



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ARTUR MEIRA FERREIRA DA CRUZ

LEVANTAMENTO DAS EMPRESAS DE SOLDAGEM EM PAU DOS FERROS-RN E
ANÁLISE DOS PRINCIPAIS TIPOS DE SOLDA UTILIZADOS

PAU DOS FERROS

2023

ARTUR MEIRA FERREIRA DA CRUZ

**LEVANTAMENTO DAS EMPRESAS DE SOLDAGEM EM PAU DOS FERROS-RN E
ANÁLISE DOS PRINCIPAIS TIPOS DE SOLDA UTILIZADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal Rural do
Semi-Árido - UFERSA, Campus Pau dos Ferros,
como requisito para a obtenção do título de
Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. José Flávio
Timoteo Júnior

PAU DOS FERROS-RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M514l Meira, Artur Meira Ferreira da Cruz.
LEVANTAMENTO DAS EMPRESAS DE SOLDAGEM EM PAU
DOS FERROS-RN E ANÁLISE DOS PRINCIPAIS TIPOS DE
SOLDA UTILIZADOS / Artur Meira Ferreira
da CruzMeira. - 2023.
78 f. : il.

Orientador: José Flávio Timoteo Júnior
Timoteo.Monografia (graduação) - Universidade
Federal
Rural do Semi-árido, Curso de
Ciência e
Tecnologia, 2023.

1. Soldagem. 2. Tipos de solda. 3. Processos
de soldagem. 4. Qualidade. 5. Equipamentos. I.
Timoteo, José Flávio Timoteo Júnior, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em
conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva

CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ARTUR MEIRA FERREIRA DA CRUZ

**LEVANTAMENTO DAS EMPRESAS DE SOLDAGEM EM PAU DOS
FERROS-RN E ANÁLISE DOS PRINCIPAIS TIPOS DE SOLDA UTILIZADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado, a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido - UFERSA, Campus Pau
dos Ferros, como requisito para a
obtenção do título de Bacharel
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

DATA DE APROVAÇÃO 16/05/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Flávio Timoteo Júnior (UFERSA)

Presidente

Prof. Dr. Cláwsio Rogério Cruz de Sousa (UFERSA)

Membro Examinador Interno

Engenheiro e Especialista José Vidal Júnior

Membro Examinador Externo

("Eu não sou um gênio, eu sou apenas um trabalhador incansável. Eu amo a minha profissão e continuo estudando incansavelmente para me aperfeiçoar cada vez mais.")

Nikola Tesla, engenheiro mecânico e inventor.

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos aqueles que me apoiaram durante minha jornada acadêmica e de TCC. Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus, que me deu força e sabedoria para superar os desafios ao longo do caminho.

Também gostaria de agradecer aos meus pais, cujo amor incondicional, incentivo e apoio financeiro tornaram possível que eu chegasse até aqui. Sem o apoio deles, eu não teria sido capaz de realizar esse sonho.

Ao meu grupo de amigos da faculdade, "Os Caba", gostaria de expressar minha sincera gratidão. Vocês foram uma fonte constante de apoio e incentivo durante todo o processo. Suas palavras de encorajamento e o tempo que passamos juntos foram inestimáveis para minha motivação e perseverança.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer ao meu orientador, Flávio Timóteo, por sua orientação e apoio excepcionais. Seus conselhos e feedbacks críticos foram fundamentais para o sucesso deste trabalho e para o meu desenvolvimento como estudante e pesquisador.

Agradeço novamente a todos que me ajudaram nessa jornada, e estou eternamente grato por todo o amor, apoio e orientação que recebi ao longo do caminho.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise dos principais tipos de solda existentes no mercado de Pau dos Ferros-RN. Para tanto, foram realizadas pesquisas bibliográficas em bases de dados especializadas, tais como SciELO, Engineering Village e Web of Science, buscando-se artigos científicos e trabalhos técnicos que abordassem o tema em questão. A partir da revisão da literatura, foram identificados diversos tipos de solda, tais como solda por arco elétrico, solda MIG/MAG, solda TIG, Eletrodo revestido, entre outros. Cada um desses tipos de solda apresenta características específicas em relação à aplicação, custo, resistência mecânica, estética, entre outras. Além disso, foram abordados os principais processos de soldagem, as propriedades dos metais de base e de adição, os equipamentos utilizados e os cuidados necessários para garantir uma solda de qualidade. Posteriormente, foi realizada uma pesquisa de campo com soldadores que atuam no mercado de Pau dos Ferros-RN, a fim de verificar a utilização desses métodos de soldagem nas oficinas locais. Foi constatado que 67% das oficinas utilizam o método de Eletrodo Revestido, 22% utilizam o método MIG/MAG e 11% utilizam o método TIG. Além de abordar os aspectos técnicos dos métodos de soldagem, este trabalho também se dedicou a analisar as possíveis aplicações industriais de cada método. No entanto, ao comparar as aplicações realizadas pelas oficinas de Pau dos Ferros-RN com as possíveis aplicações industriais de cada método de soldagem, observou-se que ainda há muitas oportunidades de utilização dos diferentes métodos de soldagem, que não estão sendo exploradas pelas empresas locais. Portanto, é fundamental que o soldador possua conhecimento sobre os diferentes tipos de solda, suas características e as demandas do mercado, a fim de realizar a soldagem de forma segura, eficiente e com qualidade. O estudo ressalta a importância de aprimorar os conhecimentos e práticas de soldagem no mercado local, visando o desenvolvimento e crescimento da indústria na região.

