



**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**



**DAYANE FREITAS**  
**INGRID GUIZALBERTH**  
**JOÃO GABRIEL RODRIGUES RAMOS**  
**RAYLA ARIANA GONÇALVES DE SOUZA**

**ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES TIPOS DE SOLDA**

**VOLTA REDONDA**

**2020**

**DAYANE FREITAS**

**INGRID GUIZALBERTH**

**JOÃO GABRIEL RODRIGUES RAMOS**

**RAYLA ARIANA GONÇALVES DE SOUZA**

## **ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES TIPOS DE SOLDA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do UniFOA como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Alvarenga

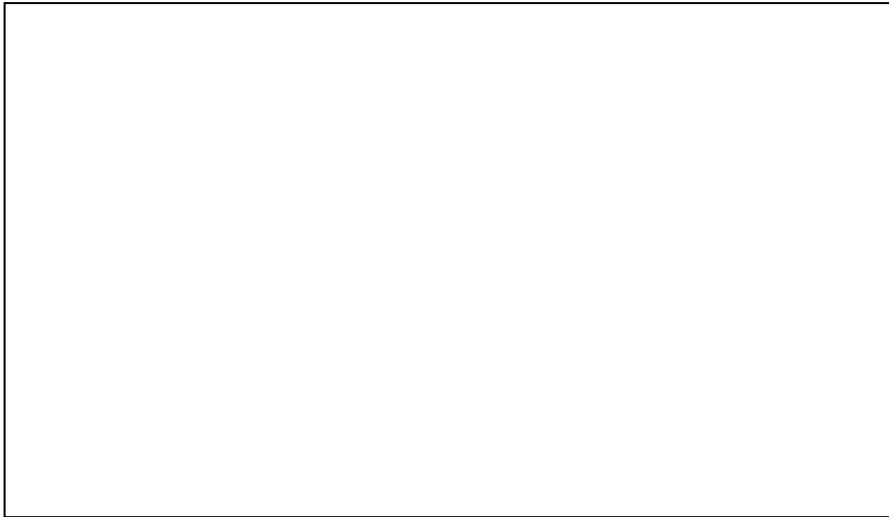
Palmeira

**VOLTA REDONDA**

**2020**

**FICHA CATALOGRÁFICA**

Bibliotecária: Alice Tação Wagner - CRB 7/RJ 4316

A large empty rectangular box with a thin black border, occupying the lower half of the page. It is currently blank, serving as a placeholder for a catalog entry or an image.

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**DAYANE FREITAS**  
**INGRID GUIZALBERTH**  
**JOÃO GABRIEL**  
**RAYLA ARIANA GONÇALVES DE SOUZA**

Estudo Comparativo de Diferentes Tipos de Solda

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

---

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

---

Prof.

## RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é a realização de um estudo comparativo entre os processos de soldagem a arco submerso, soldagem a arco eletrodo revestido e soldagem a arame tubular com gás inerte demonstrando cada uma de suas características principais, bem como suas vantagens e desvantagens. Para a realização desta pesquisa foi utilizada a metodologia de pesquisa bibliográfica por meio de livros, revistas e sites científicos e da metodologia de estudo comparativo através de um quadro. A grande maioria dos processos de soldagem foram desenvolvidos nos séculos XIX e XX, sendo um marco para a história, a partir da criação do primeiro processo, muitos outros foram surgindo com o decorrer dos anos, possibilitando muitas vezes a melhoria da soldagem. Dos processos analisados, tanto a soldagem a arco submerso quanto, a soldagem a arco eletrodo revestido ou a soldagem a arame tubular com gás inerte possuem características próprias que os permite destacar em certa aplicação ou processos específico. Dessa forma, conclui-se que, destes processos, não existe de fato um que seja considerado o melhor de todos, mas sim, um melhor processo específico para certa aplicação, ou seja, para determinar o melhor processo de soldagem, cabe ao gestor avaliar as características do trabalho a ser realizado, a espessura do metal, a posição da solda e outros fatores relevantes, para que seja possível entender qual o melhor processo a ser aplicado.

**Palavras-chave:** Processos de soldagem; soldagem a arco submerso; soldagem a arco eletrodo; soldagem a arame tubular com gás inerte.

## **ABSTRACT**

The main objective of this work is to accomplish a comparative study between the processes of submerged arc welding, shielded metal arc welding and gas metal arc welding, demonstrating each of its main characteristics, as well as its advantages and disadvantages. To make this research, the bibliographic research methodology was used through books, magazines and scientific websites and the comparative study methodology through a table. The vast majority of welding processes were developed in the 19th and 20th centuries, being a milestone in history, from the creation of the first process, many others have emerged over the years, often making it possible to improve welding. In the analyzed processes, both submerged arc welding and shielded metal arc welding or gas metal arc welding have their own characteristics that allow them to stand out in a specific application or specific process. Thus, it is concluded that, of these processes, there is in fact no one that is considered the best of all, but rather, a better specific process for a certain application, that is, to determine the best welding process, it is up to the manager to evaluate the characteristics of the work to be performed, the thickness of the metal, the position of the weld and other relevant factors, so that it is possible to understand which is the best process to be applied.

**Keywords:** Welding processes; submerged arc welding; arc electrode welding; tubular wire welding with inert gas.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema do processo de solda a arco submerso .....	16
<b>Figura 2.</b> Efeitos da velocidade de avanço .....	23
<b>Figura 3.</b> Extensão do Eletrodo .....	24
<b>Figura 4.</b> Classificação de combinação arame fluxo .....	25
<b>Figura 5.</b> Disposição típica para soldagem arcos múltiplos .....	26
<b>Figura 6.</b> Processo de soldagem a arco eletrodo revestido .....	32
<b>Figura 7.</b> Esquema de soldagem a arco eletrodo revestido .....	35
<b>Figura 8.</b> Mudança do ângulo da peça para a melhor posição .....	36
<b>Figura 9.</b> Equipamentos de soldagem a arco eletrodo revestido .....	37
<b>Figura 10.</b> Estrutura de um eletrodo revestido .....	40
<b>Figura 11.</b> Processo de Soldagem a Arame Tubular com Gás Inerte .....	47
<b>Figura 12.</b> Equipamento básico para soldagem com arames Tubular .....	50
<b>Figura 13.</b> Tocha para soldagem semiautomática .....	51
<b>Figura 14.</b> Tocha para soldagem automática com proteção gasosa .....	51
<b>Figura 15.</b> Fluxograma de elaboração do estudo .....	60
<b>Figura 16.</b> Diagrama de blocos do estudo .....	61

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Comparação de taxas de deposição.....	29
<b>Quadro 2.</b> Características do último dígito da estrutura do eletrodo revestido .....	41
<b>Quadro 3.</b> Classificação AWS .....	41
<b>Quadro 4.</b> Quadro comparativo dos processos de solda .....	62

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A: Ampere

CC: Corrente Contínua

CA: Corrente Alternada

GMAW: *Gas Metal Arc Welding* (Soldagem a Arame Tubular com Gás Inerte)

MIG: *Metal Inert Gas* (Gás de Metal Inerte)

SAW: *Submerged Arc Welding* (Soldagem a Arco Submerso)

SMAW: *Shielded Metal Arc Welding* (Soldagem a Arco Eletrodo)

TIG: *Tungsten Inert Gas* (Gás de Tungstênio Inerte)

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	13
1.2.	OBJETIVO GERAL .....	14
1.3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
1.4.	JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1.	PROCESSO DE SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO (SAW) .....	15
2.1.1.	Definição .....	15
2.1.2.	História .....	16
2.1.3.	Fundamentos do Processo .....	17
2.1.4.	Características do Processo .....	18
2.1.5.	Equipamentos .....	18
2.1.6.	Arranjos .....	18
2.1.6.1.	Arranjo CC-CC .....	19
2.1.6.2.	Arranjo CC-CA .....	19
2.1.6.3.	Arranjo CA-CA .....	19
2.1.6.4.	Arranjo CA-CA-CA .....	20
2.1.7.	Fonte de Energia .....	20
2.1.7.1.	Transformador .....	21
2.1.7.2.	Transformador Retificador .....	22
2.1.8.	Sistema de Controle .....	22
2.1.9.	Técnica de Soldagem .....	23
2.1.10.	Eletrodos .....	24
2.1.10.1.	Extensão do Eletrodo .....	24
2.1.11.	Classificações e Seleção de Consumíveis .....	24
2.1.12.	Aumento da Produtividade e Eficiência .....	26
2.1.13.	Principais Aplicações .....	27
2.1.14.	Vantagens .....	28
2.1.15.	Desvantagens .....	29
2.1.16.	Defeitos .....	30
2.1.16.1.	Porosidade .....	30
2.1.16.2.	Fraturas .....	31

2.2.	SOLDAGEM A ARCO ELETRODO REVESTIDO (SMAW) .....	31
2.2.1.	Definição .....	31
2.2.2.	História .....	32
2.2.3.	Características do Processo .....	33
2.2.4.	Procedimentos de Operação .....	34
2.2.4.1.	Posição de Soldagem.....	35
2.2.5.	Equipamentos .....	36
2.2.5.1.	Acessórios do Equipamento .....	37
2.2.5.1.1.	Suporte do Eletrodo .....	37
2.2.5.1.2.	Aterramento .....	37
2.2.5.1.3.	Cabos de Soldagem .....	38
2.2.5.2.	Configuração do Equipamento .....	38
2.2.6.	Tipos de Fontes de Energia.....	39
2.2.6.1.	Seleção da Fonte de Energia .....	39
2.2.7.	Eletrodos .....	40
2.2.7.1.	Tipos de Eletrodos Mais Usuais .....	42
2.2.7.1.1.	Eletrodo Revestido Básicos E-7018 .....	42
2.2.7.1.2.	Eletrodo Revestido E-7018 H4 R.....	43
2.2.7.1.3.	Comparativo E-7018 x E-7018 H4 R .....	43
2.2.7.1.4.	Crítérios de Escolha de Eletrodos Revestidos .....	44
2.2.8.	Principais Aplicações.....	44
2.2.9.	Vantagens .....	45
2.2.10.	Desvantagens .....	46
2.3.	PROCESSO DE SOLDAGEM A ARAME TUBULAR COM GÁS INERTE MIG/MAG (GMAW) .....	46
2.3.1.	Definição .....	46
2.3.2.	História .....	47
2.3.3.	Características do Processo .....	48
2.3.4.	Procedimento de Operação.....	49
2.3.5.	Equipamentos .....	49
2.3.5.1.	Características do Gás .....	51
2.3.5.2.	Métodos de Transferência de Metal .....	52
2.3.5.3.	Eletrodos .....	54
2.3.5.4.	Inspeção e Qualidade da Solda.....	55
2.3.5.5.	Principais Aplicações.....	56

2.3.5.6.	Vantagens .....	56
2.3.5.7.	Desvantagens .....	58
2.3.5.8.	Defeitos .....	58
2.3.5.8.1.	Fragilização por Hidrogênio.....	58
2.3.5.8.2.	Contaminação por Oxigênio e Nitrogênio .....	59
2.3.5.8.3.	Limpeza.....	59
2.3.5.8.4.	Fusão Incompleta.....	59
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>60</b>
<b>4.</b>	<b>DESENVOLVIMENTO / ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>62</b>
4.1.	SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO (SAW):.....	63
4.1.1.	Aplicações .....	63
4.1.2.	Vantagens .....	63
4.1.3.	Desvantagens .....	64
4.2.	SOLDAGEM A ARCO ELETRODO (SMAW):.....	64
4.2.1.	Aplicações .....	64
4.2.2.	Vantagens .....	64
4.2.3.	Desvantagens .....	65
4.3.	SOLDAGEM A ARAME TUBULAR COM GÁS INERTE (GMAW): .....	65
4.3.1.	Aplicações .....	65
4.3.2.	Vantagens .....	65
4.3.3.	Desvantagens .....	66
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>67</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A soldagem é uma arte antiga que tem sido praticada desde que o homem aprendeu a extrair e refinar ferro. Até o início do século XIX, o método de soldagem utilizado era o mesmo usado na época romana. Os dois pedaços de metal a serem unidos eram aquecidos e depois martelados ou pressionados juntos, de modo a espremer a escória e óxido permitindo que as superfícies se unissem.

Os primeiros desenvolvimentos na tecnologia de soldagem concentraram-se principalmente na soldabilidade e pesquisa metalúrgica, o que permitiu uma ampla gama de união de materiais e controle da integridade dos materiais soldados. Embora ainda seja necessário um maior trabalho na área de pesquisa de materiais para permitir a junção de materiais avançados, grande parte do esforço recente foi dedicado à melhoria compreensão dos processos básicos, consumíveis e desenvolvimento de equipamentos de controle e automação.

Um grande número de diferentes processos utilizados na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas é abrangido pelo termo soldagem. Classicamente, a soldagem é considerada como um método de união, porém, muitos processos de soldagem ou variações destes são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando a recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais. Diferentes processos relacionados com os de soldagem são utilizados para o corte ou para o recobrimento de peças. Diversos aspectos dessas operações de recobrimento e corte são similares à soldagem e, por isso, muitos aspectos destes processos são abordados juntamente com esta definição (MODENESI, 2000).

A soldagem é essencial para a fabricação de uma variedade de componentes, que podem variar de estruturas muito grandes, como navios e pontes, a estruturas muito complexas, como motores de aeronaves ou miniaturas componentes para aplicações microeletrônicas.

Com o passar dos anos, diversos processos de soldagem foram sendo desenvolvidos, cada um destes na maioria das vezes é específico para algum tipo de processo, ou material. Entende-se que cada um desses processos possui vantagens e desvantagens, sendo assim, a comparação de cada um desses processos de soldagem é uma área de pesquisa promissora, de modo que possa promover o melhor entendimento de cada um destes processos.

## 1.2. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo comparativo de diferentes formas de aplicação das soldas, bem como conhecimento das vantagens e desvantagens de cada um dos processos abordados.

## 1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar uma revisão da literatura dos processos de soldagem a arco submerso, soldagem a arco eletrodo revestido e soldagem a arame tubular com gás inerte;
- Comparar os três processos abordados;
- Demonstrar as vantagens e desvantagens de cada processo investigado.

## 1.4. JUSTIFICATIVA

Justifica-se este estudo de modo que o mesmo será de grande valia para o pesquisador que necessitar de saber quais as diferenças entre os processos de soldagem de soldagem a arco submerso, soldagem a arco eletrodo revestido e soldagem a arame tubular com gás inerte, além disso, serão apresentados também as vantagens e desvantagens de cada processo para reforçar o entendimento do leitor.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. PROCESSO DE SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO (SAW)

#### 2.1.1. Definição

Segundo Jeffus (2020), a soldagem a arco submerso (SAW) é um processo de soldagem por fusão, no qual o calor é produzido a partir de um arco entre a peça e um eletrodo de metal de enchimento alimentado continuamente. A poça de solda derretida é protegida da atmosfera por uma proteção espessa de fluxo derretido e escória formada a partir do material de fluxo granular pré-colocado no processo.

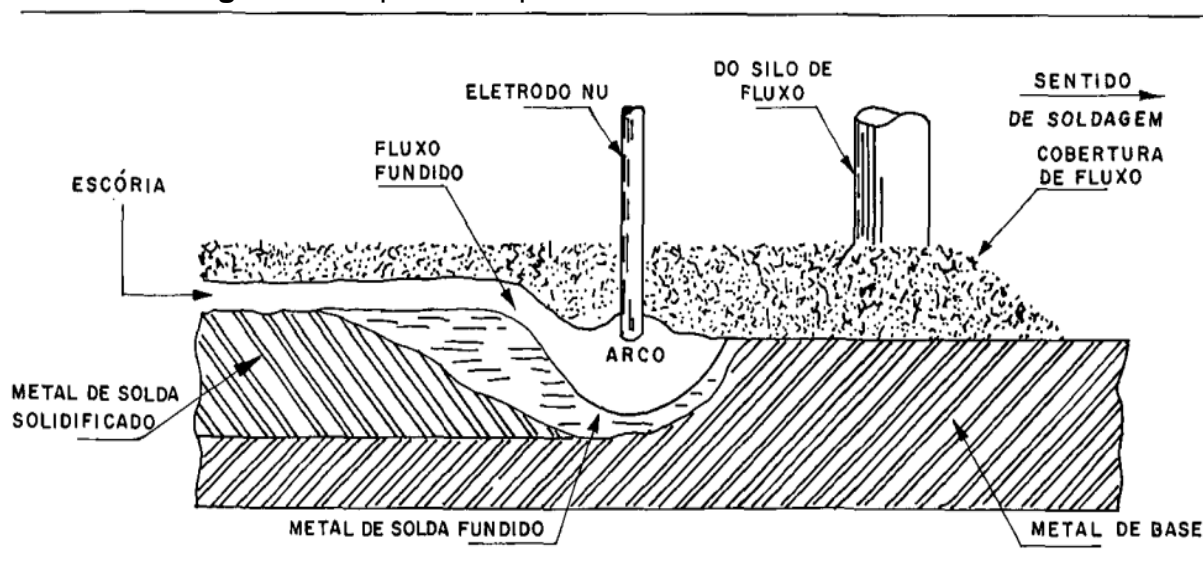
AWS (1997), comenta que a soldagem por arco submerso (SAW) produz a coalescência de metais aquecendo-os com um arco entre um eletrodo de metal descoberto e a peça soldada. O arco e o metal fundido são "submersos" em uma proteção de fluxo granular durante o processo. A pressão não é usada e o metal de adição é obtido do eletrodo e, às vezes, de uma fonte suplementar, como haste de solda ou grânulos de metal. Na soldagem a arco submerso, o arco é coberto por um fluxo. Esse fluxo desempenha um papel principal, pois a estabilidade do arco depende do fluxo, as propriedades mecânicas e químicas do depósito final da solda podem ser controladas pelo fluxo e a qualidade da solda pode ser afetada através da forma que o fluxo é manuseado.

