade de alimentação do arame ( $V_{alim}$ ) e a velocidade de soldagem ( $V_s$ ) sobre as características geométricas de cordões de solda de ligas de aço inox E-308L são apresentados a seguir (Figuras 32, 33 e 34) visando a otimização da operação no sentido de minimizar a relação R/L entre reforço e largura, e diluição do cordão de solda para o processo GMAW (*Gás Metal Arc Welding*), como também verificar a influência do tecimento sobre as características geométricas.

A Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11, apresentam medidas e valores finais das características geométricas dos cordões de solda que foram obtidos após a análise das variáveis de resposta, para cada ensaio, de acordo com o tipo de tecimento.

**Tabela 9:** Medidas e valores obtidos para variáveis respostas sem tecimento (ST)

ENSAIO	L – (mm)	R – (mm)	P – (mm)	R/L	D (%)	Ad – (mm <sup>2</sup> )	Af – (mm <sup>2</sup> )
A	5,82	4,07	0,43	0,70	6,00	18,01	1,15
B	6,20	5,31	0,41	0,86	4,78	28,86	1,45
C	6,16	4,99	0,39	0,81	2,39	26,18	0,64
D	7,13	5,46	0,39	0,76	3,70	32,05	1,23
E	5,88	4,84	0,37	0,82	2,42	23,74	0,59

Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Tabela 10:** Medidas e valores obtidos para variáveis respostas com tecimento serra (TS).

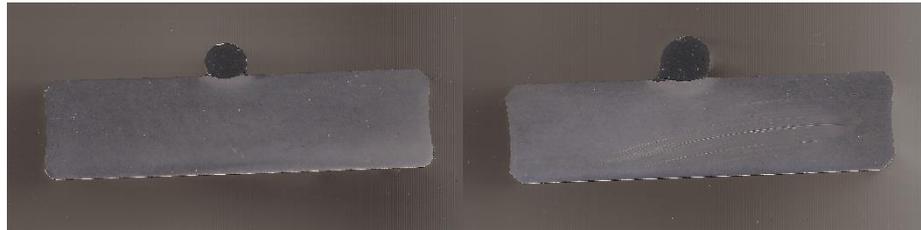
ENSAIO	L – (mm)	R – (mm)	P – (mm)	R/L	D (%)	Ad – (mm <sup>2</sup> )	Af – (mm <sup>2</sup> )
F	9,33	5,78	1,14	0,62	7,12	45,42	3,48
G	9,93	5,13	1,69	0,52	14,33	45,02	7,53
H	9,81	5,35	1,72	0,54	13,79	44,18	7,07
I	9,49	5,29	1,42	0,56	11,32	41,60	5,31
J	9,41	6,63	1,60	0,70	14,40	39,82	6,70

Fonte: Autoria Própria, 2020.

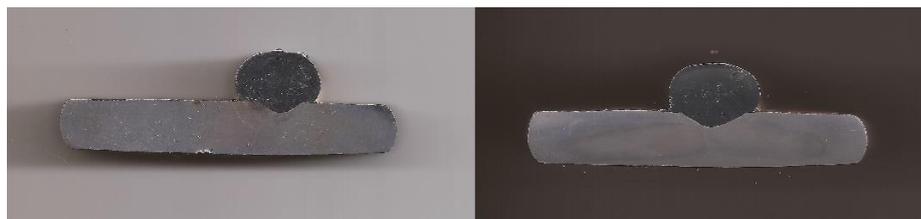
**Tabela 11:** Medidas e valores obtidos para variáveis respostas com tecimento quadrado (TQ).

ENSAIO	L – (mm)	R – (mm)	P – (mm)	R/L	D (%)	Ad – (mm <sup>2</sup> )	Af – (mm <sup>2</sup> )
L	14,31	5,58	3,01	0,39	22,07	66,79	18,92
M	12,51	6,39	1,55	0,51	9,59	66,64	7,07
N	11,04	5,98	1,32	0,54	10,73	54,72	6,58
O	10,78	6,14	0,64	0,57	5,72	54,68	3,32
P	14,70	5,73	3,73	0,39	25,68	70,61	24,40

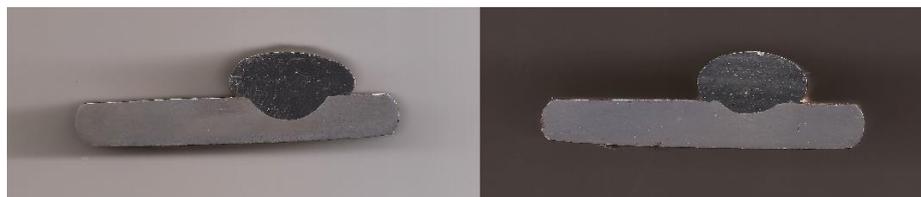
Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Figura 32:** Seção transversal das amostras soldadas na condição sem tecimento.

Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Figura 33:** Seção transversal das amostras soldadas na condição com tecimento serra.

Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Figura 34:** Seção transversal das amostras soldadas na condição com tecimento quadrado.

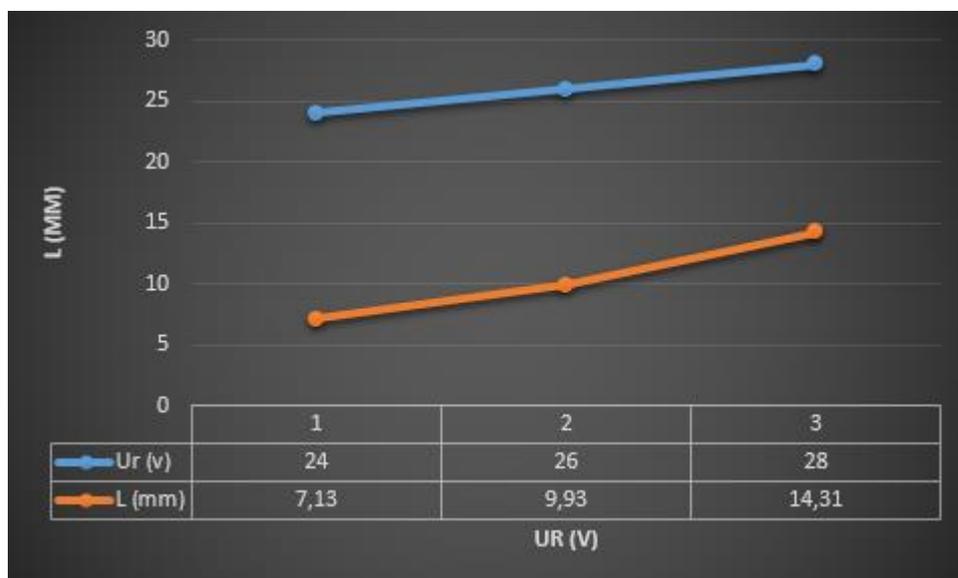
Fonte: Autoria Própria, 2020.

O que foi observado nas Figura 32, 33 e 34 será explicado graficamente a seguir através de uma análise, na qual se verifica a influência dos fatores de controle sobre as variáveis de resposta.

### 5.1 INFLUÊNCIA DA TENSÃO DE REFERÊNCIA UR (V)

Ao analisar as Figura – 35, 36 e 37, verifica-se que o aumento da tensão de referência causa um aumento nos valores da largura do cordão de solda, mas também proporciona uma redução nos valores da razão R/L e do reforço que também tende a diminuir. Isto acontece quando se tem valores de tensão de referência elevado, propositalmente haverá um maior comprimento do arco, que por sua vez promove uma maior quantidade de calor cedida à peça, havendo uma melhor distribuição da poça de fusão sobre o metal de base. Portando se houver um bom ajuste nos parâmetros do robô isto resultará em um cordão de solda mais largo e mais achatado, resultando em um menor reforço, menor razão R/L e uma menor penetração.