Palavras-chave: Soldagem, tipos de solda, processos de soldagem, qualidade, equipamentos.

ABSTRACT

The present work aims to perform an analysis of the main types of welding available in the market of Pau dos Ferros-RN. For this purpose, bibliographic research was conducted in specialized databases such as SciELO, Engineering Village, and Web of Science, seeking scientific articles and technical works that addressed the subject in question. Based on the literature review, several types of welding were identified, including arc welding, MIG/MAG welding, TIG welding, and coated electrode welding, among others. Each of these types of welding presents specific characteristics regarding application, cost, mechanical strength, aesthetics, among others. In addition, the main welding processes, properties of base and filler metals, equipment used, and necessary precautions to ensure quality welding were addressed. Subsequently, a field research was conducted with welders working in the market of Pau dos Ferros-RN, in order to verify the utilization of these welding methods in local workshops. It was found that 67% of the workshops use the coated electrode method, 22% use the MIG/MAG method, and 11% use the TIG method. Besides addressing the technical aspects of welding methods, this work also aimed to analyze the possible industrial applications of each method. However, when comparing the applications carried out by the workshops in Pau dos Ferros-RN with the potential industrial applications of each welding method, it was observed that there are still many opportunities for the utilization of different welding methods that are not being explored by local companies. Therefore, it is essential for the welder to have knowledge about the different types of welding, their characteristics, and market demands in order to perform welding in a safe, efficient, and high-quality manner. The study emphasizes the importance of improving welding knowledge and practices in the local market, aiming at the development and growth of the industry in the region.