A soldagem a arco submerso pode ser empregada em uma gama extremamente ampla de peças de trabalho. O método é adequado para soldagem de topo, fabricação de vasos de pressão, vigas de ponte, tubos de água maciços, chapas finas e assim por diante. Além disso, o processo é particularmente eficaz para aplicações de revestimento, como revestir o aço carbono suave com materiais de aço inoxidável ou ao depositar materiais rígidos em um substrato mais macio. Este tipo de solda geralmente é realizada em ambientes fechados em indústrias. Trabalhar ao ar livre sempre traz o risco de níveis indesejáveis de umidade que chegam à junta ou fluxo e resultam na porosidade da solda. Se a soldagem a arco submerso precisar ser realizada ao ar livre, precauções especiais devem ser tomadas, como a construção de um telhado sobre a área de trabalho (HOULDCROFT, 2014; KENNEDY, 1986; ESAB, 2007).

A soldagem a arco submerso é um processo de soldagem versátil, capaz de fazer soldas com correntes de até 2.000 amperes, CA ou CC, usando um ou mais fios ou tiras de metal de adição. As fontes de energia CA e CC podem ser usadas na mesma solda ao mesmo tempo (AWS, 1997).

A Figura 1 abaixo mostra uma aplicação do processo SAW.

**Figura 1.** Esquema do processo de solda a arco submerso



Fonte: WAINER, et al. (1992)

### 2.1.2. História

Desenvolvido nos Estados Unidos no ano de 1935 buscando atender as necessidades de qualidade e maior produtividade a princípio na indústria de construção naval iniciou-se a expansão do uso do processo mantendo suas características operacionais básicas durante a segunda guerra mundial, buscando atender os novos requisitos dos tipos de materiais e aplicações (ASM, 2019).

Jeffus (2020) cita que no início da década de 1930 ocorreu a introdução do processo de soldagem a arco submerso (SAW). O primeiro de muitos processos a usar um fio contínuo como eletrodo, sua aceitação foi maior durante a Segunda Guerra Mundial. A tonelagem anual de fio de eletrodo usado aumenta a cada ano à medida que mais automação e soldagem robótica são introduzidas em novas aplicações.

### 2.1.3. Fundamentos do Processo

Na soldagem a arco submerso, a extremidade de um eletrodo de fio desencapado contínuo é inserida em um monte de fluxo que cobre a área ou a junta a ser soldada. Um mecanismo de alimentação começa a alimentar o fio do eletrodo em direção à junta a uma taxa controlada, e o alimentador é movido manual ou automaticamente ao longo da costura da solda. Para a realização de processos em máquina ou automáticos, a peça trabalhada pode ser movida sob um alimentador estacionário. Um fluxo adicional é continuamente alimentado na frente e ao redor do eletrodo e distribuído continuamente pela junta. O calor evoluído pelo arco elétrico derrete progressivamente parte do fluxo, a extremidade do fio e as bordas adjacentes do metal base, criando um reservatório de metal fundido sob uma camada de escória líquida. A poça derretida perto do arco está em um estado altamente agitado. O fluxo flutua no metal fundido e protege completamente a zona de soldagem da atmosfera (AWS, 1997).

Paranhos (1999), comenta que o fluxo líquido pode conduzir alguma corrente elétrica entre o fio e o metal base, mas um arco elétrico é a fonte de calor predominante. A proteção de fluxo na superfície superior da poça de solda evita que os gases atmosféricos contaminem o metal de solda, dissolve as impurezas no metal base e no eletrodo e leva para a superfície. À medida que a zona de soldagem progride ao longo da costura, o metal de solda e o fluxo do líquido esfriam e solidificam, formando um cordão de solda e um escudo protetor de escória sobre ela. É importante que a escória seja completamente removida antes de realizar outra solda.

É enviado a ponta de fusão com o auxílio de um conjunto moto redutor o arame sólido tubular ou fita, por um controle elétrico ou eletrônico é ajustada a velocidade de trabalho do mesmo, esta energização é compartilhada de uma rede elétrica proveniente da fonte de soldagem. A poça de fusão é formada pelo arame eletrodo, o metal base e o fluxo que são fundidos por um arco elétrico. A formação do cordão de solda é devido a solidificação do metal a partir do fluxo fundido formando a denominada escoria que evita a contaminação da atmosfera no cordão de solda, em outros processos esta proteção é proveniente dos gases, e ainda reduz a velocidade de resfriamento (PARANHOS, 1999; ASM, 2019).

O conjunto básico usado na soldagem arco submerso é composto por fonte de energia, sistema de controle, unidade de alimentação de arame, tocha e reservatório de fluxo.

#### **2.1.4. Características do Processo**

Paranhos (1999) e ASM (2019) comentam que pelo fato do arco se encontrar submerso durante o processo de solda, o processo se torna estável e suave e também gerando poucos fumos e excelente penetração, pois a fusão ocorre tanto no metal de base, metal de adição e também do pó conhecido como fluxo. Devido à camada protetora o processo de soldagem a arco submerso é isento de respingos com um excelente acabamento resultando em cordões de solda uniformes. A utilização de uma combinação adequada entre um metal de adição, fluxo e técnica operatória permite a soldagem de união, enchimento e revestimento de peças metálicas.

#### **2.1.5. Equipamentos**

Connor (1987) e AWS (1997), citam que o equipamento necessário para a soldagem a arco submerso consiste em:

1. Uma fonte de alimentação;
2. Um sistema de fornecimento de eletrodo;
3. Um sistema de distribuição de fluxo;
4. Um arranjo de deslocamento;
5. Um sistema de controle de processo.

O equipamento opcional inclui sistemas de recuperação de fluxo e posicionamento ou equipamento de manipulação.

#### **2.1.6. Arranjos**

A técnica de soldagem tandem arc possibilita os seguintes arranjos de fonte de energia para cada eletrodo:

Para dois eletrodos:

- CC-CC;
- CC-CA;

- CA-CA.

Para três eletrodos:

- CA-CA-CA.

#### 2.1.6.1. Arranjo CC-CC

É o arranjo mais simples utilizado. É destinado para alcançar alta velocidade de soldagem até 3m/min na soldagem de espessura fina até 6mm. As fontes de energia são do tipo constante e os alimentadores de arame de velocidade constante. O diâmetro do eletrodo usado é de 1,2 a 2,4mm. O uso de eletrodos de pequeno diâmetro proporciona o alcançar alta densidade corrente acima de 60A/mm<sup>2</sup> (MATTHEW E CHARLES, 1999; PARANHOS, 1999).

#### 2.1.6.2. Arranjo CC-CA

Matthew e Charles (1999), comentam que este arranjo é o mais comum empregado na indústria, para soldagem de juntas de topo e filete. Fonte de CC possui excelente características de abertura de arco. A fonte de energia CA capacita o uso de alta intensidade de corrente, reduzindo os efeitos prejudiciais do sopro magnético, pois a corrente do terra não produz um campo magnético unidirecional.

O espaçamento entre os eletrodos é uma variável importante para garantir uma operação estável em alta velocidade de soldagem. O espaçamento usual é entre 12 e 16mm.

#### 2.1.6.3. Arranjo CA-CA

A eliminação completa de sopro magnético é conseguida usando-se todas as fontes de energia CA, podendo-se assim usar alta intensidade de corrente. É aplicada na soldagem de tubos e em soldas multipasse em chapa grossa. Para melhor desempenho da soldagem é feito uma ligação tipo Scott entre as duas fontes de energia CA (MATTHEW E CHARLES, 1999; ASM, 2019).

O diâmetro do eletrodo é de 2,5 a 5 mm e o espaçamento entre o eletrodo de 12 a 25 mm. O primeiro eletrodo pode trabalhar com intensidade de corrente até 1500A e o segundo eletrodo trabalha com intensidade cerca de 15 a 20% menor que o primeiro, suficiente para proporcionar o desejado perfil de solda (ASM, 2019).

#### 2.1.6.4. Arranjo CA-CA-CA

Esta é uma extensão do processo com dois eletrodos CA-CA. Proporciona velocidade de soldagem até cinco vezes superiores a alcançada com a soldagem convencional, e até 70% superior à obtida com tandem-arc de dois eletrodos. Para um melhor desempenho da soldagem, a ligação das fontes de energia CA faz o uso da ligação scott, o equipamento é igual ao de dois eletrodos, apenas adicionando mais uma fonte de energia e um alimentador de arame (MATTHEW E CHARLES, 1999).

A soldagem tandem-arc é um processo automático mais empregado na indústria de fabricação de tubulação tanto em soldas longitudinais como circunferências.

Para a solda longitudinal normalmente emprega-se a técnica tandem-arc com três arames, com a finalidade de alcançar o máximo de velocidade de soldagem possível. Os ângulos e espaçamentos indicados apresentam maior concentração de energia permitindo um melhor controle de penetração e geometria da solda (ASM, 2019).

#### 2.1.7. Fonte de Energia

A fonte de energia escolhida para um sistema de soldagem a arco submerso desempenha um papel operacional importante. Vários tipos de fonte de alimentação são adequados para soldagem a arco submerso. Uma fonte de alimentação (CC), que fornecerá uma tensão contínua, corrente contínua (CC). As fontes de alimentação CA geralmente são do tipo transformador e podem fornecer também uma saída (CC). Como a soldagem a arco submerso geralmente é um processo de alta corrente com ciclos altos, uma fonte de alimentação capaz de fornecer alta amperagem com um ciclo de trabalho de 100% é recomendada (CONNOR, 1987; AWS, 1997).

Segundo Matthew e Charles (1999), a fonte de energia geralmente possui uma capacidade superior a 400A devendo fornecer tensão e corrente suficientes para a fusão do arame eletrodo, ela pode ser do tipo transformador ou retificador. As fontes de energia são geradores e transformadores retificadores para o uso de CC ou transformadores para o uso de CA. A corrente contínua ou corrente alternada produzem resultados satisfatórios embora cada uma apresente vantagens distintas

em aplicações específicas, dependendo da faixa de intensidade da corrente, diâmetro do eletrodo e da velocidade soldagem.

Matthew e Charles (1999) ainda complementam que a fonte de energia com corrente contínua é mais comum em soldagem semiautomática com eletrodo de 2,4 mm e intensidade de corrente na faixa de 300 a 500A. Soldagem automática com o arame simples e faixa de intensidade de corrente de 300 a 600A. Fonte de energia com corrente alternada é mais comum para aplicação com intensidade de corrente elevada na faixa de 900 a 1500A e baixa velocidade de soldagem na faixa de 20 a 40 cm/min.

Aplicações de corrente alternada ou corrente contínua podem ser utilizadas em soldagem automática com arame simples e intensidade de corrente na faixa de 600 à 900A e velocidade de soldagem na faixa de 35 à 80 cm/min. Soldagem com arcos múltiplos e fonte de energia independentes. Fontes de energia em curva característica de atenção constante são as que melhor se adaptam a soldagem a arco submerso. Corrigem automaticamente as variações dos parâmetros elétricos quando usadas com alimentador de arame de velocidade constante. A tensão do arco e o comprimento do arco são controlados pela fonte de energia. Onde a intensidade de corrente é estabelecida pela velocidade de alimentação do arame (MATTHEW E CHARLES, 1999; PARANHOS, 1999; ASM, 2019).

#### 2.1.7.1. Transformador

É um dispositivo destinado a realiza a modificação dos níveis de tensão e corrente elétrica com a constância da potência elétrica de um circuito a outro, um transformador modifica também em um circuito elétricos os valores das impedâncias elétricas (MATTHEW E CHARLES, 1999).

A indução de corrente de acordo com o princípio do eletromagnetismo é diretamente responsável pelo funcionamento dos transformadores. É possível criar uma corrente elétrica em um circuito uma vez que esse seja submetido a um campo magnético variável, e é por necessitar dessa variação no fluxo magnético que os transformadores só funcionam em corrente alternada (FARADAY, 1825).

Como já mencionado o transformador fornece somente corrente alternada, portanto normalmente sendo utilizado com dois ou mais arames na mesma poça de fusão.

#### 2.1.7.2. Transformador Retificador

Matthew e Charles (1999), citam que os retificadores são elaborados para a conversão de correntes alternadas em corrente contínua. O retificador trabalha da forma que permite que uma corrente ou tensão seja constante.

A corrente fornecida pela rede elétrica é alternada, os equipamentos eletrônicos precisam de corrente contínua, devido então a necessidade desta conversão da corrente alternada em corrente contínua surgiu os circuitos retificadores. O retificador fornece corrente contínua obtida através da retificação da corrente por meio de diodos ou tiristores (MATTHEW E CHARLES, 1999; PARANHOS, 1999).

#### 2.1.8. Sistema de Controle

Os sistemas de controle utilizados na soldagem semiautomática por arco submerso são simples. Os controles usados com fontes de alimentação de tensão contínua mantêm uma velocidade contínua de alimentação do fio. Os controles usados com fontes de alimentação de corrente contínua monitoram a tensão do arco e ajustam a velocidade de alimentação do fio para manter uma tensão contínua (AWS, 1997).

Os alimentadores de fio mais simples possuem controles analógicos ou um botão que mantêm a velocidade constante de alimentação do fio. Os alimentadores de fio usados para a soldagem a arco submerso automático, possuem controles digitais baseados em microprocessadores. Esses controles possuem loops de retorno em interface com a fonte de alimentação e o motor de alimentação do fio, para manter a tensão de soldagem e a velocidade do fio nos valores predefinidos. A grande vantagem dos controles digitais é o controle preciso do processo de soldagem. As desvantagens são que os controles não são compatíveis com algumas fontes de alimentação e costumam ser menos resistentes que a maioria dos controles analógicos (CONNOR, 1987; AWS, 1997).

O sistema de controle geralmente possui medidores de corrente e tensão, chave liga desliga, comando para posicionar o arame e regular a velocidade de

deslocamento. Sua função principal é ajustável a velocidade de alimentação do arame sendo pré-ajustada conforme a aplicação (MATTHEW E CHARLES, 1999).

### 2.1.9. Técnica de Soldagem

O processo de soldagem a arco submerso é totalmente automatizado, o operador apenas supervisiona, a taxa de deposição do metal de adição é maior e a qualidade do produto final normalmente é mantida já que o processo é uniforme. Existem variáveis no processo, e cada uma delas tem sua influência no produto final em termos de qualidade e produtividade. Todas essas variações dependem do processo de soldagem adequado.

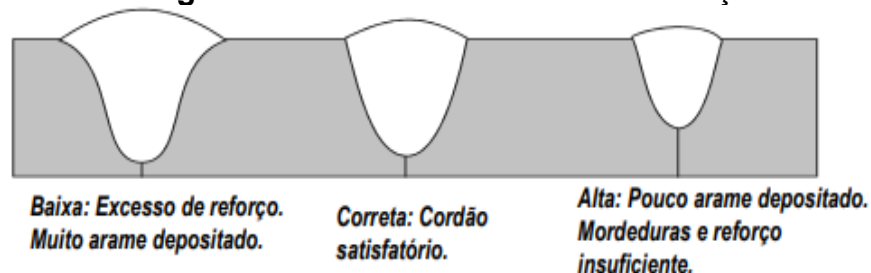
- *Corrente de Solda:*

A corrente de solda, afeta diretamente a taxa de fusão do arame e a penetração do cordão. O aumento da corrente resulta em maior penetração. Já a diminuição da corrente, proporciona menor penetração, a variação da velocidade do arame provocará uma alteração proporcional na intensidade da corrente (PARANHOS, 1999).

- *Tensão:*

A tensão do arco influencia principalmente a largura e o reforço do cordão de solda. O efeito da atenção é muitas vezes confundido, pois afeta a diluição ao invés da penetração. Em soldas de topo sem abertura, o aumento da tensão do arco aumenta a largura do cordão e a diluição, mantendo a penetração (PARANHOS, 1999).