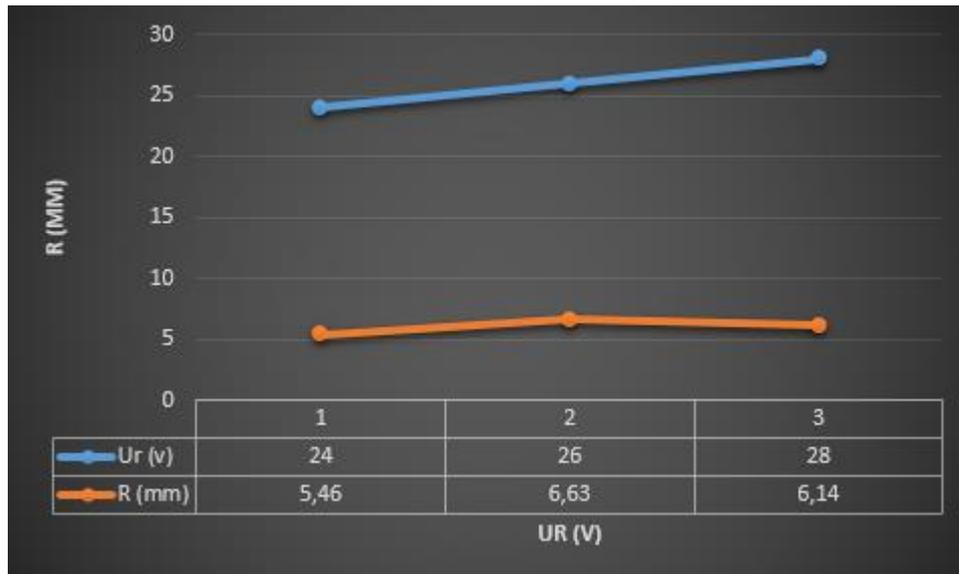
**Figura 35:** Influência da tensão de referência ( $U_r$ ) sobre a largura ( $L$ ) do cordão de solda.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

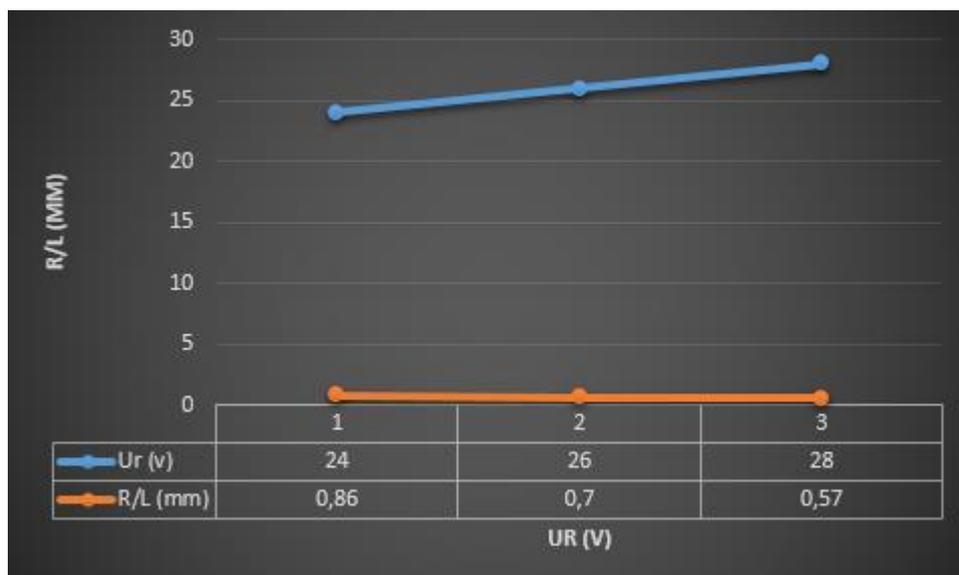
É possível observar que a largura aumenta de aproximadamente 7,15 mm para a condição sem tecimento para quase 14,5 mm com o uso do mesmo. Esta variação representa um aumento de 50% na largura do cordão de solda, contribuindo significativamente para o aumento da área revestida.

**Figura 36:** Influência da tensão de referência ( $U_r$ ) sobre o reforço (R) do cordão de solda.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

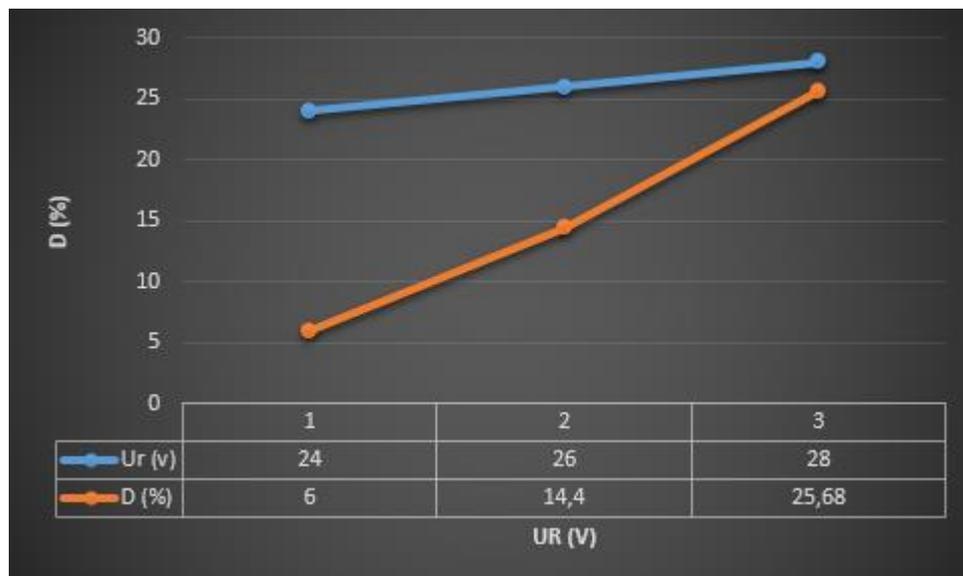
**Figura 37:** Influência da tensão de referência ( $U_r$ ) sobre a razão (R/L) do cordão de solda.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

Como pode ser visto na Figura 38, com o aumento da tensão de referência há um aumento nos valores de diluição dos cordões de solda, fato que se deve à maior tensão de referência proporcionar um cordão com características geométricas mais largas e um aumento da quantidade de calor cedida à peça, conforme mencionado na análise anterior. Vale lembrar que, com o aumento da tensão de referência há uma mudança significativa no tipo de tecimento. Cada cordão possui comprimentos iguais e larguras diferentes, onde temos para tecimento quadrado (TQ) uma maior largura do cordão devido ao fato do movimento da tocha realizado pelo robô.