Keywords: Welding, types of welding, welding processes, quality, equipment.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EXEMPLO; PROCESSO DE SOLDAGEM	23
FIGURA 2 - DESENHO ESQUEMÁTICO DE UMA SOLDAGEM COM ELETRODO REVESTIDO.	25
FIGURA 3 – EQUIPAMENTO PARA SOLDAGEM COM ELETRODOS REVESTIDOS.	27
FIGURA 4 - EXEMPLO; SOLDAGEM POR MÉTODO ELETRODO REVESTIDO	28
FIGURA 5 - CLASSIFICAÇÃO DE ELETRODOS REVESTIDOS ADOTADO PELAS ESPECIFICAÇÕES AWS	32
FIGURA 6 - PROFISSIONAL SOLDANDO EM CHAPA DE METAL CINZA COM MÉTODO SMAW	34
FIGURA 7 - EQUIPAMENTO PARA SOLDAGEM TIG (ESQUEMÁTICA).....	37
FIGURA 8 - EXEMPLO; SOLDAGEM POR MÉTODO TIG	37
FIGURA 9 - PROFISSIONAL SOLDANDO EM TUBULAÇÃO DE METAL COM MÉTODO TIG	41
FIGURA 10 – ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PROCESSO GMAW	43
FIGURA 11 - EXEMPLO; SOLDAGEM POR MÉTODO MIG/MAG.....	43
FIGURA 12 - PROFISSIONAL SOLDANDO EM TUBULAÇÃO DE METAL COM MÉTODO MIG/MAG	46
FIGURA 13 – EQUIPAMENTO BÁSICO PARA SOLDAGEM COM ARAMES TUBULAR	48
FIGURA 14 - EXEMPLO; SOLDAGEM POR MÉTODO ARAME TUBULAR.....	48
FIGURA 15 - CLASSIFICAÇÃO AWS PARA ARAMES COM FLUXO INTERNO.....	50
FIGURA 16 - PROFISSIONAL SOLDANDO EM PEÇA DE METAL COM MÉTODO ARAME TUBULAR.....	51
FIGURA 17 - EQUIPAMENTO BÁSICO PARA OFW	53
FIGURA 18 - EXEMPLO; SOLDAGEM POR MÉTODO OXIGÁS	53
FIGURA 19 - PROFISSIONAL SOLDANDO EM TUBULAÇÃO DE METAL COM MÉTODO OXIGÁS	54
FIGURA 20 - SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO (ESQUEMÁTICA).	56
FIGURA 21 - EXEMPLO; SOLDAGEM POR MÉTODO ARCO SUBMERSO	56
FIGURA 22 - SOLDA EM TUBULAÇÃO DE METAL COM MÉTODO ARCO SUBMERSO	58
FIGURA 23 – EQUIPAMENTO PARA SOLDAGEM PAW	60
FIGURA 24 - EXEMPLO; SOLDAGEM POR MÉTODO ARCOS DE PLASMA.....	60
FIGURA 25 - FLUXOGRAMA 1: PROCESSOS PARA A REALIZAÇÃO DESTE TCC	63
FIGURA 26 - TOCHA TIG	FIGURA 27 - GÁS DE PROTEÇÃO..... 65
FIGURA 28 - FONTE DE ENERGIA TIG	65
FIGURA 29 - EQUIPAMENTOS PARA ELETRODO REVESTIDO.....	66
FIGURA 30 - EQUIPAMENTOS PARA MIG/MAG	66
FIGURA 31 - ELETRODO E308-16	FIGURA 32 - ELETRODO E6010..... 68
FIGURA 33 - ELETRODO E6013	FIGURA 34 - ELETRODO E7018
FIGURA 35 - ELETRODO E8018-B2.....	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DIÂMETRO DO CABO (MM) EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO	28
TABELA 2 - ESPECIFICAÇÕES AWS PARA CLASSIFICAÇÃO DE ELETRODOS REVESTIDOS	31
TABELA 3 - GASES DE PROTEÇÃO E TIPOS DE CORRENTE USUAIS NA SOLDAGEM DE DIFERENTES LIGAS	39
TABELA 4 - ESPECIFICAÇÕES AWS PARA METAIS DE ADIÇÃO ADEQUADOS À SOLDAGEM TIG	39
TABELA 5 - TABELA DE GASES E MISTURAS	44
TABELA 6 - ESPECIFICAÇÕES AWS DE MATERIAIS DE ADIÇÃO PARA SOLDAGEM MIG/MAG	44
TABELA 7 - ESPECIFICAÇÕES AWS DE ARAMES TUBULARES	49
TABELA 8 - TIPO DE GASES E TEMPERATURAS DA CHAMA NO PROCESSO	52
TABELA 9 - CONDIÇÕES TÍPICAS DE UTILIZAÇÃO DA SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO	57
TABELA 10 - PARÂMETROS DE UTILIZAÇÃO DE ACORDO COM O MATERIAL A SER CORTADO E SUA ESPESSURA.	61
TABELA 11 - QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 1	79
TABELA 12 - QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 2	80
TABELA 13 - QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 3	81
TABELA 14 - QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 4	82
TABELA 15 - QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 5	83
TABELA 16 - QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 6	84

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – TIPOS DE SOLDA EM PAU DOS FERROS-RN	67
GRÁFICO 2 - TIPOS DE ELETRODOS NO MERCADO DE PAU DOS FERROS-RN	69
GRÁFICO 3 - USO DE GASES INERTES NAS OFICINAS DE SOLDAGEM EM PAU DOS FERROS-RN	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	21
2.1	GERAL.....	21
2.2	ESPECÍFICOS	21
3	REVISÃO TEÓRICA	22
3.1	DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM	22
3.2	ELETRODO REVESTIDO (SMAW)	24
3.2.1	FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO	24
3.2.2	EQUIPAMENTOS	26
3.2.3	CONSUMÍVEIS.....	29
3.2.4	APLICAÇÕES INDUSTRIAIS	33
3.3	SOLDAGEM TIG	35
3.3.1	FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM TIG	35
3.3.2	EQUIPAMENTOS	36
3.3.3	CONSUMÍVEIS.....	38
3.3.4	APLICAÇÕES INDUSTRIAIS	40
3.4	MIG / MAG	42
3.4.1	FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM MIG/MAG	42
3.4.2	EQUIPAMENTOS	43
3.4.3	APLICAÇÕES INDUSTRIAIS	45
3.5	ARAME TUBULAR.....	47
3.5.1	FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM POR ARAME TUBULAR.....	47
3.5.2	EQUIPAMENTOS	48
3.5.3	CONSUMÍVEIS.....	49
3.5.4	APLICAÇÕES INDUSTRIAIS	50
3.6	OXIGÁS	52
3.6.1	FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM OXIGÁS	52
3.6.2	EQUIPAMENTOS	53
3.6.3	APLICAÇÕES INDUSTRIAIS	54
3.7	ARCO SUBMERSO	55
3.7.1	FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO.....	55
3.7.2	EQUIPAMENTOS	55
3.7.3	CONSUMÍVEIS.....	57