**Figura 2.** Efeitos da velocidade de avanço



Fonte: PARANHOS (1999)

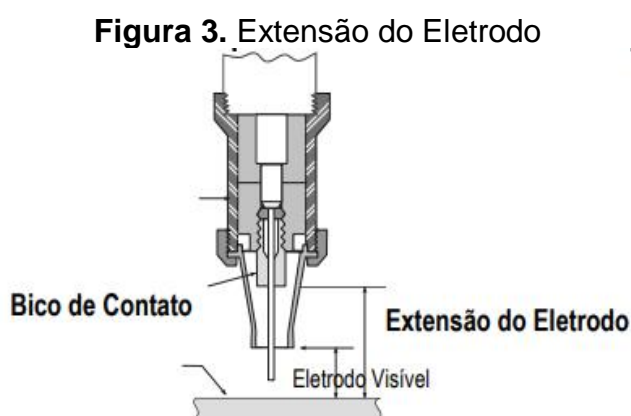
### 2.1.10. Eletrodos

Os metais de solda estão disponíveis como fio padrão e em várias formas especiais. Os fios possuem tamanhos de 1,6 mm a 6 mm. Alguns metais de adição é fornecido como fio trançado. É usado para dar ao arco algum movimento oscilante quando o fio entra na solda. Essa oscilação ajuda a fundir a ponta da solda com o metal base. Os eletrodos são pedaços finos e planos de metal de adição que são usadas para aplicações em superfície. Eles estão disponíveis com até 76 mm de largura e em várias espessuras (JEFFUS, 2020).

O equipamento de soldagem a arco submerso é capaz de aceitar uma faixa limitada de diâmetro de eletrodo. Portanto, as necessidades de trabalho devem ser cuidadosamente avaliadas ao se especificar um equipamento. A soldagem arco submerso automática normalmente emprega eletrodos de diâmetro de 2,4 a 6,4 mm (PARANHOS, 1999; ASM, 2019).

#### 2.1.10.1. Extensão do Eletrodo

Paranhos (1999), comenta que a extensão do eletrodo é definida como a distância entre a extremidade do bico de contato e a peça de trabalho. Toda a extensão do eletrodo é submetida ao aquecimento por resistência durante a passagem de corrente, normalmente a extensão do eletrodo é mantida entre 19 e 30 mm na maioria das aplicações.



Fonte: PARANHOS (1999)

### 2.1.11. Classificações e Seleção de Consumíveis

Os eletrodos são classificados com base na sua composição química. Ainda, a norma estabelece critérios de embalagem, identificação e certificação, diâmetro e

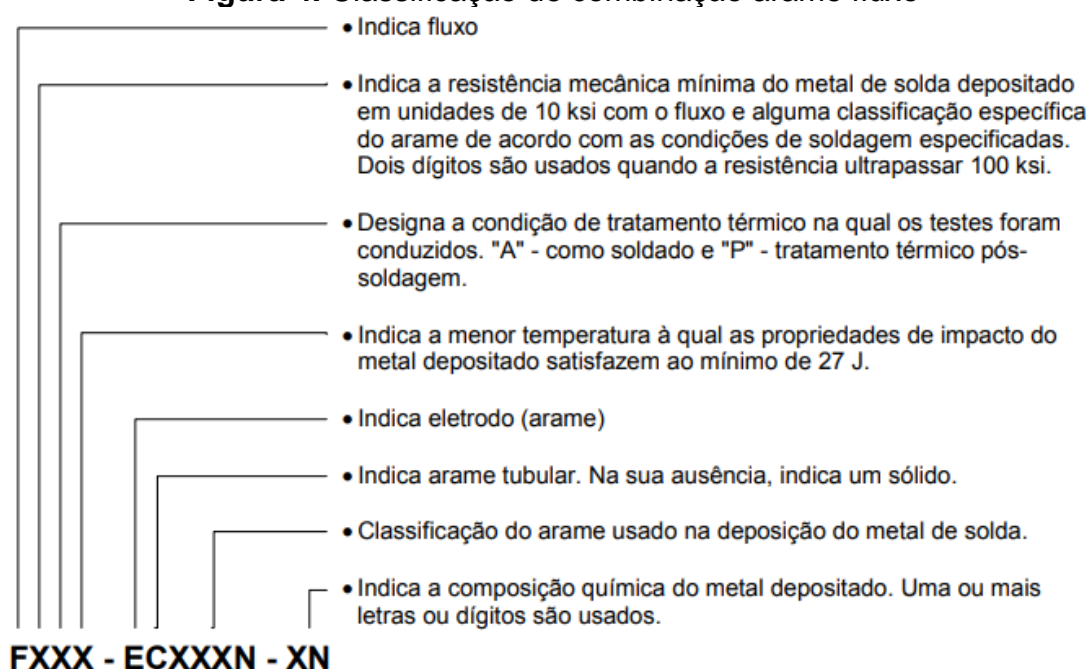
condições de embobinamento. Os eletrodos utilizados no processo de arco submerso são fornecidos em carretéis ou bobinas com diferentes tamanhos na forma de arame sólidos, tubulares ou fitas (FORTES E ARAÚJO, 2004).

Para proteger o arame eletrodo de aço carbono contra oxidação e facilitar o contato elétrico geralmente é aplicado uma fina película de cobre durante a sua fabricação, a escolha do arame eletrodo adequado é feita de acordo com a aplicação, ou seja, a espessura do metal de base, requisitos mecânicos, químicos e metalúrgicos.

No caso dos aços inoxidáveis os arames ou fitas são escolhidos conforme as diferentes aplicações, para facilitar a escolha correta da combinação do eletrodo fluxo são utilizadas as especificações da AWS e ASME, através de um sistema de letras e números as classificações AWS e ASME são idênticas e apenas informam quais as propriedades mecânicas do metal depositado da combinação eletrodo fluxo e a composição química do metal depositado (AWS, 1997).

Fortes e Araújo (2004), comentam que o sistema de classificação mais utilizado no Brasil para consumíveis de soldagem arco submerso é definido pela norma AWS A5.17 e A5.23, para soldagem de aços carbono de baixa liga.

**Figura 4.** Classificação de combinação arame fluxo

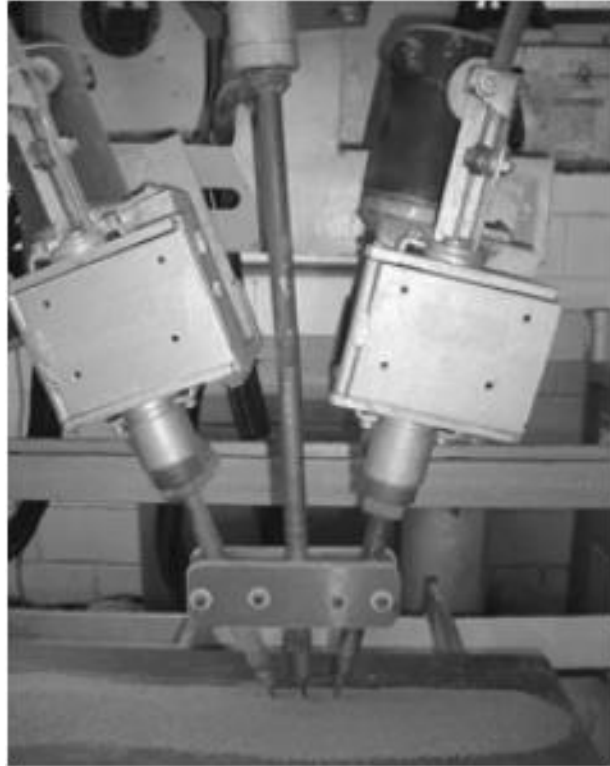


Fonte: FORTES E ARAÚJO (2004)

### 2.1.12. Aumento da Produtividade e Eficiência

Para aumentar a produtividade podem ser usados arames em serie, dois ou mais arames alimentados simultaneamente, montados um atrás do outro em linha um soldando atrás do outro conhecido como sistema Tandem arc ou arames múltiplos (ASM, 2019).

**Figura 5.** Disposição típica para soldagem arcos múltiplos



Fonte: ASM (2019)

A soldagem a arco submerso será mais eficiente se a junta puder ser preenchida com o menor número possível de vias. Se, ao trabalhar em aço macio, a peça de trabalho puder ser virada e, se o material não for muito grosso, um cordão será aplicado de cada lado da junta. Se o material básico for aço com ligas, normalmente é necessário um procedimento de múltiplas vias. É certo que isso resulta em um aumento nos custos do processo, mas, para muitas peças, a economia do processo ainda é suficientemente atraente para que a soldagem a arco submerso seja mais econômica do que, a soldagem manual usando eletrodos revestidos. Além disso, haverá menos defeitos de solda através da soldagem automática (HOULDCROFT, 2014; KENNEDY, 1986; ESAB, 2007).

### 2.1.13. Principais Aplicações

Paranhos (1999) e Connor (1987), dissertam que a soldagem a arco submerso tem suas maiores aplicações em peças e equipamentos de aço carbono, carbono manganês, baixa liga e aço inoxidável sendo utilizado na fabricação de tubulações, estruturas metálicas, plataformas de petróleo, construção naval e caldeiraria em geral. Outras aplicações importantes são na área de manutenção, para a recuperação de peças gastas como cilindro de laminação, rolos de lingotamento contínuo e partes rodantes de máquinas de terraplanagem. Pode ser utilizado também para deposição de revestimentos anticorrosivos ou antidesgastantes na forma de arame eletrodo ou fita.

Já AWS (1997) comenta que a soldagem a arco submerso é usada em uma ampla gama de aplicações industriais. Solda de alta qualidade, altas taxas de deposição e adaptabilidade à operação automática tornam o processo adequado para a realização de grandes soldas. É amplamente utilizado na fabricação de vasos de pressão, construção de navios e barcaças, fabricação de vagões ferroviários, fabricação de tubos e na fabricação de elementos estruturais onde são necessárias soldas longas. As instalações de soldagem de arco submerso automáticas fabricam conjuntos produzidos em massa unidos com soldas curtas e repetitivas.

O processo é usado para soldar materiais que variam de 1,5 mm a chapas grossas e pesadas. A soldagem a arco submerso não é adequada para todos os metais e ligas. É amplamente utilizado em aços carbono, aços estruturais de baixa liga e aços inoxidáveis. Ele une alguns aços estruturais de alta resistência, aços de alto carbono e ligas de níquel. No entanto, melhores propriedades da junta são obtidas com esses metais, usando um processo com menor entrada de calor no metal base, como a soldagem a arame tubular com gás inerte (GMAW).

A soldagem a arco submerso é usada para soldar juntas de topo na posição plana e soldas de filete nas posições plana e horizontal. Com ferramentas e fixações especiais, as juntas de lapidação e de topo podem ser soldadas na posição horizontal (CONNOR, 1997).

#### 2.1.14. Vantagens

Jeffus (2020), comenta que as principais vantagens da solda a arco submerso são:

- **Mínima necessidade de proteção do operador:** A proteção pesada cobre toda a luz do arco, exceto um flash ocasional. A ausência da luz do arco significa que muitos soldadores podem trabalhar próximos um do outro. O soldador não precisa usar capacete de soldagem, portanto a visibilidade e a segurança são aprimoradas. O fluxo também impede que a maior parte da fumaça de solda escape. Mesmo com um grande número de soldadores operando em espaços confinados, a ventilação forçada é praticamente eliminada. Os custos de aquecimento e refrigeração da fábrica são reduzidos pois a quantidade de ventilação necessária é limitada.
- **Maior taxa de deposição:** Usando fios de diâmetro grande, mais de 18 kg / h podem ser depositados. Essa taxa é quase duas vezes a taxa da soldagem por arames tubulares (FCAW) e quatro vezes a da soldagem a arco eletrodo revestido (SMAW). Somente a taxa de deposição da soldagem por eletroescória se compara a este processo.
- **Uso eficiente de materiais:** Com a soldagem por arco submerso, não há respingos provenientes de resíduos de metal de adição e problemas de limpeza pós-solda. Todo o eletrodo é transferido e se torna depósito de solda. Somente o fluxo fundido necessário para a solda é perdido. O fluxo não fundido pode ser recuperado e reutilizado. A quantidade de fluxo consumida pode ser controlada variando o comprimento do arco, o que é feito alterando a tensão do arco.
- **Tamanho da solda:** As soldas de sulco plano ou de filete de até 25 mm. podem ser feitas em apenas uma via usando um único eletrodo. Tamanhos maiores são possíveis com vários eletrodos.
- **Facilmente adaptado:** Com esse processo, o fluxo e o fio são adquiridos separadamente. O fluxo pode ser usado para trocar as ligas no metal de solda depositado no eletrodo. Ao alterar o fluxo, as propriedades da solda são alteradas. A composição do fluxo é facilmente alterada para atender às propriedades metalúrgicas específicas. Dois ou mais fluxos podem ser

misturados ou metal granulado pode ser adicionado a um fluxo ou mistura para atender às necessidades individuais.

- **Soldas de alta qualidade:** É permitido que o arco submerso seja usado em ferro estrutural, vasos de pressão, cilindros criogênicos e em muitas outras aplicações críticas.

Além disso, o processo a arco submerso se caracteriza pela sua excelente taxa de deposição, superior aos demais processos de soldagem conforme mostrado no quadro abaixo.

**Quadro 1.** Comparação de taxas de deposição

	Arco Eletrodo (SAW)	TIG	Arame tubular com gás inerte (GMAW)	Plasma	Arco Submerso (SMAW)	Eletrodo Tubular
Tipo de Operação	Manual	Manual e Automática	Automática e Semiautomática	Manual e Automática	Automática e Semiautomática	Automática e Semiautomática
Taxa de Deposição	0,5 a 5kg / h	0,2 a 1,5kg / h	1 a 15kg / h	0,5 a 2,5 kg / h	5 a 12 kg / h	2 a 9kg / h

Fonte: Autor

### 2.1.15. Desvantagens

Assim como em outros processos, os processos de arco submerso também possuem desvantagens (JEFFUS, 2020):

- **Restrito à posição plana e filetes horizontais:** Como os fluxos necessários para a soldagem a arco submerso fluem facilmente, a soldagem é restrita às posições em que o fluxo pode produzir uma proteção.
- **Os parâmetros de soldagem precisam de um controle cuidadoso:** Como o fluxo oculta a poça de solda, as condições de soldagem devem ser predefinidas com base em experimentos ou com informações comprovadas, incluindo a distância da ponta da peça ao contato, a corrente, a velocidade de deslocamento e a voltagem. A tensão do arco deve ser cuidadosamente controlada para garantir o perfil de solda adequado. Igualmente importante, desvios na tensão do arco podem causar alterações significativas na composição da solda ao usar os fluxos como fonte de ligas.
- **É necessária orientação mecânica:** Sem algum tipo de orientação, o arco poderia se afastar facilmente da junta que está sendo soldada. Para tirar

proveito da penetração profunda possível com o processo, o posicionamento preciso é muito importante. Mesmo com bons sistemas de orientação, podem surgir problemas de posicionamento se o fio não tiver uma fundição grande e uniforme (ou pequena dobra) e uma hélice desprezível (torção). Isso é particularmente importante quando uma extensão de eletrodo de fio longo é usada para aumentar as taxas de deposição.

#### **2.1.16. Defeitos**

Alguns defeitos podem acontecer no processo de soldagem a arco submerso, deste, os principais e que possuem maior relevância são: porosidade e fraturas.

##### **2.1.16.1. Porosidade**

AWS (1997) comenta que porosidades, surgem quando se emprega uma velocidade de soldagem inadequada, fluxo úmido ou insuficiente, metal base contaminado ou arame eletrodo oxidado.

O metal de solda depositado pelo arco submerso geralmente é limpo e livre de porosidade prejudicial, devido à excelente proteção oferecida pela proteção de escória derretida. Diversos fatores podem causar porosidade, dentre estes podem ser citados (JEFFUS, 2020; PARANHOS, 1999):

1. Contaminantes na articulação;
2. Contaminação do eletrodo;
3. Cobertura superficial insuficiente;
4. Contaminantes no fluxo;
5. Fluxo preso na parte inferior da junta;
6. Segregação de constituintes no metal de solda;
7. Velocidade de deslocamento excessiva;
8. Resíduo de escória.

Como em outros processos de soldagem, o metal base e o eletrodo devem estar limpos e secos. As altas velocidades de deslocamento e a rápida solidificação do metal de solda associado não fornecem tempo para o gás escapar do metal de

solda fundido. A velocidade de deslocamento pode ser reduzida, mas outras soluções devem ser investigadas primeiro para evitar custos mais altos de soldagem. A porosidade das soldas do eletrodo cobertas pode ser evitada usando eletrodos que não deixem um resíduo que cause porosidade (AWS, 1997; JEFFUS, 2020).

#### 2.1.16.2. Fraturas

Jeffus (2020) cita que as fraturas podem surgir devido a preparação errada das juntas, tensões residuais no conjunto soldado, penetração excessiva, combinação fluxo arame incorreta ou falha no controle térmico.

Fraturas de soldas em aço são geralmente associadas a trincas de metais líquidos. Essa causa pode ser atribuída à geometria da junta, variáveis de soldagem ou tensões no ponto em que o metal de solda está solidificando. Esse problema pode ocorrer tanto em soldas de topo como em soldas de filete, incluindo sulcos e soldas de filete soldadas simultaneamente de dois lados (AWS, 1997; CONNOR, 1987).

Fortes e Araújo (2004) cita que uma solução para esse problema é manter a profundidade do cordão de solda menor ou igual à largura da face da solda. As dimensões do cordão de solda podem ser medidas mais facilmente através do corte e gravação de uma amostra de solda. Para corrigir, o problema, as variáveis de soldagem ou a geometria da junta devem ser alteradas. Para diminuir a profundidade de penetração em comparação com a largura da face da junta, a velocidade de deslocamento da soldagem e a corrente de soldagem podem ser reduzidas.