**Figura 38:** Influência da tensão de referência ( $U_r$ ) sobre a diluição ( $D$ ) do cordão de solda.



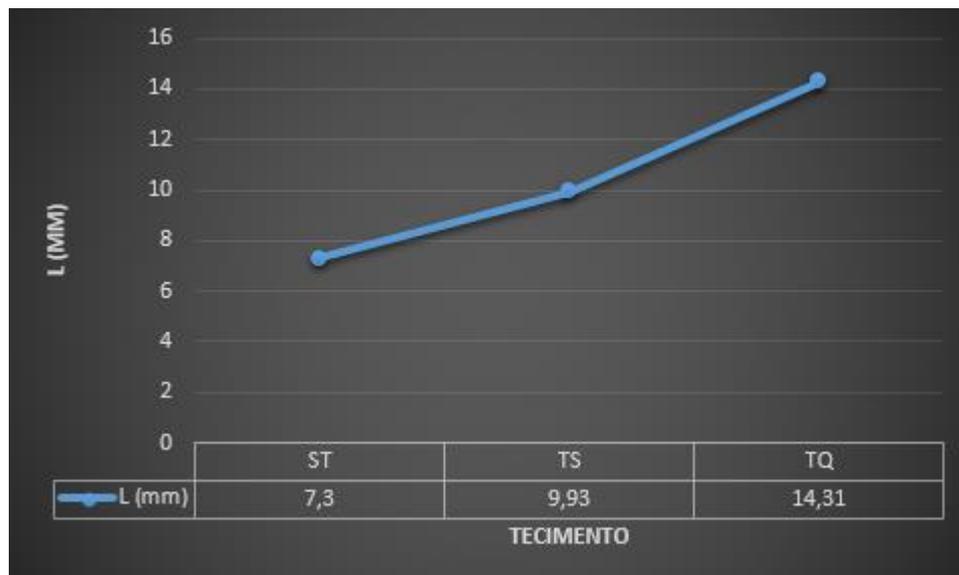
Fonte: Autoria Própria, 2020.

Estudos feitos por (SHANMUGAN; MURUGAN, 1999) demonstram que o aumento da velocidade de alimentação do arame, acarreta um decréscimo na diluição. Isso acontece devido ao fato de que com o aumento da velocidade de alimentação do arame uma maior quantidade de material terá que ser fundida com a mesma energia de soldagem. Portanto para cada variação da velocidade de alimentação do arame, foi necessário uma variação na tensão de referência, para que obtivesse cordões de solda com ótimos aspectos superficiais. A Tabela 7, apresenta três tensões de referência diferentes, intende-se que ela também é um dos fatores de controle, mas nesse caso não.

## 5.2 INFLUÊNCIA DO TECIMENTO (ST, TS E TQ)

Com relação ao uso do tecimento, pode-se observar que há um aumento na largura do cordão de solda (Figura 39) de acordo com o tipo de movimento realizado pelo tecimento, aumentando a sua capacidade de molhamento e proporcionando uma melhor distribuição da quantidade de metal depositado sobre o metal base, que resulta numa maior largura e num menor reforço para os cordões de solda (Figura 40), reduzindo assim também os valores da razão R/L (Figura 41). Por este motivo o uso do tecimento proporciona uma maior área de cobertura por kg de material depositado, se comparado à técnica de deposição sem o movimento transversal. Isto implica em ganhos expressivos em termos de produtividade e redução dos custos por reduzir o tempo de operação.

**Figura 39:** Influência do tecimento (ST, TS e TQ) sobre a largura (L) do cordão de solda.

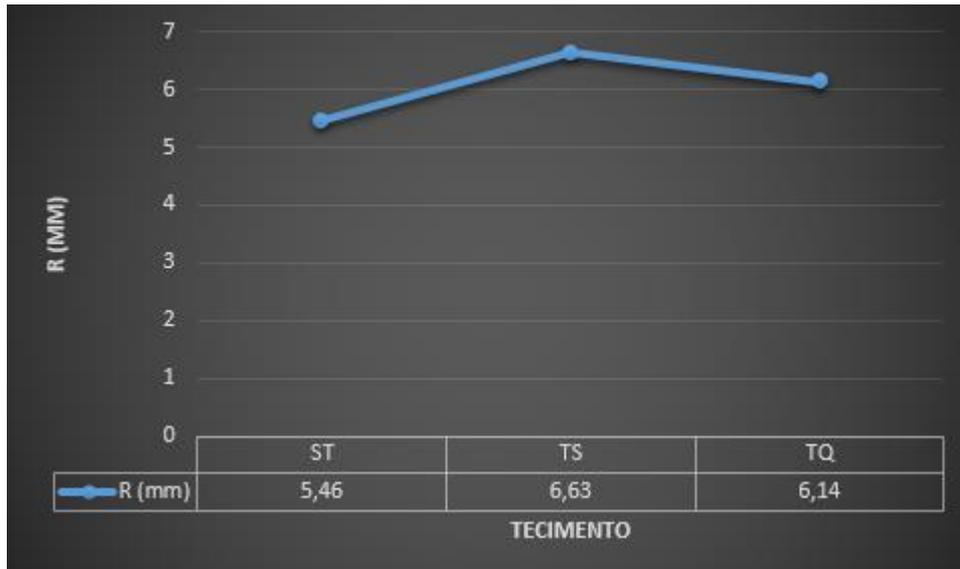


Fonte: Autoria Própria, 2020.

É necessário entender que, se aumentarmos a velocidade de alimentação ( $V_{alim}$ ) teremos uma quantidade de metal de adição para ser fundido maior, com a mesma velocidade de soldagem ( $V_s$ ) do início do processo. Neste caso, um ajuste no tipo de tecimento (controle feito no robô), pode ser realizado fazendo com que o cordão de solda consiga aspectos superficiais desejáveis, contendo um reforço e uma razão R/L equilibrada. De acordo com os gráficos, o uso do tecimento influenciou

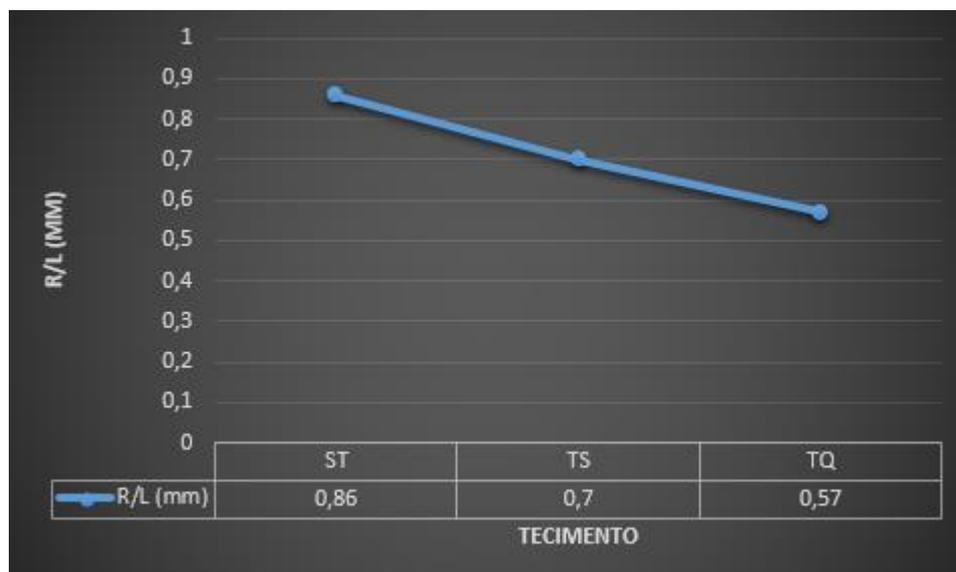
em todas as características geométricas dos cordões de solda (largura, reforço, penetração, R/L e diluição). Porém foi observado uma penetração e uma diluição indesejável para o tecimento quadrado, Figura 42 e Figura 43.

**Figura 40:** Influência do tecimento (ST, TS e TQ) sobre o reforço (R) do cordão de solda.



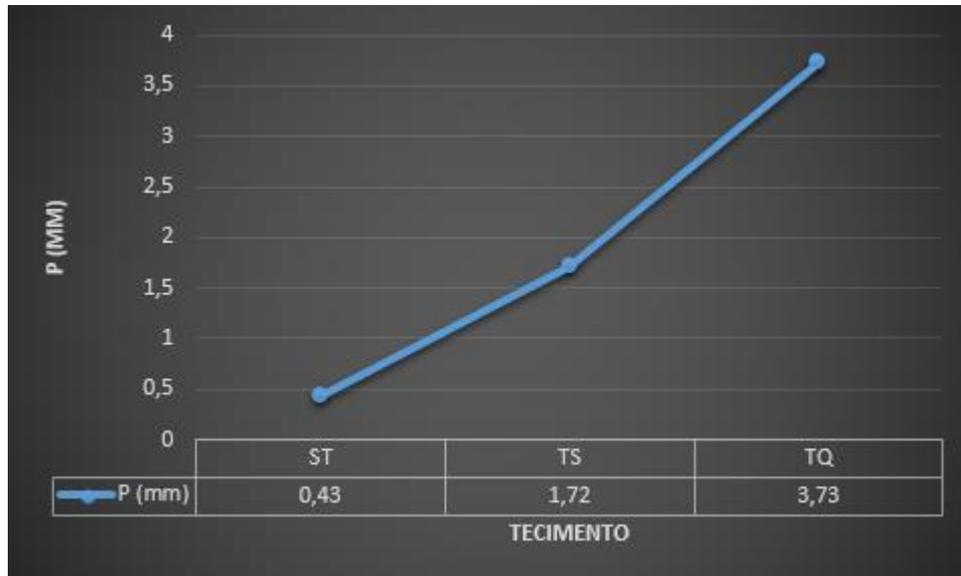
Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Figura 41:** Influência do tecimento (ST, TS e TQ) o sobre a razão (R/L) do cordão de solda.



Fonte: Aatoria Própria, 2020.

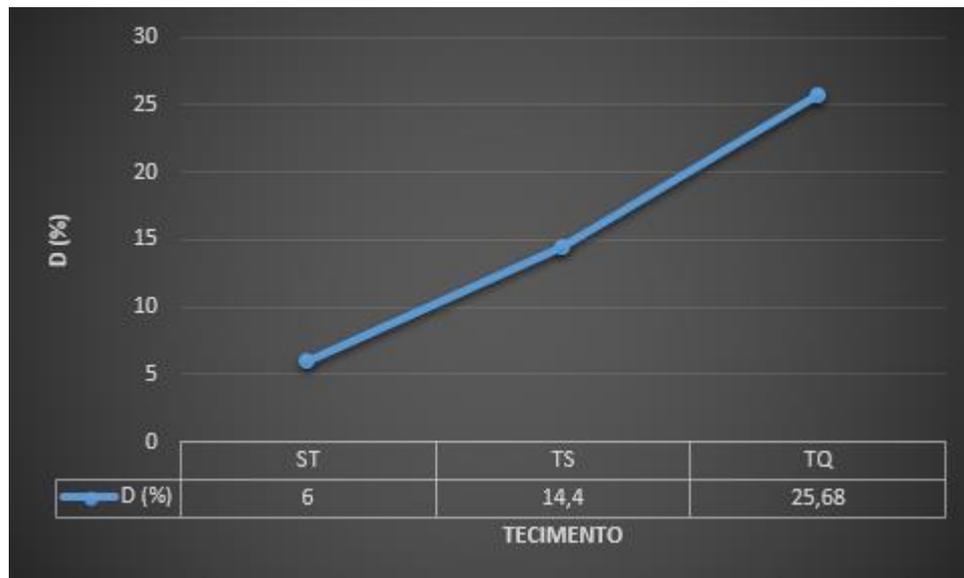
**Figura 42:** Influência do tecimento (ST, TS e TQ) sobre a penetração (P) do cordão de solda.



Fonte: Aatoria Própria, 2020.

Conforme foi admitido para o planejamento experimental, pra cada tipo de tecimento realizado pelo robô foi aplicado uma tensão de referência ( $U_r$ ). Essa iniciativa tinha como propósito conter no trabalho variações de parâmetros que nos ajudasse a se aproximar de “um cordão de solda perfeito”, com características geométricas desejáveis. Aconteceu o seguinte: se o uso da tensão de referência ( $U_r$ ) fosse como parâmetro fixo (constante) para todos os tipos de tecimentos a penetração e a diluição teriam se comportado de forma correta, ao invés de ter causado um aumento, teria causado uma queda para esses dois parâmetros.

**Figura 43:** Influência do tecimento (ST, TS e TQ) sobre a diluição (D) do cordão de solda.



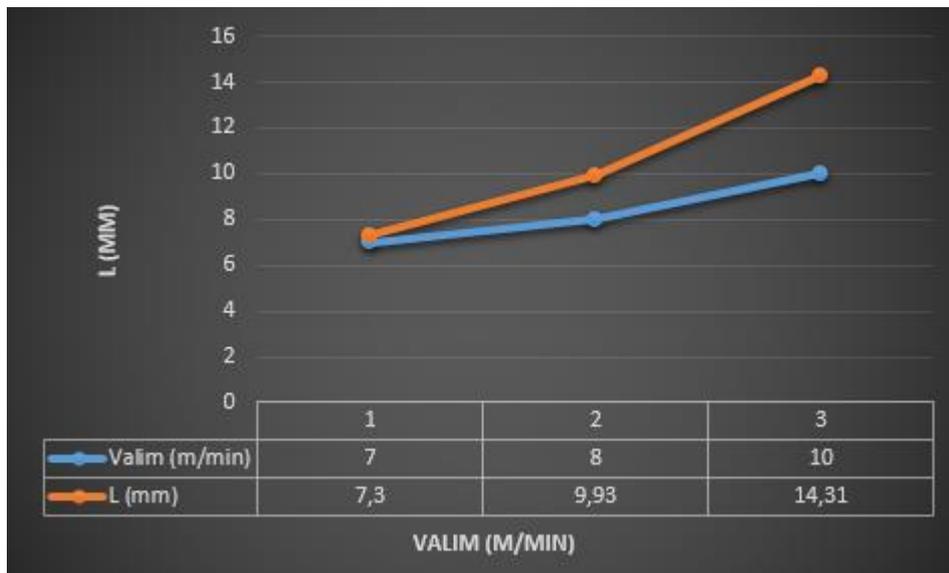
!Fonte: Aatoria Própria, 2020.

Para os experimentos com *tecimento serra* ( $U_r = 26v$ ) e *tecimento quadrado* ( $U_r = 28v$ ) foi disponibilizado uma maior tensão de referência com a mesma velocidade de soldagem ( $V_s$ ) em comparação aos experimentos *sem tecimentos* ( $U_r = 24v$ ). Automaticamente, por efeito Joule uma maior quantidade de calor foi cedido à peça fazendo com que a poça de fusão admitisse uma maior abertura para o material a ser depositado. Por esse motivo houve um excesso de tensão fazendo com que aumentasse a poça de fusão e propositalmente a quantidade de metal de adição depositado por kg também aumentasse, resultando em um aumento significativo na penetração e na diluição dos cordões de solda.

### 5.3 INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE ALIMENTAÇÃO (VALIM)

Conforme as Tabelas 9, 10 e 11, verifica-se que apenas o reforço e a razão do cordão de solda sofreram influência significativa deste fator de controle. As Figuras 45 e 46 mostram graficamente a influência da Valim sobre as variáveis respostas afetadas.