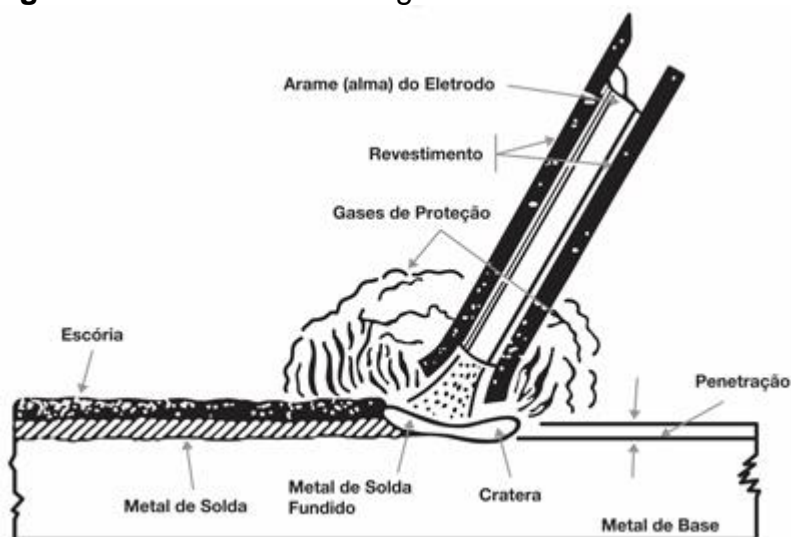
## 2.2. SOLDAGEM A ARCO ELETRODO REVESTIDO (SMAW)

### 2.2.1. Definição

De acordo com Jeffus (2020), a soldagem a arco eletrodo revestido (SMAW) é um processo de soldagem que usa um arco elétrico entre a extremidade de um eletrodo de metal para transportar uma corrente elétrica. A corrente forma um arco através do espaço entre o final do eletrodo e a peça a ser soldada. O arco elétrico cria calor suficiente para derreter o eletrodo e a peça. O metal derretido do eletrodo passa através do arco até a poça derretida no metal base, onde eles se misturam. A ponta do eletrodo e a poça de metal fundido são cercados, purificados e protegidos por gases de proteção, uma cobertura do fluxo fundido é produzida à medida que o

revestimento do eletrodo queima ou vaporiza. À medida que o arco se afasta, a mistura de eletrodo fundido e metal base solidifica e se torna uma peça. Ao mesmo tempo, o fluxo fundido solidifica, formando uma escória sólida. Alguns tipos de eletrodos produzem coberturas de escória mais pesadas do que outros.

**Figura 6.** Processo de soldagem a arco eletrodo revestido



Fonte: ESAB (2020)

### 2.2.2. História

Conforme descrito por Neris (2002), na idade média as primeiras técnicas de união metálica empregadas foram a brasagem e a soldagem por forjamento, utilizados para a confecção de ferramentas cortantes e armas. Como consequência das descobertas de Sir Humphrey Davy (1801-1806) referentes ao fenômeno do arco elétrico, foi possível obter o desenvolvimento da tecnologia da soldagem, considerado um dos principais marcos presentes na evolução da soldagem. Em 1907 ocorreu um marco na história da soldagem, onde Oscar Kjellberg registrou a patente do primeiro eletrodo revestido, sendo um dos processos mais utilizados no mundo até os dias de hoje.

Através de estudos recentes é possível averiguar a viabilidade técnica de eletrodos revestidos rútilicos na soldagem subaquática molhada, onde o aglomerante tradicional foi substituído por polímeros, dessa forma foi possível a obtenção de eletrodos com revestimento resistente à água, ou seja, diminuição significativa do teor de hidrogênio presente durante a soldagem. Houve redução ou eliminação total de

processos de tratamentos térmicos e secagem durante a fabricação desses eletrodos e também a redução no custo de produção (FICHEL, et al., 2009).

### **2.2.3. Características do Processo**

A posição da soldagem não é limitada pelo processo, mas pelo tipo e tamanho do eletrodo. O processo é adequado para a maioria dos metais e ligas comumente usados. Pode ser usado em áreas de acesso limitado. Eletrodos de solda a arco de metal blindado estão disponíveis para soldar carbono e aços de baixa liga; aços inoxidáveis; ferros fundidos; alumínio, cobre e níquel e suas ligas (CONNOR, 1987).

De acordo com AWS (1997), metais com baixo ponto de fusão, como chumbo, estanho e zinco e suas ligas, não são soldados com soldagem a arco (SMAW), porque o calor intenso do arco é alto demais para eles. Além disso, os metais "reativos", como titânio, zircônio, tântalo e colombo, não são soldados com eletrodos cobertos. Esses metais são muito sensíveis à contaminação por oxigênio e a blindagem obtida com os eletrodos revestidos não é adequada para eles.

Os eletrodos cobertos são produzidos em comprimentos de 230 a 460 mm. Quando o arco é atingido pela primeira vez, a corrente flui por todo o comprimento do eletrodo. A quantidade de corrente que pode ser usada, portanto, é limitada pela resistência elétrica do fio do núcleo. A amperagem excessiva superaquece o eletrodo e quebra a cobertura. Isso, por sua vez, altera as características do arco e a blindagem obtida. Devido a essa limitação, as taxas de deposição de eletrodos cobertos são mais baixas do que as de um processo contínuo de soldagem de eletrodos em que o eletrodo não é coberto (CONNOR, 1987).

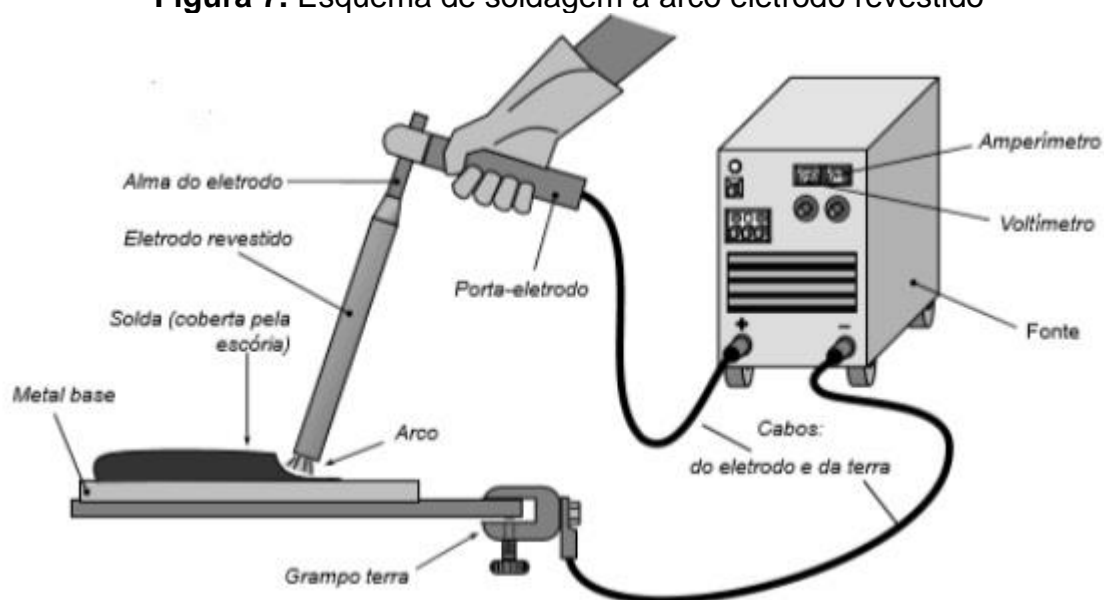
Como os eletrodos são produzidos em comprimentos retos, eles podem ser consumidos apenas até um certo comprimento mínimo. Quando esse comprimento é alcançado, o soldador deve interromper seu trabalho para trocar os eletrodos. Isso faz com que o tempo do arco e, portanto, a taxa geral de deposição sejam mais baixos com eletrodos cobertos do que com um processo contínuo de eletrodos. Além disso, a escória geralmente deve ser removida da extremidade do cordão antes que o soldador possa continuar esse cordão com um novo eletrodo. Para muitas aplicações, a solda concluída deve ser limpa para processamento subsequente ou para evitar corrosão (AWS, 1997).

#### 2.2.4. Procedimentos de Operação

A soldagem começa quando um arco elétrico é atingido entre a ponta do eletrodo e a peça a ser soldada. O calor intenso do arco derrete a ponta do eletrodo e a superfície da peça abaixo do arco. Minúsculos glóbulos de metal fundido se formam rapidamente na ponta do eletrodo e depois transferem-se através da corrente do arco para a poça de solda fundida. Dessa maneira, o metal de adição é depositado à medida que o eletrodo é progressivamente consumido. O arco é movido sobre a peça a um comprimento e velocidade de deslocamento apropriados, derretendo e fundindo uma parte do metal base e adicionando metal de adição à medida que o arco progride. Como o arco é uma das fontes mais quentes de calor comercial temperaturas acima de 5000° C foram medidas no centro, a fusão ocorre quase instantaneamente, à medida que o arco entra em contato com o metal na posição plana, a transferência de metal é induzida pela força da gravidade, expansão de gás, forças elétricas e eletromagnéticas e tensão superficial. Para soldas em outras posições, a gravidade trabalha contra outras forças (CONNOR, 1987).

Conforme AWS (1997), o processo soldagem com arco eletrodo revestido é adaptável a qualquer espessura de material dentro de certas limitações práticas e econômicas. Para espessuras de material inferiores a cerca de 1,6 mm, o metal base derreterá e o metal fundido cairá antes que uma poça de solda comum possa ser estabelecida, a menos que procedimentos especiais de fixação e soldagem sejam empregados. Não há limite superior de espessura, mas outros processos, como soldagem a arco submerso (SAW) ou soldagem com arame tubular (FCAW), são capazes de fornecer taxas e economias de deposição mais altas para a maioria das aplicações que envolvem espessuras superiores a 38 mm. A maioria das aplicações de soldagem a arco eletrodo revestido (SMAW) tem espessuras entre 3 e 38 mm, exceto onde configurações diferentes são encontradas. Tais configurações colocam um processo de soldagem automatizado em desvantagem econômica. Nesses casos, o processo de arco de metal revestido é comumente utilizado para soldar materiais de até 250 mm.

**Figura 7.** Esquema de soldagem a arco eletrodo revestido



Fonte: CARRARO (2017)

#### 2.2.4.1. Posição de Soldagem

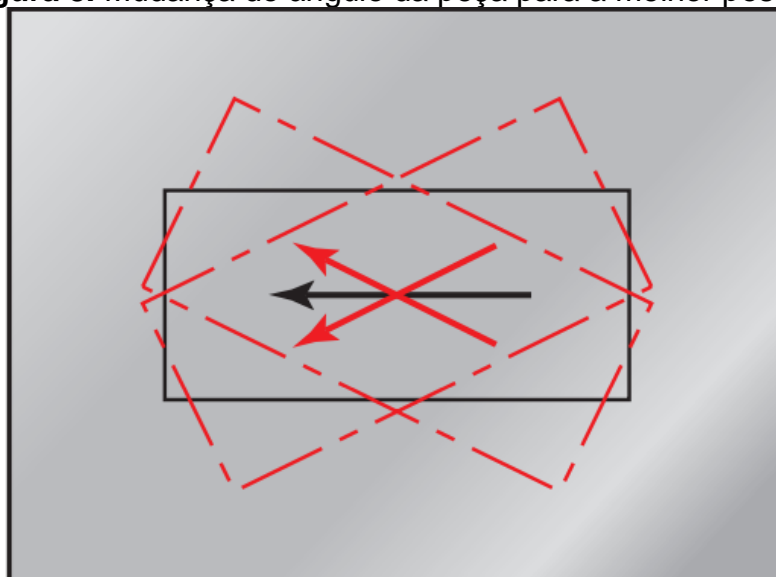
Uma das principais vantagens da soldagem com arco eletrodo revestido (SMAW) é que pode ser realizada em qualquer posição na maioria dos materiais para os quais o processo é adequado. Isso torna o processo útil em juntas que não podem ser colocadas na posição plana. Apesar dessa vantagem, a soldagem deve ser realizada na posição plana, sempre que possível, porque é necessária menos habilidade, e eletrodos maiores com taxas de deposição correspondentemente mais altas podem ser usadas. As soldas nas posições vertical e aérea requerem mais habilidade da parte do soldador e são realizadas com eletrodos de diâmetro menor. Os projetos de juntas para soldagem vertical e aérea podem ser diferentes daqueles adequados para a soldagem em posição plana (AWS, 1997).

Jeffus, et al., (2011) orienta que o soldador deve estar em uma posição relaxada e confortável antes de começar a soldar. Uma boa posição é importante para o conforto do soldador e a qualidade das soldas. A soldagem em uma posição incômoda pode causar fadiga ao soldador, o que leva a uma má coordenação do soldador e a soldas de baixa qualidade. Os soldadores devem ter liberdade de movimento suficiente para que não precisem mudar de posição durante uma solda. As mudanças de posição do corpo devem ser feitas apenas durante as trocas de eletrodos.

Quando o capacete de soldagem está abaixado, o soldador fica cego para os arredores. Devido ao arco, o campo de visão do soldador também é muito limitado. Esses fatores costumam causar oscilação do soldador. Para parar este balanço, o soldador deve se apoiar ou segurar um objeto estável. Ao soldar, mesmo que um soldador esteja sentado, tocar em um objeto estável tornará o soldador mais estável e a soldagem mais relaxante (JEFFUS, et al., 2011).

A soldagem é mais fácil se o soldador puder encontrar o ângulo mais confortável. O soldador deve estar em uma posição sentada ou em pé na frente da mesa de soldagem. A máquina de soldar deve estar desligada. Com um eletrodo no lugar, o soldador pode desenhar uma linha reta ao longo da placa a ser soldada. Ao girar a placa em vários ângulos diferentes, o soldador deve determinar qual ângulo é mais confortável para a soldagem, de acordo com a figura abaixo (JEFFUS, 2020).

**Figura 8.** Mudança do ângulo da peça para a melhor posição



Fonte: JEFFUS (2020)

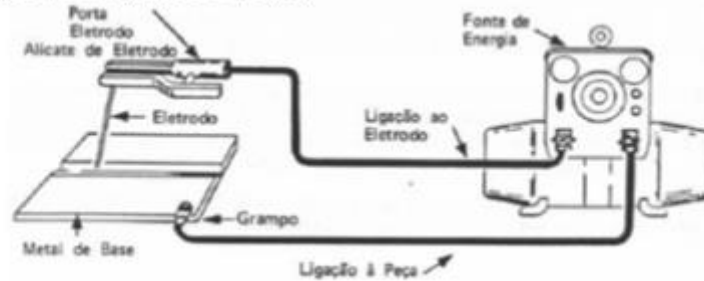
### 2.2.5. Equipamentos

Em comparação aos outros processos elétricos de soldagem, o equipamento básico para a soldagem com eletrodo revestido possui uma das mais simples configurações possíveis, que consiste nos elementos ilustrados na Figura 9.

## Figura 9. Equipamentos de soldagem a arco eletrodo revestido

### Equipamentos

- Fonte de energia;
- Alicates para fixação dos eletrodos;
- Cabos de interligação;
- Grampo para ligação à peça;
- Equipamento de proteção individual;
- Equipamento para limpeza da solda;



Fonte: CHIAVERINI (1986)

#### 2.2.5.1. Acessórios do Equipamento

##### 2.2.5.1.1. Suporte do Eletrodo

De acordo com Connor (1987), um suporte de eletrodo é simplesmente um dispositivo de fixação para permitir que o soldador segure e controle o eletrodo. Também serve como um dispositivo para conduzir a corrente de soldagem do cabo de soldagem para o eletrodo. Uma alça isolada no suporte protege a mão do soldador do circuito de soldagem. A corrente é transferida para o eletrodo através das garras do suporte. Para garantir resistência mínima ao contato e evitar superaquecimento do suporte, as garras devem ser mantidas em boas condições. O superaquecimento do suporte não apenas torna desconfortável para o soldador, mas também pode causar queda de tensão excessiva no circuito de soldagem. Ambos podem prejudicar o desempenho do soldador e reduzir a qualidade da solda.

##### 2.2.5.1.2. Aterramento

Um grampo de aterramento é um dispositivo para conectar o fio condutor ou o cabo terra ao solo. Ele deve produzir uma conexão forte, mas poder ser anexado de maneira rápida e fácil à peça. Para trabalhos leves, um grampo com mola pode ser adequado. Para correntes altas, no entanto, pode ser necessário um grampo de

parafuso para fornecer uma boa conexão sem superaquecer o grampo (CONNOR, 1987).

#### 2.2.5.1.3. Cabos de Soldagem

O cabo de soldagem consiste em muitos fios finos de cobre ou alumínio presos juntos e envoltos em uma capa de proteção isolante e flexível. A capa de proteção é feita de borracha sintética ou de plástico com boa tenacidade, alta resistência elétrica e boa resistência ao calor. Um invólucro de proteção é colocado entre os fios condutores trançados e a camisa de isolamento para permitir algum movimento entre eles e fornecer flexibilidade máxima (CONNOR, 1987).