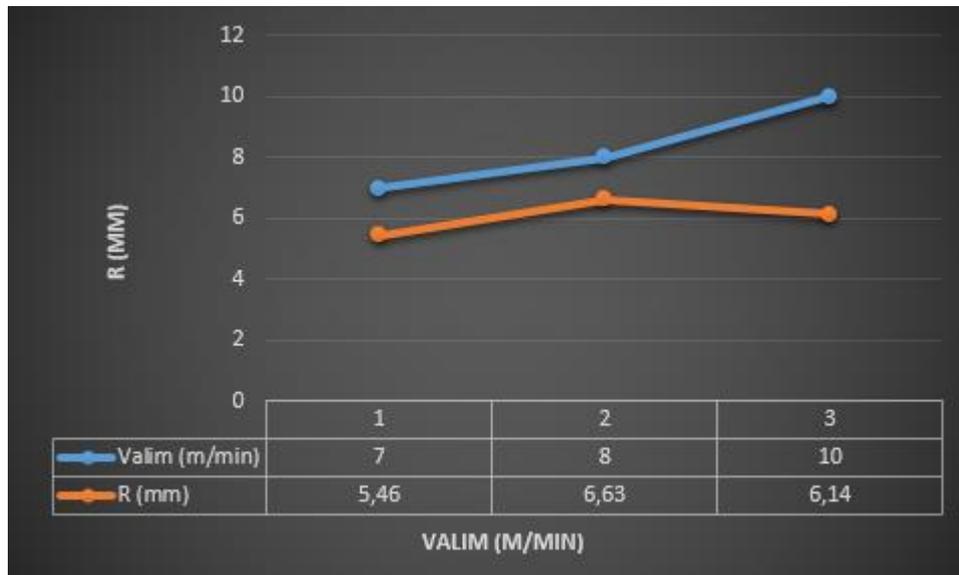
**Figura 44:** Influência da velocidade de alimentação (Valim) do arame sobre a largura (L) do cordão de solda.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

No reforço, há uma tendência de aumento para as Valim de 7 m/min e 8 m/min, para a Valim 10 m/min há uma redução do reforço. Isso ocorre pelo fato de que um aumento da Valim acarreta um aumento na corrente de soldagem e propositalmente uma quantidade maior de calor é cedida ao metal base, por outro lado há também um aumento na quantidade de material depositado, proporcionando um reforço elevado que pode atuar como uma barreira causando um amortecimento a força do arco sobre a poça de fusão, em que pode implicar numa redução da penetração.

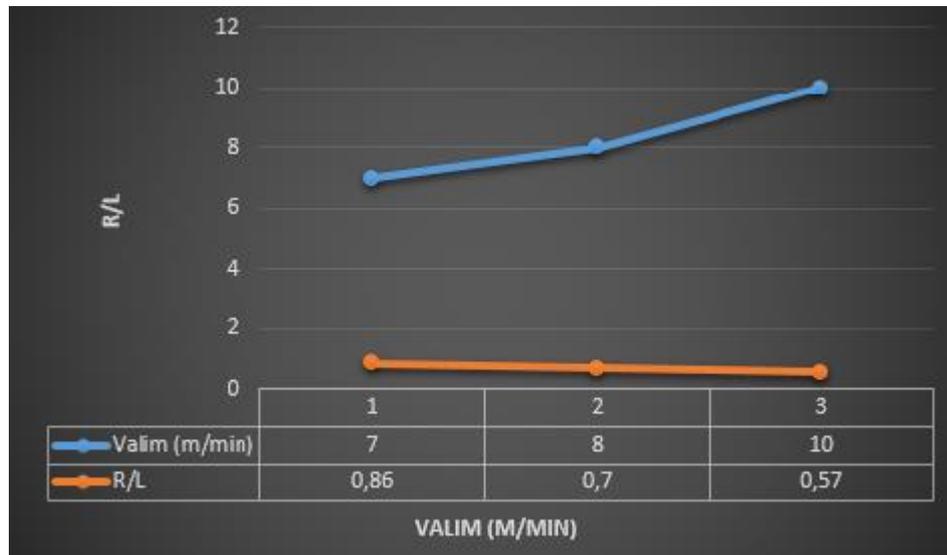
**Figura 45:** Influência da velocidade de alimentação do arame (Valim) sobre o reforço (R) do cordão de solda.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

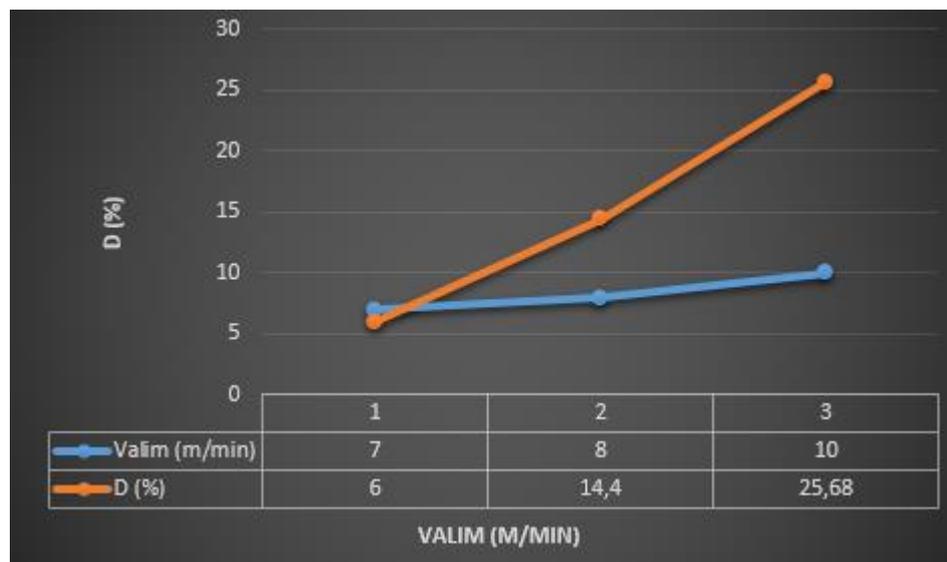
Um aumento na velocidade de alimentação acarreta um aumento da corrente de soldagem e um aumento na taxa de deposição. Os maiores reforços (Figura 38) e os maiores valores da razão R/L (Figura 39) obtidos com a diminuição da “Valim” se deve apenas um fator, o tecimento. Ele é o fator responsável por essa diferença, como foi comentado anteriormente, se tem tecimento a tendência é que o cordão tenha um reforço menor, uma penetração menor e uma largura maior. Devido ao aumento da tensão de referência há uma mudança significativa no tipo de tecimento. Cada tecimento possui comprimentos iguais, largura e reforço diferentes, onde temos para o tecimento quadrado (TQ) uma maior largura do cordão devido ao fato do movimento da tocha realizado pelo robô.