#### 2.2.5.2. Configuração do Equipamento

Conforme descrito por Jeffus, et al., (2011), as máquinas de solda a arco devem estar localizadas perto do local de soldagem, mas longe o suficiente para que não sejam cobertas com chuveiros de faísca. As máquinas podem estar empilhadas para economizar espaço, mas deve haver espaço suficiente entre as máquinas para que o ar adequado circule para impedir o superaquecimento das máquinas. O ar que circula pela máquina deve estar o mais livre possível de limalhas de poeira, óleo e metal. Mesmo em uma boa localização, a energia deve ser desligada periodicamente e a máquina soprada com ar comprimido.

A máquina de solda deve estar localizada longe de tanques de limpeza e de outras fontes de fumaça corrosiva que possam ser sopradas através dela. Vazamentos de água devem ser corrigidos e as poças limpas antes que uma máquina seja usada. A energia da máquina deve ser fundida e um interruptor de desligamento de energia deve ser fornecido. O interruptor deve estar localizado de forma que possa ser alcançado em uma emergência, sem tocar na máquina ou na estação de soldagem. O gabinete ou a estrutura da máquina devem estar aterrados. Os cabos de soldagem devem ser suficientemente longos para chegar ao local onde a peça será soldada. Os cabos não devem ser colocados no chão em corredores ou em locais de passagem dos colaboradores. Se os trabalhadores tiverem que atravessar uma passarela, o cabo deve ser instalado no teto ou protegido por protetores de fio. A máquina de solda e seu interruptor principal devem estar desligados enquanto uma pessoa estiver instalando ou trabalhando nos cabos (JEFFUS, et al., 2011).

Além disso, a estação de trabalho deve estar livre de materiais combustíveis. Telas devem ser fornecidas para proteger outros trabalhadores da luz do arco (JEFFUS, et al., 2011).

### **2.2.6. Tipos de Fontes de Energia**

Dois tipos de dispositivos elétricos podem ser usados para produzir a combinação de corrente de baixa voltagem e alta amperagem exigida pela soldagem a arco eletrodo revestido (SMAW). Um tipo usa transformadores, como as máquinas de solda do tipo transformador são mais silenciosas, mais eficientes em termos energéticos, requerem menos manutenção e são mais caras. O outro tipo usa um motor para acionar um alternador ou gerador. Os geradores movidos a motor são amplamente utilizados para soldagem portátil (JEFFUS, et al., 2011).

#### **2.2.6.1. Seleção da Fonte de Energia**

Vários fatores precisam ser considerados quando uma fonte de energia para soldagem a arco (SMAW) é selecionada (AWS, 1997):

1. O tipo de corrente de soldagem necessária;
2. A faixa de amperagem necessária;
3. As posições em que a soldagem será realizada;
4. A energia primária disponível.

Conforme AWS (1997), a seleção do tipo de corrente, CA, CC ou ambos, será baseada amplamente nos tipos de eletrodos a serem usados e no tipo de solda a ser feita. Para corrente alternada, pode ser usado um transformador ou um alternador da fonte de energia. Para CC, as fontes de energia do retificador do transformador ou do gerador do motor estão disponíveis. Quando CA e CC forem necessários, pode ser usado um retificador de transformador monofásico ou uma fonte de energia de alternador-retificador. Caso contrário, serão necessárias duas máquinas de solda, uma para corrente alternada e outra para corrente contínua.

Os requisitos de amperagem serão determinados pelos tamanhos e tipos de eletrodos a serem usados. Quando uma variedade é encontrada, a fonte de

alimentação deve ser capaz de fornecer a faixa de amperagem necessária. O ciclo de serviço deve ser adequado (CONNOR, 1997).

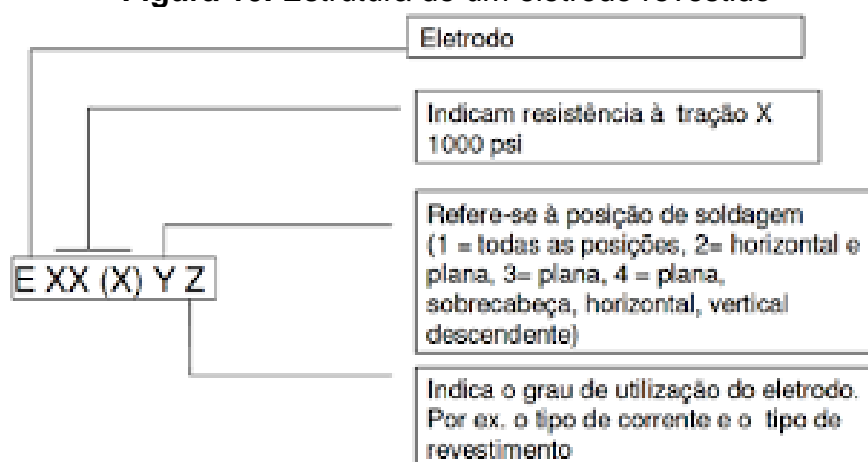
As posições nas quais a soldagem será realizada também devem ser consideradas. Em casos de soldagem vertical e aérea, provavelmente será necessário o ajuste da inclinação da curva V-A. Nesse caso, a fonte de alimentação deve fornecer esse recurso. Isso geralmente requer controles para a tensão de saída e a corrente (CONNOR, 1997).

### 2.2.7. Eletrodos

Connor (1987) relata que o núcleo do eletrodo revestido consiste em uma haste de metal sólida de material trefilado ou fundido ou uma haste fabricada com revestimento de pó de metal em uma bainha metálica. A haste do núcleo conduz a corrente elétrica ao arco e fornece metal de adição para a junta. O revestimento protege o metal fundido da atmosfera à medida que ele é transferido através do arco e melhora a suavidade ou estabilidade do arco. A cobertura também possui outras funções, dependendo do tipo de eletrodo, mas essas duas são as principais funções do revestimento em todos os eletrodos.

Os eletrodos são especificados conforme suas propriedades mecânicas, composição química do metal de solda, tipo de revestimento e posição de soldagem (MODENESI, 2006). A figura abaixo indica as denominações alfanuméricas das especificações de eletrodos revestidos.

**Figura 10.** Estrutura de um eletrodo revestido



Fonte: ESAB (2020)

O quadro 2 mostra as características correspondentes para cada denominação do último dígito:

**Quadro 2.** Características do último dígito da estrutura do eletrodo revestido

Último Dígito	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Corrente/ Polaridade	CC (+)	CA/CC (+)	CA/CC (-)	CA/CC (+/-)	CA/CC (+/-)	CC (+)	CA/CC (+)	CA/CC (-)	CA/CC (+)
Escória	Celulósica	Celulósica	Rutilica	Rutilica	Rutilica	Básica	Básica	Mineral	Básica
Arco	Forte	Forte	Médio	Fraco	Fraco	Médio	Médio	Fraco	Médio
Penetração	Profunda	Profunda	Média	Pouca	Pouca	Média	Média	Média	Média
Pó de Fe	0 - 10%	---	0 - 10%	0 - 10%	30 - 50%	---	---	50%	30 - 50%

Fonte: ESAB (2020)

A norma AWS A5.4 a utilização de uma classificação opcional, principalmente para eletrodos de revestimento básico.

As siglas R e HZ, sendo R = Eletrodo resistente à umidade, são acrescentadas à classificação básica da norma AWS A5.4, sendo utilizadas por esses eletrodos. Elas são R e HZ, sendo R = Eletrodo resistente à umidade. Em uma condição ambiente de temperatura equivalente a 26,7°C, umidade relativa do ar de 80%, para uma exposição de 9 horas à umidade, o nível de absorção deve ser inferior a 0,4%. Exemplo: E7018R. A segunda classificação adicional (HZ) se refere ao nível de hidrogênio do eletrodo, sendo que a letra Z equivale ao nível de hidrogênio (16, 8, 4 ml (H<sub>2</sub>) / 100g de metal depositado). Exemplo E7018H4 (ESAB, 2020).

As classificações opcionais em relação à quantidade de hidrogênio estão descritas no quadro 3.

**Quadro 3.** Classificação AWS

Classificação AWS	Designação Hidrogênio Dusível	Conteúdo médio de Hidrogênio Difusível H <sub>2</sub> ml/100g
E7015	H16 / H8 / H4	16, 8, 4
E7016	H16 / H8 / H4	16, 8, 4
E7018	H16 / H8 / H4	16, 8, 4
E7028	H16 / H8 / H4	16, 8, 4
E7048	H16 / H8 / H4	16, 8, 4

Fonte: ESAB (2020)

Existem três tipos fundamentais de eletrodo revestido (CARRARO, 2017).

- **Revestimento celulósico:** caracterizado pela grande produção de gases resultantes da combustão de materiais orgânicos (principalmente a celulose). Não devem ser ressecados, alta penetração, pouca escória, facilmente destacável. O alto nível de hidrogênio no metal de solda depositado impede o uso em estruturas muito restritas, ou em materiais sujeitos a trincas por hidrogênio.
- **Revestimento básico:** possui em sua composição grandes quantidades de carbonatos (de Cálcio ou do outro material elemento) e fluorita ( $\text{CaF}_2$ ), responsáveis pela geração de escória com características básicas. Em adição com o dióxido de carbono decomposto do carbonato, protege a solda contra a ação da atmosfera. Esse revestimento produzirá soldas com baixo teor de hidrogênio, desde que seja armazenado adequadamente. Com isso há uma minimização dos problemas de fragilização e fissuração. A solda feita com eletrodos deste tipo possui penetração média e o cordão apresenta boas características mecânicas.
- **Revestimento rutilico:** possuem em sua composição grandes quantidades de rutila ( $\text{TiO}_2$  - dióxido de Titânio), produzindo uma escória abundante, densa e de fácil destacabilidade. Os eletrodos com esse revestimento são de fácil manipulação e podem ser usados em qualquer posição, exceto quando possuírem grande quantidade de ferro em sua composição. São bastante utilizados por serem bem versáteis, podendo utilizar corrente contínua ou alternada, produzindo um cordão de bom aspecto. Possui penetração baixa ou média.

#### 2.2.7.1. Tipos de Eletrodos Mais Usuais

Dois eletrodos usuais e comum no mercado são os E-7018 e E-7018 H4.

##### 2.2.7.1.1. Eletrodo Revestido Básicos E-7018

O eletrodo de revestimento básico é normalmente nomeado E7018.

De acordo com Fortes (2005), o início ao desenvolvimento de eletrodos básicos de baixo teor de hidrogênio foi dado através da descoberta de defeitos de solda relacionados ao teor de hidrogênio difusível. A eliminação do hidrogênio na fórmula do revestimento do eletrodo é possível através da eliminação de compostos orgânicos

e químicos com alto teor de umidade juntamente a um ciclo de secagem a alta temperatura previsto na fabricação

Eletrodo E-7018 é uma versão do eletrodo básico de baixo teor hidrogênio. Para ser possível um arco mais suave e com menos respingos, é necessário adicionar pó de ferro ao revestimento, resultando assim na melhoria na estabilidade do arco, na direção do arco e na facilidade de manuseio em todas as posições (FORTES, 2005).

#### *2.2.7.1.2. Eletrodo Revestido E-7018 H4 R*

Quando a temperatura e a umidade aumentam a absorção de umidade no revestimento do eletrodo de baixo hidrogênio também aumentam (FORTES, 2005). Elbras (2011) relata que alguns fabricantes de eletrodos desenvolveram em laboratório um eletrodo revestido impermeável de baixo hidrogênio, a fim de eliminar essa possibilidade. Sendo assim, o revestimento do eletrodo desenvolvido teve o aglomerante tradicional substituído por polímeros, onde foram feitas adaptações para adquirir um revestimento consumível, reduzindo a absorção de umidade no eletrodo que ficará exposto ao ambiente por longos períodos. Este eletrodo revestido “impermeável” foi denominado como E-7018 H4R (ELBRAS, 2011).

#### *2.2.7.1.3. Comparativo E-7018 x E-7018 H4 R*

Através da comparação das características entre os eletrodos E-7018 e E-7018 H4 R, fornecidas no catálogo da ELBRAS, pode-se dizer que o eletrodo E7018 H4R apresenta maior resistência à tração e limite de escoamento que o eletrodo E-7018 convencional.

A norma AWS 5.1 (2003), prevista na Sociedade Americana de Soldagem (AWS), propõe que o eletrodo tem que liberar no máximo 4ml de hidrogênio a cada 100g de solda após 9 horas de exposição dentro de uma câmara climática com temperatura de 28 °C e umidade relativa de 80%. Sendo assim, conclui-se que o eletrodo revestido impermeável possui uma performance superior ao convencional, pois este libera apenas entre 0,8 e 2,8ml de hidrogênio em 100g de solda, enquanto o convencional libera 7 e 9ml. Além disso, a corrente de operação durante o processo de soldagem, de acordo com o diâmetro do eletrodo para o eletrodo E-7018 H4R, é menor que o eletrodo E-7018, e conseqüentemente possui um menor consumo de energia durante a soldagem.

#### 2.2.7.1.4. Critérios de Escolha de Eletrodos Revestidos

As características metalúrgicas, químicas, elétricas e dimensionais dos eletrodos usados na soldagem, tem importante papel na obtenção da qualidade exigida e no custo final de uma construção soldada (FERREIRA, 2003). O eletrodo a ser usado deve satisfazer as exigências de trabalho para a qual a construção tenha sido projetada. As indicações dadas a seguir têm o objetivo de facilitar a escolha dos eletrodos que serão usados numa obra e consistem basicamente no conhecimento dos seguintes pontos:

- Do tipo do metal depositado, ou seja, do metal obtido na fusão da alma metálica do eletrodo e dos elementos de liga adicionados ao revestimento.
- Do tipo do revestimento.
- Da espessura do revestimento.

#### 2.2.8. Principais Aplicações

O processo de soldagem com arco eletrodo revestido (SMAW) pode ser usado para unir a maioria dos metais e ligas comuns. A lista inclui os aços carbono, aços de baixa liga, aços inoxidáveis e ferro fundido, além de cobre, níquel e alumínio e suas ligas. A soldagem a arco eletrodo revestido também é usada para unir uma ampla gama de materiais quimicamente diferentes (AWS, 1997).

Connor (1987) comenta que o processo SMAW é usado para unir e aparar aplicações em uma variedade de metais básicos. A adequação do processo para qualquer metal base específico depende da disponibilidade de um eletrodo coberto, cujo metal de solda tenha a composição e as propriedades necessárias. Os eletrodos estão disponíveis para os seguintes metais comuns:

1. Aços carbono;
2. Aços de baixa liga;
3. Aços resistentes à corrosão;
4. Ferros fundidos (dúcteis e cinza);
5. Alumínio e ligas de alumínio;
6. Cobre e ligas de cobre;

## 7. Níquel e ligas de níquel.

Os eletrodos são disponíveis para aplicação de superfícies resistentes ao desgaste, impacto ou corrosão nesses mesmos metais básicos.

### 2.2.9. Vantagens

Este tipo de soldagem é muito versátil, pois a mesma máquina de solda SMAW pode ser usada para fazer uma grande variedade de projetos de solda em uma ampla variedade de tipos e espessuras de metal (JEFFUS, 2020):

- **Projetos de juntas:** Além das juntas padrão de topo (Butt Joint), sobreposta (Lap Joint), T (Tee Joint), borda (Edge Joint) e canto ((Corner Joint), a soldagem a arco eletrodo revestido (SMAW) foi certificada para ser usado para soldar todos os projetos de juntas possíveis.
- **Tipos de metal:** Embora o aço leve seja o metal mais comumente soldado, uma ampla variedade de tipos de eletrodos permite que o SMAW seja usado para soldar e revestir quase todos os metais ou ligas metálicas, incluindo ferro fundido, alumínio, aço inoxidável e níquel.
- **Espessura do metal:** Desde metais tão finos quanto bitola 16 e diversas espessuras, podem ser soldadas pela máquina de solda SMAW.

Conforme AWS (1997), a soldagem a arco eletrodo revestido (SMAW) é um dos processos mais amplamente utilizados, principalmente para soldas curtas em trabalhos de produção, manutenção e reparo. Sendo assim, segue abaixo outras vantagens deste processo:

1. O equipamento é relativamente simples, barato e portátil.
2. O metal de adição, sua proteção e a oxidação prejudicial do metal de solda durante a soldagem se encontram no eletrodo revestido.
3. Não há necessidade do fluxo granular.
4. O processo é menos sensível ao vento e à corrente de ar do que os processos de soldagem a arco com suprimentos de gases.
5. O processo é adequado para a maioria dos metais e ligas comumente utilizados.

### **2.2.10. Desvantagens**

As desvantagens são baixas taxas de deposição em comparação aos outros processos, tornando-o menos eficiente. Além disso, o uso do processo SMAW requer mais treinamento e habilidades dos soldadores do que os processos de soldagem semiautomáticos e automáticos (FERNANDES, 2011).

## **2.3. PROCESSO DE SOLDAGEM A ARAME TUBULAR COM GÁS INERTE MIG/MAG (GMAW)**

### **2.3.1. Definição**

A soldagem a arame tubular com gás inerte (GMAW) é um processo de soldagem a arco elétrico que produz coalescência de metais, aquecendo-os com um arco estabelecido entre um eletrodo de preenchimento contínuo (consumível) e a peça de trabalho. A blindagem do arco e da poça de solda derretida é obtida inteiramente a partir de uma mistura de gás ou através de gás fornecido externamente. O processo às vezes é chamado de soldagem MIG (CONNOR, 1987).

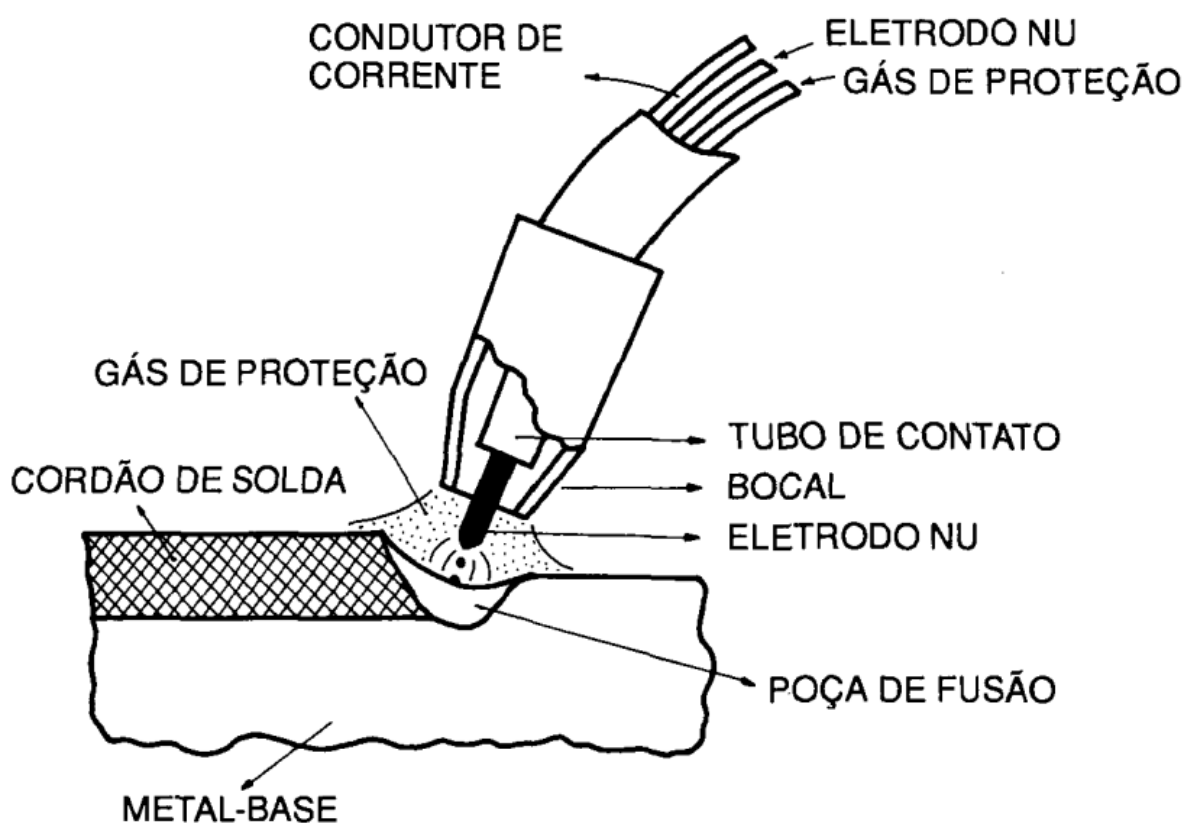
Na visão de Jeffus, et al., (2011), a soldagem a arame tubular com gás inerte (GMAW) usa um fio de solda sólido que é alimentado automaticamente a uma velocidade constante como um eletrodo. Um arco é gerado entre o arame e o metal base, e o calor resultante do arco derrete o arame de solda e o metal base para unir as peças. Este é um processo de arco de soldagem semiautomático, pois o fio é alimentado automaticamente a uma taxa constante e o operador fornece o movimento da pistola. Durante o processo de soldagem, um gás de proteção protege a solda da atmosfera e evita a oxidação do metal base. O tipo de gás de proteção usado depende do material de base a ser soldado.

Jeffus, et al., (2011) complementa dizendo que esse processo geralmente é chamado pelo seu nome original, MIG, que significa soldagem a gás inerte por metal. O processo inicial de soldagem GMAW usava apenas gases inertes para blindagem; portanto, o nome de soldagem MIG é aplicado. Atualmente, existem muitos gases diferentes usados na GMAW, a maioria são inertes, não reativos sob todas as condições e outros são reativos e podem combinar sob certas condições. Para refletir a adição de gases reativos, foi adicionado também o termo MAG (gás ativo do metal) ao dicionário dos termos de soldagem. Em algumas indústrias, os termos MIG e MAG

são os mais usados. O processo teve outros nomes ao longo dos anos, como soldagem de arame, mas seja qual for o nome, o processo é o mesmo.

AWS (1997) comenta também que o GMAW é utilizado principalmente em operações de soldagem de alta produção. Todos os metais importantes comercialmente, como aço carbono, aço inoxidável, alumínio e o cobre podem ser soldados com esse processo em todas as posições, escolhendo as condições adequadas de gás de proteção, eletrodo e soldagem. Uma variação do processo GMAW usa um eletrodo tubular em que os pós metálicos compõem a maior parte dos materiais do núcleo (eletrodo com metal). Esses eletrodos requerem uma proteção de gás para proteger a poça de solda derretida de contaminação atmosférica.

**Figura 11.** Processo de Soldagem a Arame Tubular com Gás Inerte



Fonte: WAINER, et al. (1992)

### 2.3.2. História

O uso do processo TIG foi iniciado na década de 1930, este processo consiste na utilização de gás como proteção de contaminação atmosférica no processo de soldagem. Já em 1948 surgiu o processo MIG que funciona da mesma maneira que o

anterior porém utiliza um eletrodo consumível. Nas décadas de 50 e 60 foi introduzido o arame autoprotégido por diversos engenheiros da Lincoln Electric (JOAQUIM, 2018).

O processo é usado com proteção contra um gás fornecido externamente e sem a aplicação de pressão. O conceito básico do GMAW foi introduzido no século XIX, mas somente em 1948 que ele foi disponibilizado comercialmente. No início, era utilizado um eletrodo de metal com densidade de alta corrente e diâmetro pequeno, usando um gás inerte para blindagem de arco. Sua aplicação principal foi na soldagem de alumínio. Como resultado, o termo MIG (Gas Inerte de Metal) foi usado e ainda é uma referência comum para o processo. Os desenvolvimentos subsequentes do processo incluíram operação em densidades de baixa corrente e corrente contínua pulsante, aplicação a uma gama mais ampla de materiais e uso de gases reativos (como o CO<sub>2</sub>) e misturas de gases. Esse último desenvolvimento levou à aceitação formal do termo soldagem a arco de metal com gás (GMAW) para o processo, pois são usados gases inertes e reativos (AWS, 1997).

Utilizar o arame tubular rendeu uma boa qualidade ao metal de solda depositado, ótima aparência ao cordão de solda entre outras boas características, bem como diminuir o número de respingos e permitir a solda em diversas posições. Muitas vezes sendo utilizado em fortes espessuras onde a geometria de junta e posição de soldagem não permitia a aplicação de outros processos de alto rendimento tal como arco submerso ou eletroescória. O processo de soldagem por Arame Tubular tem variações como, pode ser protegido por gás inerte, por gás ativo ou mistura destes ("dualshield") ou autoprotégido, sem a utilização de gases de proteção ("innershield"). (JOAQUIM, 2018).

### **2.3.3. Características do Processo**

As principais características deste processo é o fato dele ser um processo semiautomático bastante versátil podendo ser adaptado facilmente para a soldagem automática. Existe uma alimentação contínua do eletrodo facilitando a execução da soldagem em diversas posições não havendo limitações com relação à posição. É processo que possui uma alta velocidade de soldagem, além da alta taxa de deposição por conta da densidade de corrente alta na ponta do arame. Neste processo não há formação de escória e, conseqüentemente, não se perde tempo na sua

remoção, nem se corre o risco de inclusão de escória na soldagem em vários passes (WAINER, et al., 1992).

A penetração de raiz é mais uniforme quando comparado ao processo com eletrodo revestido, além também da diminuição de problemas de distorção e tensões residuais

Wainer, et al., (1992) cita também que por se tratar de um processo automática ou semiautomático, este processo que tem como característica a facilidade de execução da solda pelo soldador, além de ser possível que o mesmo seja facilmente treinado para soldar em todas as posições possíveis.

Outra característica é a penetração obtida com esse processo. Esta penetração está associada ao tipo de fluxo, parâmetros de soldagem e gás de proteção. Em geral, Arame Tubular com proteção gasosa apresentam características de maior penetração que o Arame Tubular auto protegido.

#### **2.3.4. Procedimento de Operação**

O processo GMAW incorpora a alimentação automática de um eletrodo contínuo e consumível que é protegido por um gás fornecido externamente. Após as configurações iniciais do operador, o equipamento fornece a regulação automática do arco. Portanto, os únicos controles manuais exigidos pelo soldador para operação semiautomática são a velocidade e a direção do deslocamento e o posicionamento da pistola. Dado o equipamento e as configurações adequadas, o comprimento do arco e a corrente (velocidade de alimentação do fio) são mantidos automaticamente. (AWS, 1997; CONNOR, 1987).

#### **2.3.5. Equipamentos**

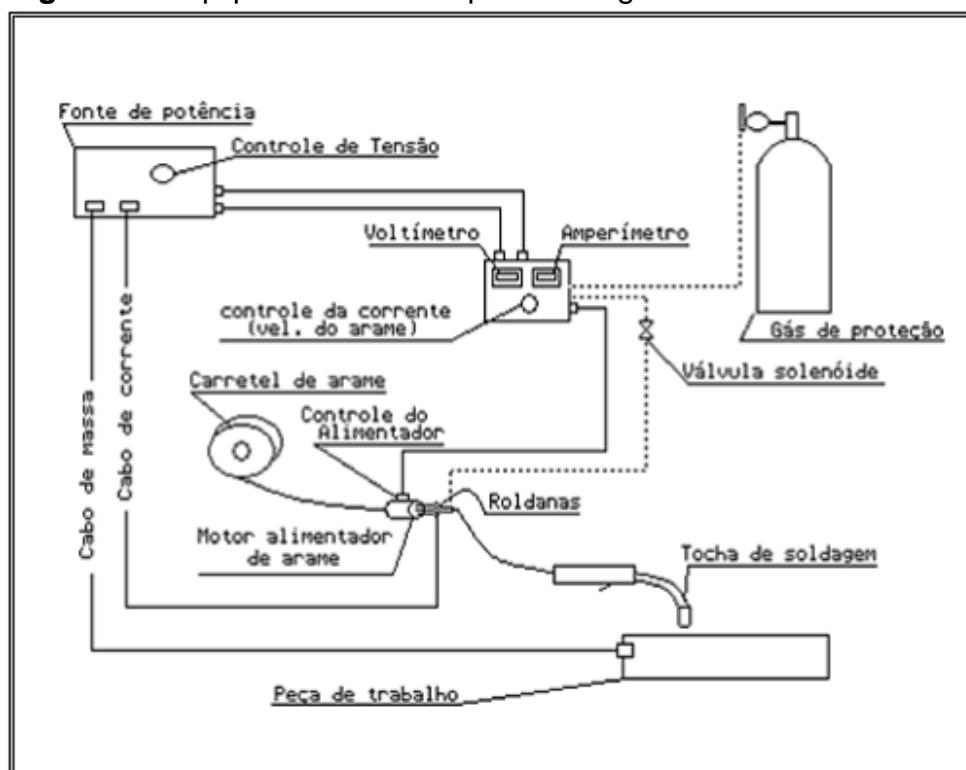
Os componentes básicos do equipamento são a pistola de solda e o conjunto de cabos, a unidade de alimentação do eletrodo, a fonte de alimentação e a pistola guia, o eletrodo consumível que conduza corrente elétrica e o gás de proteção para o trabalho, fornecendo energia para estabelecer e manter o arco e derreter o eletrodo, bem como a proteção necessária do ambiente atmosférico. Duas combinações de eletrodo, unidades de alimentação e fontes de alimentação são usadas para alcançar a auto regulação desejável do comprimento do arco. Geralmente, esse regulamento consiste em uma fonte de alimentação de potencial constante (tensão)

(caracteristicamente fornecendo uma curva volt-ampere essencialmente plana) em conjunto com uma unidade de alimentação de eletrodo de velocidade constante (AWS, 1997).

Com a combinação de potencial constante / alimentação constante do fio, as alterações na posição da tocha provocam uma alteração na corrente de soldagem que corresponde exatamente à alteração na aderência do eletrodo (extensão do eletrodo), portanto, o comprimento do arco permanece fixo. Por exemplo, um aumento da haste, saída produzida pela retirada da tocha reduz a saída de corrente da fonte de alimentação, mantendo assim o mesmo aquecimento de resistência do eletrodo (CONNOR, 1987).

A figura 12 mostra o esquema básico de um equipamento para soldagem com arame tubular.

**Figura 12.** Equipamento básico para soldagem com arames Tubular

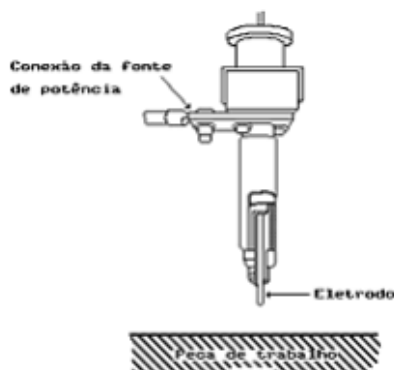


Fonte: AWS (1992)

Esse processo apresenta uma possibilidade de automatização, desta forma, pode ocasionar um aumento da velocidade de soldagem, e conseqüentemente aumento da produtividade, bem como assegurando uma menor variação das condições operacionais, assegurando uma maior constância e repetitividade.

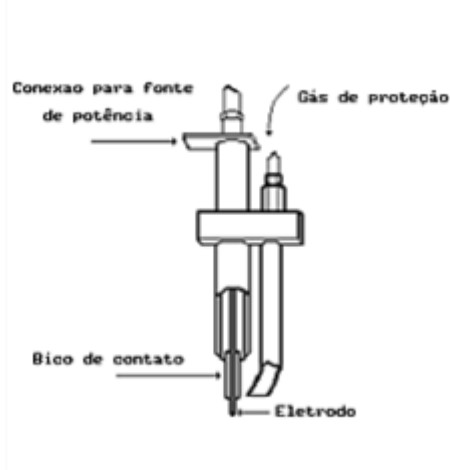
Com relação às tochas de soldagem, essas poderão apresentar diversas formas e características de acordo com o uso ou processo que serão implantadas como mostram as Figuras 13 e 14.

**Figura 13.** Tocha para soldagem semiautomática



Fonte: AWS (1992)

**Figura 14.** Tocha para soldagem automática com proteção gasosa



Fonte: AWS (1992)

#### 2.3.5.1. Características do Gás

O gás de proteção GMAW pode ser fornecido a partir de um cilindro de gás comprimido ou de um sistema coletor central de gás. Cilindros individuais fornecem a maior portabilidade, enquanto o sistema coletor pode oferecer a maior economia potencial, reduzindo o número de cilindros que uma loja deve utilizar. Os gases mais usados são dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), argônio (Ar) e hélio (He). Às vezes, uma mistura desses gases é usada para obter o melhor desempenho de soldagem possível. E, ocasionalmente, um traço de oxigênio pode ser adicionado à mistura para

fazer soldas em algumas ligas ferrosas (aço). Frequentemente, códigos, padrões e especificações de solda fornecem uma variedade de fluxos de gás e opções de gases ou misturas a serem usadas para uma solda. Portanto, você precisará fazer algumas escolhas de gás de proteção, mesmo quando houver especificações de soldagem (JEFFUS, et al., 2011).

Connor (1987) comenta que a função primária do gás de proteção é excluir o oxigênio da atmosfera. Isso é necessário porque a maioria dos metais, quando aquecidos no ponto de fusão no ar, apresentam forte tendência a formar óxidos e, em menor grau, nitretos. O oxigênio também reagirá com o carbono no aço fundido para formar monóxido de carbono e dióxido de carbono. Esses produtos de reação variados podem resultar em deficiências de solda, como escória presa, porosidade e fragilização do metal de solda. Os produtos de reação são facilmente formados na atmosfera, a menos que sejam tomadas precauções para excluir nitrogênio e oxigênio.

Além de fornecer um ambiente protetor, o gás de proteção e a taxa de fluxo também têm efeitos diferenciados de acordo com (AWS, 1997):

1. Características do arco;
2. Método de transferência de metal;
3. Perfil de penetração e cordão de solda;
4. Velocidade de soldagem;
5. Ação de limpeza;
6. Propriedades mecânicas do metal de solda.

A maioria destes gases, são misturas de gases inertes que também podem conter pequenas quantidades de oxigênio ou CO<sub>2</sub>. O uso de nitrogênio na soldagem de cobre é uma exceção (AWS, 1997).