**Figura 46:** Influência da velocidade de alimentação do arame (Valim) sobre a razão (R/L) do cordão de solda.



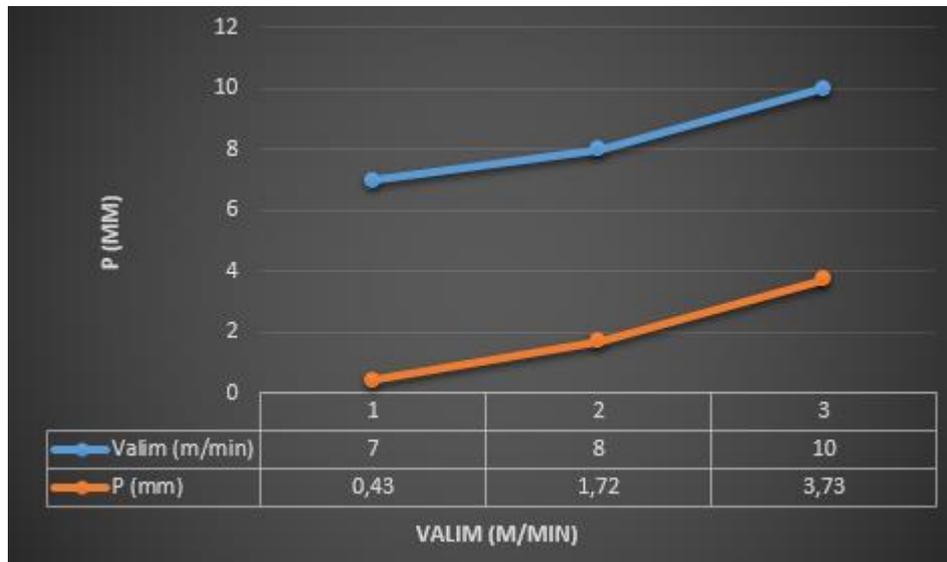
Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Figura 47:** Influência da velocidade de alimentação do arame (Valim) sobre a diluição (D) do cordão de solda.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Figura 48:** Influência da velocidade de alimentação do arame (Valim) sobre a penetração (P) do cordão de solda.



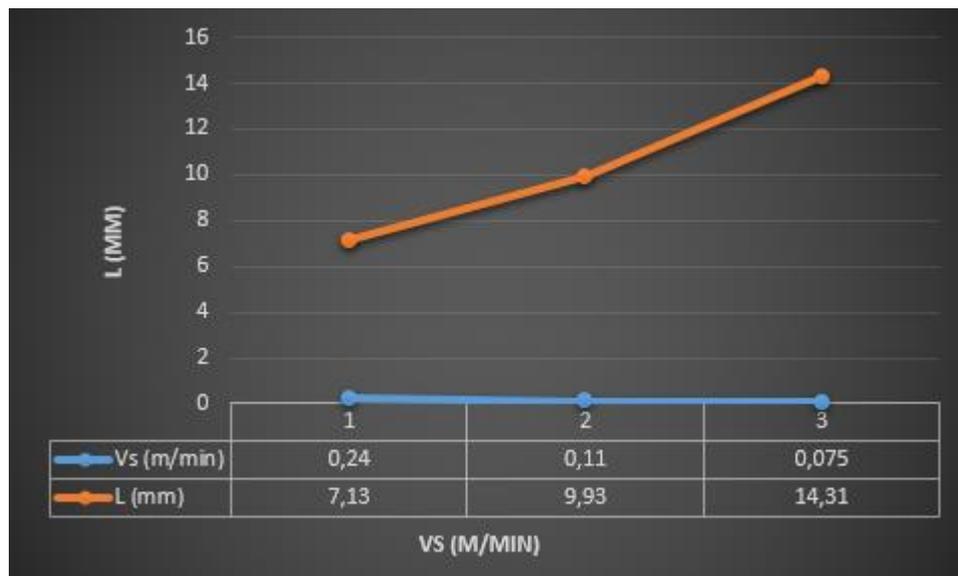
Fonte: Autoria Própria, 2020.

É necessário entender que, se aumentarmos a Valim teremos uma quantidade de metal de adição para ser fundido maior, com a mesma  $V_s$  inicial. Neste caso, necessariamente devemos controlar a  $V_s$  ou o tipo de tecimento (controle feito no robô), para que esse cordão de solda consiga aspectos superficiais desejáveis, contendo um reforço e uma razão R/L equilibrada.

#### 5.4 INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE SOLDAGEM (VS)

Com base nos valores obtidos nas tabelas 9, 10 e 11, é possível afirmar que a velocidade de soldagem exerceu influência significativa sobre todas as variáveis respostas analisadas, e esta influência é apresentada graficamente a seguir através das figuras 49 a 53.

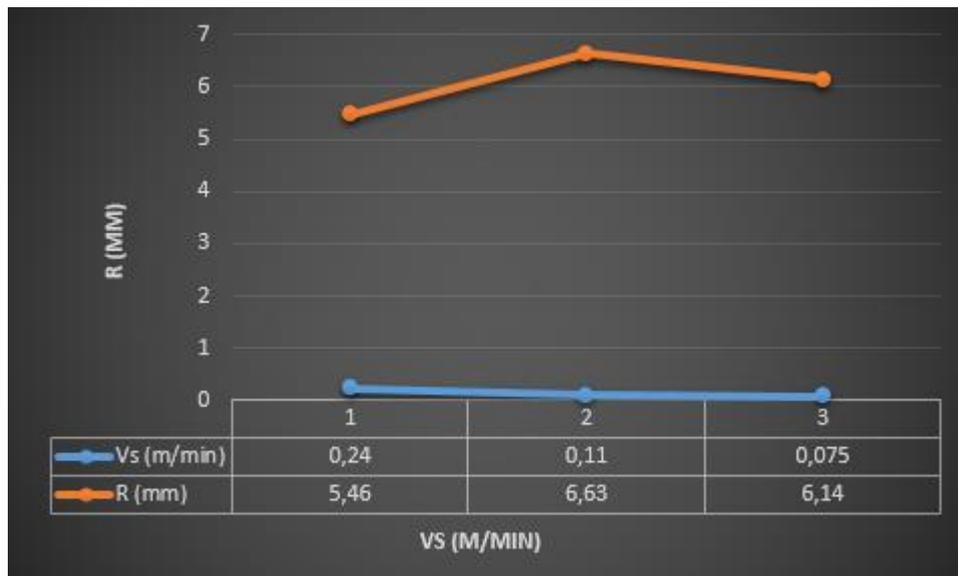
**Figura 49:** Influência da velocidade de soldagem ( $V_s$ ) sobre a largura ( $L$ ) do cordão de solda.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

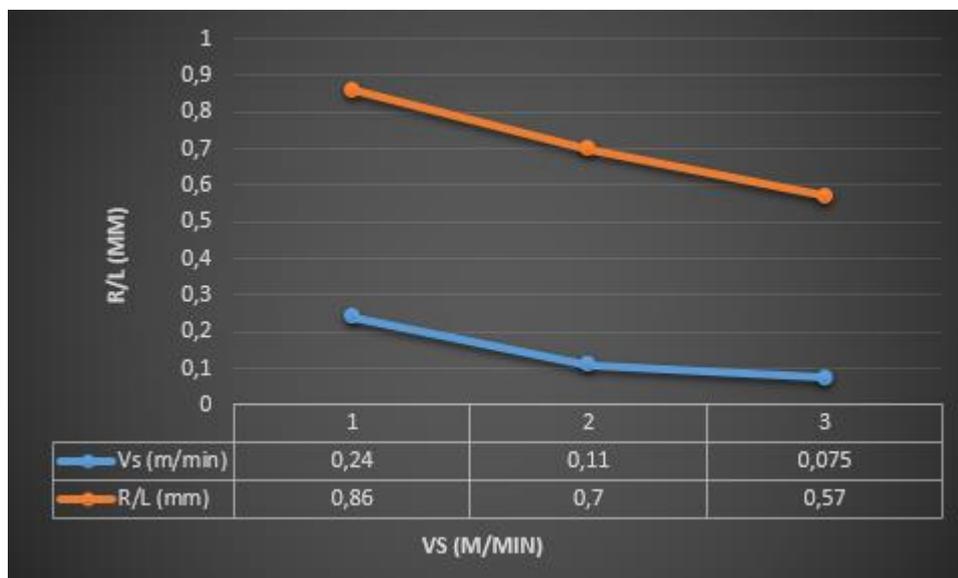
De acordo com as Figuras 49, 50 e 53, há uma redução nos valores de largura, reforço e penetração para maiores valores de velocidade de soldagem. Isto demonstra que, um aumento na velocidade de soldagem provoca uma redução na taxa de deposição (TD) e uma redução na quantidade de calor cedido a peça.