#### 2.3.5.2. Métodos de Transferência de Metal

Jeffus, et al., (2011) disserta que o processo GMAW é único, pois existem vários modos de transferência do metal de adição do fio para a solda. Cada modo de transferência de metal possui características próprias. O modo de transferência de metal é o mecanismo pelo qual o metal de adição fundido é transferido através do

arco para o metal base. Os modos de transferência de metal são transferência por curto-circuito (GMAW-S), transferência axial por spray, transferência globular e transferência por arco pulsado (GMAW-P). Para mudar de um modo de transferência de metal para outro, tudo o que você precisa fazer são as alterações necessárias nas configurações de tensão e amperagem. Em outras palavras, é a configuração do equipamento e não o equipamento ou o metal de adição que determina o modo GMAW de transferência de metal. Portanto, é possível fazer soldas com cada um dos modos de transferência de metal, basta alterar a tensão e a amperagem sem precisar alterar o tipo de fio de enchimento. Em alguns casos, pode ser necessário alterar o gás de proteção; por exemplo, o CO<sub>2</sub> não pode ser usado para fazer soldas nos três modos de transferência, mas o ar + O<sub>2</sub> pode. A seleção do modo de transferência de metal usado depende da fonte de energia da soldagem, do tamanho do eletrodo do fio, do tipo e espessura do material, do tipo de gás de proteção usado e da melhor posição de soldagem para a tarefa.

AWS (1997) comenta que as características do processo GMAW são melhor descritas em termos dos três meios básicos pelos quais o metal é transferido do eletrodo para a peça soldada:

1. Transferência de curto-circuito;
2. Transferência globular;
3. Transferência de spray.

O tipo de transferência é determinado por vários fatores, dos quais os mais influentes são os seguintes:

1. Magnitude e tipo de corrente de soldagem;
2. Diâmetro do eletrodo;
3. Composição do eletrodo;
4. Extensão do eletrodo;
5. Gás de proteção.

Já Connor (1987) cita que a metal de enchimento pode ser transferido do eletrodo para a peça a ser soldada de duas maneiras: (1) quando o eletrodo entra em contato com a poça de fusão derretida, estabelecendo um curto-circuito, conhecido

como transferência de curto-circuito (soldagem a arco de curto-circuito); e (2) quando gotas de metal são movidas através da abertura do arco sob a influência da gravidade ou forças eletromagnéticas. A transferência de gotas pode ser do tipo globular ou por spray. Forma, tamanho, direção das gotas (axiais ou não axiais) e tipo de transferência são determinados por vários fatores. Os fatores de maior influência são:

1. Magnitude e tipo de corrente de soldagem;
2. Densidade;
3. Composição do eletrodo;
4. Extensão do eletrodo;
5. Gás de proteção;
6. Características da fonte de alimentação.

#### 2.3.5.3. Eletrodos

Jeffus, et al., (2011) comenta que o eletrodo usado com o GMAW é uma longa bobina de fio sólido. Este é um eletrodo de fio de enchimento e é alimentado continuamente de um carretel conectado à unidade de alimentação de arame. Uma série de rolos de acionamento, tubos-guia, um revestimento de conduíte e um tubo de contato fazem com que a entrega do eletrodo carregado eletricamente seja eficaz. Quando o eletrodo entra em contato com o metal base, um arco é estabelecido e a extremidade do eletrodo derrete para produzir o cordão de solda.

Embora não exista fluxo ou escória associada à soldagem GMAW, é notável uma substância parecida com vidro marrom, intermitente na superfície do cordão de solda solidificado. Essas são impurezas que foram flutuadas para a superfície da solda à medida que combinam com os desoxidantes no eletrodo. Desoxidantes, como manganês e silicônio, podem ser adicionados ao fio do eletrodo em pequenas quantidades para ajudar a remover as impurezas do metal que está sendo soldado.

A substância semelhante a vidro pode sair do cordão de solda durante o esfriamento e não causa nenhum dano à superfície da solda (JEFFUS, et al., 2011).

Connor (1987) complementa que os eletrodos usados para o GMAW são bem pequenos em diâmetro, em comparação com os usados para outros tipos de

soldagem. Os diâmetros de fio de 1,02 a 1,59 mm são aproximadamente médios. No entanto, diâmetros de eletrodo bem pequenos como de 0,5 mm e tão grandes quanto 3,18 mm, são usados as vezes. Devido aos tamanhos pequenos do eletrodo e às correntes comparativamente altas usadas no GMAW, as taxas de fusão dos eletrodos são muito altas. As taxas variam de aproximadamente 40 a 340 mm/s para todos os metais, exceto o magnésio, que atinge velocidades de até 590 mm/s. Por conta desta fusão rápida, os eletrodos devem sempre ser fornecidos como fios longos e contínuos de arame temperado adequadamente, que possam ser alimentados de maneira suave e contínua através do equipamento de soldagem. Os fios são normalmente fornecidos em carretéis de tamanho conveniente ou em bobinas. Os carretéis são mais comuns devido à tendência de os fios de tamanho pequeno embaraçarem, a menos que sejam suportados por uma estrutura adequada.

Devido ao seu tamanho relativamente pequeno, o eletrodo possui uma alta relação superfície-volume. Portanto, quaisquer compostos de extração, óleo ou outras matérias estranhas na superfície do eletrodo, tendem a estar em alta proporção em relação à quantidade de metal presente. Esses materiais estranhos podem causar defeitos no metal de solda, como porosidade e rachaduras. Conseqüentemente, o eletrodo deve estar limpo e livre de contaminantes (AWS, 1997).

#### 2.3.5.4. Inspeção e Qualidade da Solda

AWS (1997), cita que os procedimentos de controle de qualidade da solda para o processo GMAW são bastante semelhantes aos usados para outros processos. Dependendo das especificações aplicáveis, os procedimentos de inspeção devem determinar a adequação do desempenho do soldador, a qualificação de um procedimento de soldagem satisfatório e fazer um exame completo do produto final de solda.

A inspeção de solda no produto montado é limitada a métodos de exame não destrutivos, como inspeção visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, radiográficas e ultrassônicas. Testes destrutivos (testes de tração, cisalhamento, fadiga, impacto, flexão ou fratura) geralmente são limitados a desenvolvimento de engenharia, qualificação de procedimentos de soldagem e testes de qualificação de desempenho de soldadores (CONNOR, 1987).

#### 2.3.5.5. Principais Aplicações

O GMAW pode ser usado em uma ampla variedade de metais e configurações. Sua aplicação bem-sucedida depende da seleção adequada do seguinte (AWS, 1997):

1. Composição, diâmetro e embalagem do eletrodo;
2. Gás de proteção e vazão;
3. Variáveis de processo, incluindo amperagem, tensão, velocidade de deslocamento e modo de transferência;
4. Projeto conjunto;
5. Equipamento, incluindo fonte de alimentação, pistola e alimentador de arame.

ESAB (2016) comenta que:

Seu emprego se encontra amplamente difundido nos mais diversos segmentos de mercado como indústria nuclear, naval, "offshore", caldeirarias, fabricação de estruturas metálicas, indústria automotiva, transporte pesado, pipeline e reparo e manutenção e fabricação de estruturas e peças de aço carbono, aços baixa liga e aços inoxidáveis.

Além da soldagem, o processo GMAW é amplamente utilizado em superfícies onde o depósito de solda sobreposto oferece resistência desejável à corrosão ou outras propriedades. Essas sobreposições são normalmente aplicadas ao aço carbono. Tais sobreposições devem ser cuidadosamente avaliadas para obter resultados satisfatórios. A diluição do metal de solda com o metal base é uma função das características técnicas do arco. Geralmente, são necessárias várias camadas para obter um depósito químico adequado na superfície (CONNOR, 1987).

#### 2.3.5.6. Vantagens

O processo de soldagem com arame tubular produz soldas de alta qualidade, arco estável e baixo nível de respingos, além de poder ser utilizado em qualquer posição e com qualquer tipo de junta.

As vantagens da soldagem GMAW são diversas (JEFFUS, et al., 2011):

- **Fácil operação:** O soldador típico pode aprender a usar o equipamento GMAW com apenas algumas horas de instrução e prática. Pode ser necessário mais tempo para dominar o ajuste do equipamento;

- **Velocidade e qualidade:** A soldagem GMAW pode produzir soldas de alta qualidade com mais rapidez e consistência do que as soldas com eletrodo convencional;
- **Flexibilidade:** O metal de enchimento do mesmo tamanho e o tipo de gás de proteção podem ser usados para fazer soldas em metal fino ou grosso, simplesmente ajustando a corrente de soldagem;
- **Baixa distorção:** As velocidades mais rápidas de soldagem e as baixas correntes reduzem os danos causados pelo calor em áreas adjacentes que podem causar perda de força e empenamento. Como não há fluxo a ser removido entre os cordões de solda, outras técnicas, como a produção de uma série de pontos de solda ou ponto, podem ser usadas para controlar a distorção;
- **Controle da poça de solda:** A pequena poça de solda derretida é facilmente controlada. Isso permite que a soldagem GMAW tolere falhas e desvios maiores. As lacunas podem ser soldadas fazendo várias soldas curtas umas sobre as outras;
- **Fora de posição:** A soldagem GMAW pode ser facilmente usada em todas as posições, porque a poça de solda é pequena e o metal é fundido por um tempo muito curto;
- **Soldagem por aderência:** As soldas GMAW são facilmente iniciadas no local correto porque o fio não é energizado até que o gatilho da pistola seja pressionado;
- **Eficiente:** Alguns procedimentos de soldagem GMAW têm uma eficiência de 98% de metal de solda depositado em comparação com a soldagem por arco de metal revestido (SMAW), que é possui apenas 65% de eficiência nas condições mais ideais.

Já a AWS (1997) cita que as principais vantagens do GMAW são:

1. É o único processo de eletrodo consumível que pode ser usado para soldar todos os metais e ligas comerciais;
2. O GMAW supera a restrição do comprimento limitado do eletrodo encontrado na soldagem a arco de metal revestido (SMAW);

3. A soldagem pode ser realizada em todas as posições, um recurso não encontrado na soldagem a arco submerso (SAW);
4. As taxas de deposição são significativamente maiores que as obtidas com a soldagem a arco de metal submerso (SAW);
5. A velocidade de soldagem é maior do que a soldagem a arco de metal submerso (SAW), devido à alimentação contínua do eletrodo e às taxas de deposição de metais de adição mais altas;
6. Como a alimentação do arco é contínua, soldas longas podem ser realizadas sem pausa;
7. É necessária uma limpeza mínima após a soldagem devido à ausência de escória pesada.

Essas vantagens tornam o processo particularmente adequado para aplicações de alta produção e soldagem automatizada. Isso se tornou cada vez mais evidente com o avanço da robótica, onde o GMAW tem sido a escolha predominante do processo. (AWS, 1997).

#### 2.3.5.7. Desvantagens

Segundo ESAB, (2016), uma das maiores desvantagens desse processo de solda com arame tubular é a necessidade de remoção da camada de escória. Além disso, possui desvantagens das soldas com proteção gasosa, tal como ser afetada por brisas e ventos e maior geração de fumos se comparado com outros processos.

#### 2.3.5.8. Defeitos

##### 2.3.5.8.1. *Fragilização por Hidrogênio*

É importante ter consciência dos possíveis problemas de fragilização por hidrogênio, embora seja menos provável que ocorra com a solda GMAW. No entanto, outras fontes de hidrogênio devem ser consideradas. Por exemplo, o gás de proteção deve ter um teor de umidade suficientemente baixo. Isso deve ser bem controlado pelo alimentador de gás, mas pode precisar ser verificado. Óleo, graxa e compostos de extração no eletrodo ou no metal base podem se tornar fontes potenciais de captação de hidrogênio no metal de solda. Os fabricantes de eletrodos estão cientes

da necessidade de limpeza e normalmente tomam cuidados especiais para fornecer um eletrodo limpo. Os contaminantes podem ser introduzidos durante o manuseio nas instalações do usuário. Os usuários que estão cientes dessas possibilidades tomam medidas para evitar problemas sérios, particularmente na soldagem de aços temperáveis. A mesma conscientização é necessária na soldagem de alumínio, no entanto, o problema é a porosidade causada pela baixa solubilidade do hidrogênio no alumínio solidificado, em vez da fragilização por hidrogênio (CONNOR, 1987).

#### *2.3.5.8.2. Contaminação por Oxigênio e Nitrogênio*

Segundo a AWS (1997), o oxigênio e nitrogênio são problemas potencialmente maiores que o hidrogênio no processo GMAW. Se o gás de proteção não for completamente inerte ou possuir proteção adequada, esses elementos poderão ser facilmente absorvidos pela atmosfera. Óxidos e nitretos podem reduzir a tenacidade do entalhe no metal de solda. O metal de solda depositado pelo GMAW não é tão resistente quanto o metal de solda depositado pela soldagem a arco de gás de tungstênio. Deve-se notar aqui, no entanto, que é possível adicionar um percentual de 5% ou mais de oxigênio ao gás de proteção sem afetar adversamente a qualidade da solda.

#### *2.3.5.8.3. Limpeza*

A limpeza de metais de fusão no processo GMAW é mais complexo do que no processo SAW. Os compostos fundidos presentes em SMAW e SAW eliminam e limpam o depósito de solda derretida de óxidos e compostos formadores de gás. Essas escórias de fluxo não estão presentes no GMAW. Dessa forma, é necessária a realização de um trabalho minucioso de limpeza prévia. Esse processo é necessário principalmente com relação ao alumínio, onde são aplicados procedimentos elaborados para limpeza química ou remoção mecânica de óxidos metálicos, ou ambos (AWS, 1997).

#### *2.3.5.8.4. Fusão Incompleta*

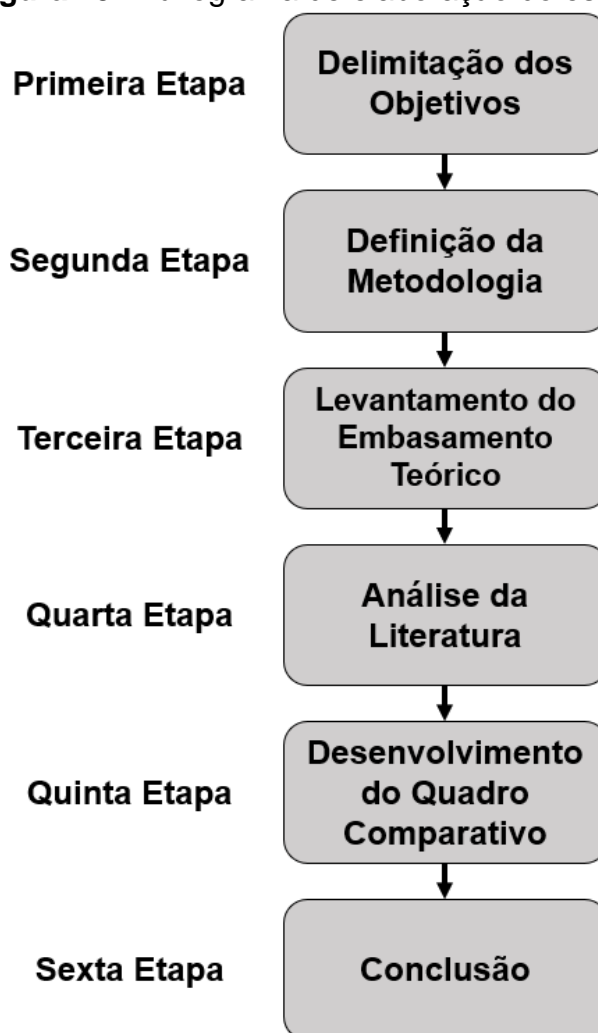
A diminuição de calor, comum ao modo de curto-circuito do GMAW, resulta em baixa penetração no metal base. Isso pode ser interessante em materiais de bitola fina e para soldagem fora de posição. No entanto, uma técnica inadequada de soldagem pode resultar em fusão incompleta (CONNOR, 1997).

### 3. METODOLOGIA

A principal metodologia de pesquisa utilizada na elaboração deste trabalho, trata-se uma pesquisa bibliográfica utilizando publicações a respeito de três processos de soldagem, soldagem a arco submerso (SAW), soldagem a arco eletrodo (SMAW) e soldagem a arame tubular com gás inerte (GMAW). Fonseca (2002) comenta que a pesquisa bibliográfica é executada a partir de referências teóricas anteriormente analisadas, as quais foram publicadas através de páginas da web, livros e artigos científicos. Além da metodologia bibliográfica, foi utilizada também a metodologia de pesquisa comparativa, a qual tem por objetivo comparar dois ou mais objetos de estudo.

A elaboração do estudo seguiu as etapas apresentadas na figura 15:

**Figura 15.** Fluxograma de elaboração do estudo

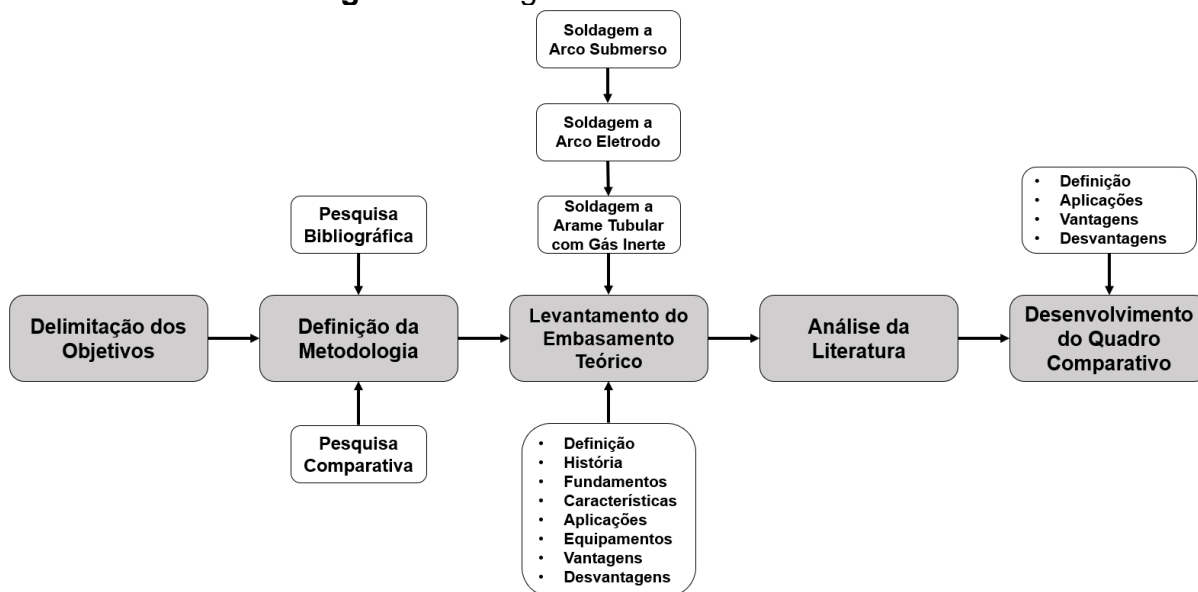


Fonte: Autor

A primeira etapa se caracterizou na delimitação dos objetivos anteriormente apresentados, a segunda etapa consistiu na definição da metodologia de pesquisa bibliográfica e comparativa. A terceira etapa foi o embasamento teórico a respeito de cada um dos processos já citados, posteriormente, na quarta etapa, toda a literatura encontrada foi analisada para a criação do quadro comparativo da quinta etapa, e para finalizar o trabalho, na sexta etapa, foi elaborada a conclusão.

Foi elaborado um diagrama de blocos para o melhor entendimento da pesquisa e suas delimitações, este, está apresentado na figura 16 abaixo.

**Figura 16.** Diagrama de blocos do estudo



Fonte: Autor

Foram utilizados diversos livros, sites e artigos científicos para a elaboração deste trabalho, os critérios utilizados para encontrar estes estudos foram: processos de solda, soldagem a arco eletrodo, soldagem a arco submerso, soldagem a arame tubular com gás inerte, soldagem MIG/MAG, característica de solda, soldagem industrial e comparativo entre soldas.

A justificativa da escolha destes artigos foi principalmente pela relação do tema com o conteúdo indexado. De modo a definir melhor os termos de busca nas bases de dados pesquisadas, foram utilizadas também palavras-chave listadas nas próprias bases por meio de processos de controle de vocabulário.

#### 4. DESENVOLVIMENTO / ESTUDO DE CASO

Diante da revisão da literatura apresentada, um dos objetivos específicos do estudo era a comparação dos três processos abordados, essa comparação foi feita através dos quadros seguintes.

No quadro abaixo foi elaborada esta comparação demonstrando as principais características dos processos abordados

**Quadro 4.** Quadro comparativo dos processos de solda

CARACTERÍSTICAS	SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO (SAW)	SOLDAGEM A ARCO ELETRODO REVESTIDO (SMAW)	SOLDAGEM A ARAME TUBULAR COM GÁS INERTE (GMAW)
Tensão	22 a 52V	16 a 40V	15 a 32V
Corrente	CC / CA até 2000A	CC / CA até 550A	CC Até 600A
Taxa de Deposição	5 a 12kg/h	0,5 a 5kg/h	1 a 15kg/h
Diâmetros do Eletrodo	1,6 a 6mm	2,4 a 4,8mm	0,5 a 3,18mm
Tipo de Operação	Automática e Semiautomática	Manual	Automática e Semiautomática
Utiliza gás?	Não	Não	Sim
Posições de Soldagem	Plana e Horizontal	Diversas Posições	Diversas Posições
Equipamentos de Proteção	Necessidade de proteção mínima	Necessidade de proteção moderada	Necessidade de proteção moderada

Fonte: Autor

Neste quadro foi realizada a comparação entre cada tipo de metal que podem ser utilizados pelos processos além de apresentar aplicações práticas de cada um dos metais.

**Quadro 5.** Comparação dos metais e suas respectivas aplicações

	METAIS	APLICAÇÕES
SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO (SAW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aços carbono</li> <li>•Aços de baixa liga</li> <li>•Aços inoxidáveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Processo de soldagem de estruturas de construção civil</li> <li>•Processo de soldagem de equipamentos industriais</li> <li>•Processo de soldagem de mobílias domésticas</li> </ul>
SOLDAGEM A ARCO ELETRODO REVESTIDO (SMAW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aços carbono</li> <li>•Aços de baixa liga</li> <li>•Aços resistentes à corrosão</li> <li>•Ferros fundidos</li> <li>•Alumínio e ligas de alumínio</li> <li>•Cobre e ligas de cobre</li> <li>•Níquel e ligas de níquel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Processo de soldagem de equipamentos de ginástica</li> <li>•Processo de soldagem de peças industriais</li> <li>•Processo de soldagem de tubos marítimos</li> <li>•Processo de soldagem de cabeçotes de motores a combustão</li> <li>•Processo de soldagem de janelas domésticas</li> <li>•Processo de soldagem na fabricação de painéis</li> <li>•Processo de soldagem na construção de plataformas de petróleo</li> </ul>
SOLDAGEM A ARAME TUBULAR COM GÁS INERTE (GMAW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aços carbono</li> <li>•Aços de baixa liga</li> <li>•Aços inoxidáveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Processo de soldagem de equipamentos ferroviários</li> <li>•Processo de soldagem de estruturas para construção civil</li> <li>•Processo de soldagem de tubos marítimos</li> </ul>

Fonte: Autor

Por fim, no quadro 6 pode-se observar as vantagens e desvantagens de cada um dos processos de soldagem.

**Quadro 6. Comparação das vantagens e desvantagens**

	VANTAGENS	DESVANTAGENS
<b>SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO (SAW)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Mínima necessidade de proteção do operador</li> <li>•Maior taxa de deposição entre diversas soldas</li> <li>•Uso eficiente de materiais</li> <li>•Tamanho da solda, até 25mm</li> <li>•Facilmente adaptado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Restrito à posição plana e filetes horizontais</li> <li>•Controle cuidadoso com os parâmetros de soldagem</li> <li>•Necessidade de orientação mecânica</li> </ul>
<b>SOLDAGEM A ARCO ELETRODO REVESTIDO (SMAW)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Eficiente em projetos de juntas</li> <li>•Ampla variedade de metais</li> <li>•Eficiente em soldas de diversas espessuras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Baixas taxas de deposição</li> <li>•Requer melhor treinamento dos soldadores</li> </ul>
<b>SOLDAGEM A ARAME TUBULAR COM GÁS INERTE (GMAW)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Fácil operação</li> <li>•Velocidade e qualidade</li> <li>•Flexibilidade</li> <li>•Baixa distorção</li> <li>•Controle da poça de solda</li> <li>•Solda em diversas posições</li> <li>•Soldagem por aderência</li> <li>•Maior eficiência de deposição de metal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Necessidade de remoção da camada de escória</li> <li>•Facilmente afetada por ventos e brisas</li> <li>•Maior geração de fumos</li> </ul>

Fonte: Autor

#### 4.1. SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO (SAW):

##### 4.1.1. Aplicações

Pode ser aplicada nos seguintes tipos de materiais: aços carbono, baixa liga e inoxidáveis.

##### 4.1.2. Vantagens

- **Mínima necessidade de proteção do soldador:** Devido à ausência de luz no arco, o operador não necessita de utilizar capacete de soldagem, aumentando assim a visibilidade, além de permitir o trabalho de diversos soldadores lado a lado. Além disso o fluxo impede o escape de parte da fumaça da solda, não necessitando de ventilação forçada;
- **Alta taxa de deposição:** Chegando a ser até quatro vezes maior quando comparada com soldagem a arco eletrodo (SMAW);
- **Uso eficiente de materiais:** Neste processo não existe o respigo proveniente do metal de adição;
- **Tamanho da solda:** Soldagem de sulco plano ou de filete podem ser feitas até 25 mm;

- **Facilmente adaptado:** A composição do fluxo pode ser alterada facilmente para atender às propriedades metalúrgicas necessárias;
- **Soldas de alta qualidade:** Este processo pode ser utilizado em diferentes aplicações onde somente soldas de altas qualidades podem ser utilizadas.

#### 4.1.3. Desvantagens

- **Restrição à posição plana e filetes horizontais:** A soldagem é restrita às posições em que o fluxo pode produzir uma proteção;
- **Controle cuidadoso dos parâmetros de soldagem:** Como o fluxo oculta a poça de solda, as condições de soldagem devem ser predefinidas com base em experimentos ou com informações comprovadas, incluindo a distância da ponta do trabalho ao contato, a corrente, a velocidade de deslocamento e a voltagem;
- **Necessidade de orientação mecânica:** É necessário algum tipo de orientação mecânica para que o arco não se afaste da junta que está sendo soldada.

#### 4.2. SOLDAGEM A ARCO ELETRODO (SMAW):

##### 4.2.1. Aplicações

Pode ser aplicada nos seguintes tipos de materiais: aços carbono, aços de baixa liga, aços resistentes à corrosão, ferros fundidos, alumínio e ligas de alumínio, cobre e ligas de cobre, níquel e ligas de níquel.

##### 4.2.2. Vantagens

- **Eficiente em projetos de juntas:** Este processo foi certificado para ser utilizado em quaisquer tipos de projetos de juntas;
- **Ampla variedade de metais:** Pode ser utilizado para soldar e revistar muitos tipos de metais ou ligas metálicas;
- **Eficiente em soldas de diversas espessuras:** Pode ser utilizado para soldar desde metais muito finos quanto metais muito espessos.

### 4.2.3. Desvantagens

- **Baixas taxas de deposição:** A taxa de deposição de metal deste processo é bem baixa quando compara a outros processos;
- **Requer melhor treinamento dos soldadores:** É necessário que o operador tenha habilidades e treinamento suficientes em relação a outros processos semiautomáticos e automáticos.

## 4.3. SOLDAGEM A ARAME TUBULAR COM GÁS INERTE (GMAW):

### 4.3.1. Aplicações

Pode ser aplicada nos seguintes tipos de materiais: aços carbono, aços de baixa liga, aços inoxidáveis.

### 4.3.2. Vantagens

- **Fácil operação:** Não necessita de muita instrução para aprender a utilizar o equipamento;
- **Velocidade e qualidade:** Este processo permite obter uma solda mais rápida e com melhor qualidade quando comparada a outros processos;
- **Flexibilidade:** Apenas ajustando a corrente de soldagem é possível mudar o tamanho do metal;
- **Baixa distorção:** A baixa corrente e a rápida velocidade de solda contribuem para o controle da distorção;
- **Controle da poça de solda:** É possível controlar facilmente a poça de solda permitindo uma maior tolerância de falhas e desvios;
- **Solda em diversas posições:** Ao contrário de outros processos, com este, é possível utilizar diversas posições;
- **Soldagem por aderência:** Como o fio não é energizado até o gatilho da pistola seja pressionado, é mais fácil de iniciar a solda no local correto;

- **Maior eficiência de deposição de metal:** A eficiência da deposição de metal chega próximo a 100%, muito superior a outros processos.

#### 4.3.3. Desvantagens

- **Necessidade de remoção da camada de escória:** Devido a sua alta geração de escória, existe a necessidade de remoção da mesma.
- **Facilmente afetada por ventos e brisas:** Este processo é facilmente afetado por brisas e ventos aumentando a geração de fumos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste estudo foi realizar um estudo comparativo dos processos de soldagem a arco submerso, soldagem a arco eletrodo revestido e soldagem a arame tubular com gás inerte, de modo que demonstrasse as vantagens e desvantagens de cada um dos processos.

Através da metodologia de pesquisa bibliográfica baseada em livros, revistas e sites de cunho científico e da metodologia comparativa, foi possível atingir este objetivo de maneira clara, por meio de uma profunda revisão da literatura e de um quadro comparativo.

O processo de soldagem é uma técnica utilizada para a união de dois tipos de materiais metálicos. Dentre os diversos tipos de processos de soldagem, para este trabalho foram escolhidos os três processos principais e normalmente mais utilizados na indústria para elaboração deste estudo.

Diante do exposto, pode-se concluir que dos processos estudados o processo de soldagem a arame tubular com gás inerte se sobressai diante os outros, pois o processo possui operação automática ou semiautomática, facilitando o trabalho do operador, ótimas taxas de deposição podendo ser utilizado em diversas posições de soldagem, além de possuir boa velocidade e qualidade da solda.

## 6. REFERÊNCIAS

ASM TREINAMENTOS. **Processos de Soldagem**. 2019 Disponível em: <<http://www.asmtreinamentos.com.br/downloads/soldador/arquivo93.pdf>>

ASME. **Norma para Eletrodos Revestidos**. Ed.2001 Ad.2003 SFA 5.4 / AWS A5.4. 2003

AWS. **Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding**. American Welding Society AWS. 1992.

AWS. **Welding Handbook**. Welding Processes. 1997.

CARRARO, GABRIEL. **Avaliação da eficiência térmica no processo de soldagem por eletrodos revestidos**. 2017, 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - *Universidade Federal de Uberlândia*, Uberlândia, 2017.

CHIAVERINI, V.; **Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento**. Vol. II; 2. Ed. São Paulo; McGraw – Hill Ltda. 1986.

CONNOR, L. P. **Welding Handbook**. Vol. I: Welding Technology. **American Welding Society, 1987**,, p. 638, 1987.

ELBRAS ELETRODOS DO BRASIL LTDA. (s.d.). **Catálogo de eletrodos revestidos**. Disponível < <http://www.elbras.com.br/tabelas/catalogo.pdf>>.

ESAB, **Processo de Soldagem: Eletrodo Revestido (MMA/SMAW)**. 2020. Disponível em [https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo\\_soldagem\\_ele](https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_ele)

ESAB. **Catálogo de Arames Tubulares**. 2016. Disponível em: <http://www.ufjf.br/profab/files/2016/09/Arames-tubulares.pdf> Acesso em: 14 mai. 2020.

ESAB. **Submerged Arc Welding**. 2007.

FERNANDES, PAULO EDUARDO ALVES. **Avaliação da Tenacidade à Fratura da Zona Afetada Pelo Calor (ZAC) do Aço API 5L X80 Soldado pelos Processos SMAW e FCAW**. 2011. Tese de Conclusão de Curso (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FERREIRA, FÉLIX DE CAMARGO JUNIOR. **Processos Usuais de Soldagem II**. IFSP. 2003.

FICHEL, I., DALLA, A., ROS, D.A., FELIZARDO, I, TURANI, C., GONZÁLEZ, L.P., PÉREZ, M.R., PUCHOL, R.Q., PESSOA, E.C.P., BRACARENSE, A.Q. **Desenvolvimento de Eletrodos Revestidos Impermeáveis**. In: XXXV Congresso Nacional de Soldagem, Piracicaba, SP, 2009.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, Apostila. 2002.

FORTES, C. **Apostila de Eletrodos Revestidos**. Eletrodos Revestidos. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil: 2005.

FORTES, CLEBER; ARAÚJO, WELERSON. **Apostila de Arco Submerso. ESAB**. 2004. Disponível em: <[https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901100rev1\\_apostilaarcosubmerso.pdf](https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901100rev1_apostilaarcosubmerso.pdf)>

HOULDCROFT, PETER THOMAS (Ed.). **Submerged-arc welding**. Elsevier, 2014.

JEFFUS, LARRY. **Welding: principles and applications**. Cengage Learning, 2020.

JEFFUS, LARRY; BOWER LAWRENCE. **Welding and metal fabrication**. Cengage Learning, 2011.

JOAQUIM, ROBERTO. **Processo de Soldagem por Arame Tubular**. Infosolda.com.br 2018. Disponível em <<http://asmtreinamentos.com.br/downloads/soldador/arquivo126.pdf>>.

M. FARADAY, "Electro-Magnetic Current," **The Quarterly Journal of Science, Literature and the Arts**, XIX, 1825.

MATTHEW, N. O. SADIKU, CHARLES, K. ALEXANDER. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 1999.

MODENESI, P. **Introdução aos Processos de Soldagem**. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. 2006.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem I Introdução aos Processos de Soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Metalúrgica. Belo Horizonte, p. 13, 2000.

N.A. KENNEDY: "**Narrow-gap submerged arc welding of steel – a technical review**", Metal Construction 1986.

NERIS, M. M. **Soldagem do Metais**. Santos, São Paulo: UNISANTA. 2002

PARANHOS, RONALDO. **Soldagem a Arco Submerso**. Editora Carbox. 1999.

WAINER, EMÍLIO; BRANDI, SÉRGIO DUARTE; DE MELLO, FABIO DECOURT HOMEM. **Soldagem: processos e metalurgia**. Editora Blucher, 1992.