**Figura 50:** Influência da velocidade de soldagem ( $V_s$ ) sobre o reforço (R) do cordão de solda.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Figura 51:** Influência da velocidade de soldagem ( $V_s$ ) sobre a razão (R/L) do cordão de solda.

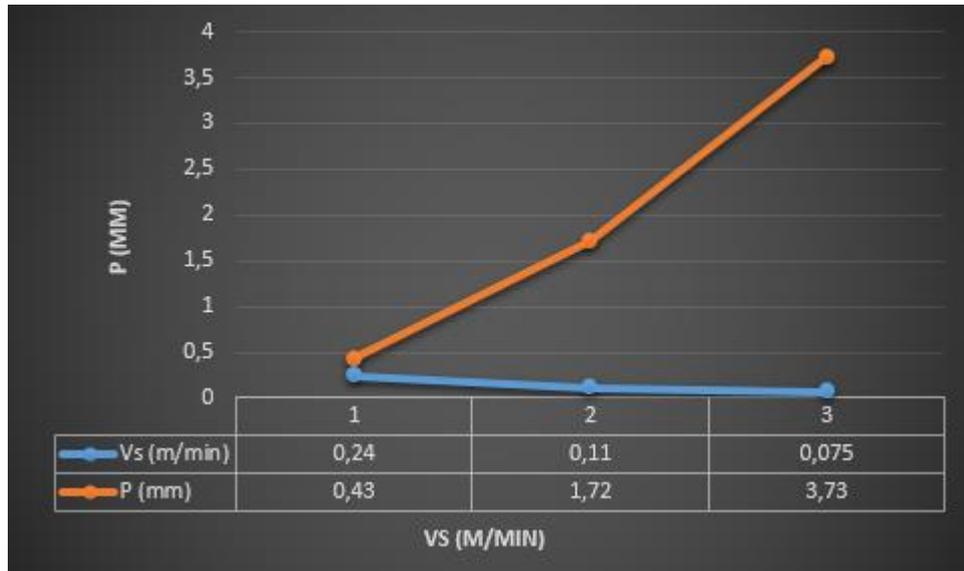


Fonte: Autoria Própria, 2020.

Com relação a razão R/L, houve um aumento significativo com o aumento da velocidade de soldagem. Maiores velocidades de soldagem dificultam uma melhor “molhabilidade” da peça ocasionando um reforço alto e uma largura pequena, principalmente quando não se utiliza

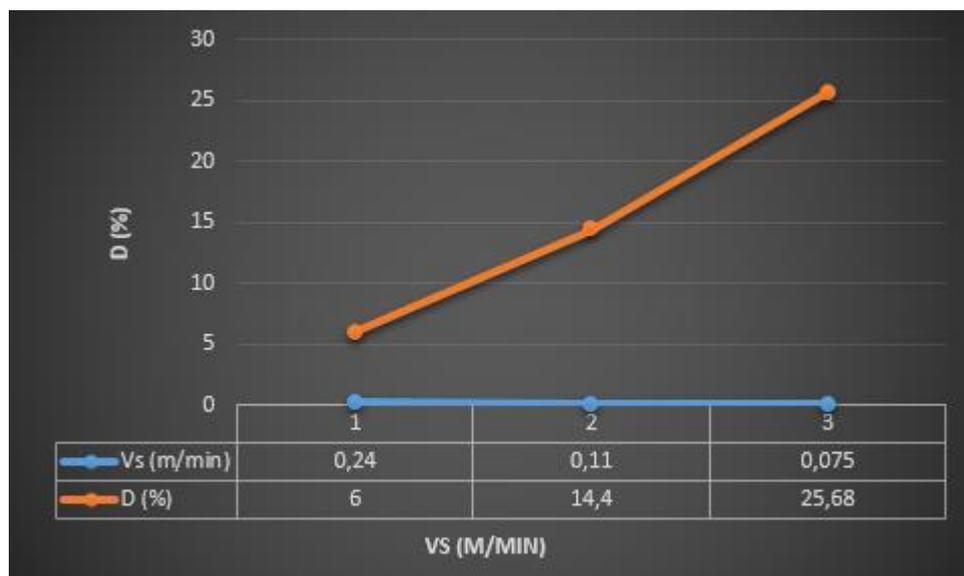
tecimento, pois o tecimento funciona como um auxiliador para diminuir o reforço e aumentar a largura.

**Figura 52:** Influência da velocidade de soldagem ( $V_s$ ) sobre a penetração ( $P$ ) do cordão de solda.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

**Figura 53:** Influência da velocidade de soldagem ( $V_s$ ) sobre a diluição ( $D$ ) do cordão de solda.



Fonte: Autoria Própria, 2020.



## 6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados e discutidos ao longo da seção anterior, estabelecem-se para o presente trabalho as seguintes conclusões:

- Conclui-se que todos os parâmetros analisados apresentaram influência significativa sobre os resultados do processo GMAW em chapas de aço carbono ABNT 1020 com arame aço inoxidável E-308L;
- Para um cordão de solda com perfil geométrico satisfatório, é necessário e exige uma programação fina no robô associada à uma parametrização da máquina de solda;
- Os cordões com tecimento quadrado (TQ), tecimento serra (TS) associados a tensão de referência ( $U_r = 26v$ ) foram satisfatórios;
- Os cordões sem tecimento (ST) associados a tensão de referência ( $U_r = 24v$ ) não foram satisfatório por 2 motivos: A área coberta por kg de metal depositado foi inferior aos cordão com tecimento; Houve uma penetração indesejável, na soldagem de revestimento, exige-se por um lado um baixo nível de diluição mas por outro um nível mínimo de diluição é necessário para se garantir a coalescência entre o cordão e o metal base. Caso isso não ocorra, propositalmente ocorrerá o desprendimento do cordão de solda em relação ao metal base;
- Maiores larguras podem ser obtidas empregando-se altas velocidades de alimentação, altas tensões, baixas velocidades de soldagem e baixas distâncias bico de contato peça;
- O aumento do reforço é obtido através do aumento da velocidade de alimentação, uma menor tensão ou uma menor velocidade de soldagem;
- Menores penetrações são alcançadas diminuindo a velocidade de alimentação ou a tensão e aumentando a velocidade de soldagem;
- O uso do tecimento apesar de não afetar significativamente a diluição, é um parâmetro essencial para obtenção de baixos valores da razão R/L;
- A DBCP exerceu pouca influência sobre o aspecto superficial;
- Cordões de soldas perfeitos são produzidos à partir da utilização de equipamentos de qualidade somado a um operador qualificado;

- Conclui-se que todos os dias se tem algo novo para aprender, cada tipo de material existe um série de parâmetros a ser encontrado, tanto no robô como na máquina de solda;
- É necessário que se tenha a teórica para realizar a prática, pois trabalhar com solda é trabalha com produtos inflamáveis o que significa que você está trabalhando com equipamentos de risco.

## 7 REFERÊNCIAS

GUIMARÃES, Lígia. **Entenda a diferença entre os tipos de petróleo**. G1, São Paulo, 29 maio 2008. Disponível em: <[http://g1.globo.com/Noticias/Economia\\_Negocios/0,,MUL583646-9356,00-ENTENDA%20A%20DIFERENCA%20ENTRE%20OS%20TIPOS%20DE%20PETROLEO.html](http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL583646-9356,00-ENTENDA%20A%20DIFERENCA%20ENTRE%20OS%20TIPOS%20DE%20PETROLEO.html)>. Acesso em: 16 setembro 2019.

UNICAMP, Faculdade de engenharia mecânica. **Secretaria do departamento de energia**. UNICAMP, Campinas-SP 28 agosto 2018. Disponível em: <<https://www.fem.unicamp.br/index.php/pt-br/o-que-e-petroleo-dep>>. Acesso em: 5 dezembro 2019.

ESAB, Elektriska Svetsnings Aktie Bolaget. **Apostila de eletrodos revestidos**. ESAB BR, 2005. Disponível em : <[https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1\\_apostilaeletrodosrevestidos\\_ok.pdf](https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf)>. Acesso em: 16 setembro 2019.

FELIZARDO, Dra. Ivanilza. **Apostila - Tecnologia da soldagem**. CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS - CEFET-MG, Versão fevereiro 2016 – março 2018. Disponível em: <<http://www.dem.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/39/2017/09/Apostila-Tecnologia-da-Soldagem.pdf>>. Acesso em: 16 setembro 2019.

MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, Paulo J, Paulo V, Dagoberto Santos. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, janeiro 2012. Disponível em: <<https://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/metalurgia.pdf>>. Acesso em: 16 setembro 2019.

ROCHA, Jennifer Vargas. **Proteção Contra a Corrosão do Ferro**. *Brasil Escola*. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/protecao-contra-corrosao-ferro.htm>>. Acesso em 22 dezembro 2019.

ALVES, Jailson da Nóbrega. **Avaliação da tenacidade de juntas de aços dissimilares utilizados no setor offshore da indústria de petróleo**. UFCG Campina Grande, 22 maio 2014. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/jailsonalvesdanobrega/trabalho-de-concluso-de-curso-35011950>>. Acesso em: 22 setembro 2019.

PARANHOS, Ronaldo. **Revestimento de Aço Carbono com Aço Inoxidável Austenítico**. INFOSOLDA, Oasasco-SP, 13 abril 2015. Disponível em : <<https://infosolda.com.br/artigos/processos-de-soldagem/843-revestimento-de-aco-carbono-com-aco-inoxidavel-austenitico>>. Acesso em: 18 setembro 2019.

PUHL; DUTRA; BONACORSO, Eduardo Bidese, Jair Carlos, Nelso Gauze. **Soldagem Automatizada de Revestimentos Empregando o Novo Processo MIG/MAG com Inversão de Polaridade Sincronizada com a Trajetória de Tecimento dos Cordões de Solda**. ABS, Recife-PE, 12 outubro 2010. Disponível em:

<[http://www.labsolda.ufsc.br/publicacoes/artigos/2010\\_consolda\\_bidese.pdf](http://www.labsolda.ufsc.br/publicacoes/artigos/2010_consolda_bidese.pdf)>. Acesso em: 22 setembro 2019.

GOMES, José Henrique de Freitas. **Análise e otimização da soldagem de revestimento de chapas de aço ABNT 1020 com utilização de arame tubular inoxidável austenítico.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ-MG, 8 abril 2010. Disponível em: <<https://saturno.unifei.edu.br/bim/0036333.pdf>>. Acesso em: 22 setembro 2019.

LIMA, Jefferson Segundo. **Robô cartesiano para automatização da soldagem de revestimento ao arco elétrico de chapas.** Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Tecnologia em Automação Industrial IFPB Cajazeiras-PB, 13 março 2018.

MIRANDA, Edvan Cordeiro. **Estudo exploratório de parâmetros de soldagem de revestimento com ligas de níquel empregando o processo tig com alimentação de arame frio.** Dissertação, Universidade Federal do Ceará, centro de tecnologia, departamento de engenharia metalúrgica e de materiais, programa de pós-graduação em engenharia e ciências de materiais. Fortaleza-CE, Janeiro 2009. Disponível em: <[http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/16199/1/2009\\_dis\\_ecmiranda.pdf](http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/16199/1/2009_dis_ecmiranda.pdf)>. Acesso em: 06 outubro 2019.

FERREIRA, Mauro Fernando. **Influência da soldagem de revestimento na vida útil de ponteiros sulcadoras de semeadoras adubadoras.** Tese, Universidade Federal de Pelotas-RS, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pelotas-RS 2008. Disponível em: <<https://repositorio.unisc.br/jspui/handle/11624/616>>. Acesso em: 06 outubro 2019.

PESSOA, Antônio Rodolfo Paulino. **Revestimento de Ligas de Níquel pelo Processo MIG/MAG com Transferência por Curto-Circuito.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE, Janeiro 2009. Acesso em: 05 setembro 2019.

GODINHO, Cassiano. **Avaliação teórico-experimental de um novo conceito de tocha tig com alimentação tangencial em aplicações de revestimento com a liga de níquel 625.** Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis-SC, 2016. Disponível em: <[http://www.labsolda.ufsc.br/publicacoes/projetos\\_mestrado\\_doutorado/2016\\_pdm\\_cassiano.pdf](http://www.labsolda.ufsc.br/publicacoes/projetos_mestrado_doutorado/2016_pdm_cassiano.pdf)>. Acesso em: 18 setembro 2019.

ESAB, Elektriska Svetsnings Aktie Bolaget. **Soldagem MIG/MAG.** ESAB BR, 25 Janeiro 2005. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/profab/files/2016/09/ESAB-Apostila-MIG-MAG.pdf>>. Acesso em: 16 setembro 2019.

CÉSAR, Paulo. **Processo de soldagem MIG/MAG.** ALUSOLDA, Aparecida de Goiania-GO, 5 fevereiro 2018. Disponível em: <<https://alusolda.com.br/processo-de-soldagem-migmag/>>. Acesso em: 06 outubro 2019.

SUMIG. **Processo de solda MIG/MAG.** SUMIG BR, 5 julho 2017. Disponível em: <<https://www.sumig.com/pt/blog/post/processo-de-solda-mig-mag>>. Acesso em 12 outubro 2019.

SUMIG. **Soldagem a arco elétrico sob proteção gasosa.** SUMIG BR, 5 julho 2014. Disponível em: <[https://www.sumig.com/arquivos/blog/apostilas/Apostila\\_Sumig\\_Processo\\_MIG\\_MAG.pdf](https://www.sumig.com/arquivos/blog/apostilas/Apostila_Sumig_Processo_MIG_MAG.pdf)>. Acesso em: Acesso em 12 outubro 2019.

AVENTA. **Penetração da solda: saiba o que influencia.** AVENTA, 17 agosto 2018. Disponível em: <<https://aventa.com.br/novidades/penetracao-solda>>. Acesso em 19 de janeiro 2019.

EUTECTIC CASTOLIN. **Características dos equipamentos MIG/MAG.** EUTECTIC DO BRASIL, 23 outubro 2017. Disponível em: <<https://www.eutectic.com.br/equipamentos-soldagem-mig-mag.html>>. Acesso em 23 outubro de 2019.

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### Trabalho de Conclusão de Curso com FC e Correções da Banca

**Assunto:** Trabalho de Conclusão de Curso com FC e Correções da Banca  
**Assinado por:** Jailton Ferreira  
**Tipo do Documento:** Dissertação  
**Situação:** Finalizado  
**Nível de Acesso:** Ostensivo (Público)  
**Tipo do Conferência:** Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jailton Ferreira Moreira, COORDENADOR DE CURSO - FUC1 - CAIND-CZ**, em 18/11/2021 17:23:25.

Este documento foi armazenado no SUAP em 18/11/2021. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

**Código Verificador:** 376902

**Código de Autenticação:** b93bb1f61a