3.7.4	APLICAÇÕES INDUSTRIAIS	57
3.8	ARCOS DE PLASMA	59
3.8.1	FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM POR ARCOS DE PLASMA	59
3.8.2	EQUIPAMENTOS	59
3.8.3	CONSUMÍVEIS.....	61
4	METODOLOGIA	62
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
5.1	MÉTODOS DE SOLDA ENCONTRADOS NO MERCADO DE PAU DOS FERROS-RN	64
5.2	CONSUMÍVEIS	68
5.3	APLICAÇÕES INDUSTRIAIS	71
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
7	REFERÊNCIAS	76
	APÊNCIE A – QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 1.....	79
	APÊNCIE B – QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 2	80
	APÊNCIE C – QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 3	81
	APÊNCIE D – QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 4.....	82
	APÊNCIE E – QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 5	83
	APÊNCIE F – QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 6	84

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Diniz e Souza (2017, p. 25), “A história da soldagem remonta aos tempos antigos, onde já se utilizavam técnicas rudimentares de soldagem como o aquecimento das peças metálicas e a utilização de martelos para uni-las. Com o passar dos anos, foram surgindo técnicas mais avançadas de soldagem, como a soldagem a arco elétrico, desenvolvida por Nikolai Benardos e Stanisław Olszewski em 1885. A partir daí, foram sendo desenvolvidos diversos métodos de soldagem, cada um com suas particularidades e aplicações específicas.”

O processo da soldagem começou sua história nos tempos antigos, os primeiros exemplos ocorreram na idade do Bronze entre 3300 a.C – 1200 a.C, durante todo esse tempo a técnica de soldagem foi se aperfeiçoando e se modelando com métodos mais rápidos e eficazes. Vários fatores podem influenciar na qualidade do produto final, como por exemplo os materiais utilizados e até mesmo o próprio soldador. Uma junta soldada perfeita seria aquela impossível de se distinguir do restante do material, porém é praticamente impossível reproduzir essa condição. Nenhum dos processos de soldagem é universal, cada um apresenta vantagens e desvantagens e sua escolha deve ser realizada com critério, para que a qualidade da junta soldada seja garantida.

Conforme a American Welding Society (AWS), no livro "Welding Inspection Technology" (2021), “A validação de todo o processo é feita através de normas ou códigos de construção, que padronizam como as variáveis devem ser tratadas e também servem para facilitar o acesso às informações geradas durante o processo.” Estas informações são encontradas nos principais documentos gerados durante a qualificação, dentre eles estão a Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS), o Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem (RQPS) e o Registro de Qualificação de Soldador (RQS).

De acordo com Lopes et al. (2015), “A soldagem, como qualquer outro processo metalúrgico, oferece certo risco a integridade do profissional se o mesmo não atender os procedimentos de segurança. É de suma importância que a pessoa que faz o uso desses equipamentos de soldagem, utilize os EPI's, tais como: a máscara de soldagem, as luvas de segurança, avental de raspa e etc.”

A evolução da tecnologia em todos os meios e principalmente no meio da engenharia e construções de máquinas nos faz desenvolver produtos de maior qualidade e sempre com o melhor custo benefício, sabendo disso, surge a necessidade da análise de cada produto utilizado antes do

processo final de sua construção, a soldagem é uma técnica crucial na indústria e em diversas áreas da engenharia, permitindo a união de materiais que de outra forma não poderiam ser unidos.

No entanto, a escolha do tipo de solda pode ter impactos significativos na qualidade, durabilidade e resistência da junta soldada. Alguns tipos de solda podem ser mais adequados para determinados materiais ou aplicações, enquanto outros podem apresentar problemas como trincas, porosidade ou fragilidade.

Portanto, é essencial estudar os diferentes tipos de solda disponíveis e entender suas características, limitações e aplicações, a fim de garantir que a solda seja realizada de forma segura e eficiente. Além disso, o conhecimento dos tipos de solda pode ser útil na seleção dos equipamentos e materiais adequados, na elaboração de procedimentos de soldagem e na solução de problemas que possam surgir durante o processo de soldagem.

Partindo dessa perspectiva e considerando o problema de pesquisa levantado, o presente trabalho teve por objetivo avaliar as contribuições proporcionadas por todo o processo de soldagem para com as suas diversas áreas de atuação, no contexto da soldagem civil e mecânica. Dessa forma, o objetivo geral deste estudo é analisar o mercado de solda na região de Pau dos Ferros-RN, desde os tipos de solda oferecidos até os consumíveis utilizados, equipamentos e aplicações industriais, focando especificamente nas soldas utilizadas em contextos civil e mecânico, excluindo as soldas empregadas em componentes tecnológicos. Além disso, busca-se compreender os serviços disponíveis no município e investigar o panorama da solda nesses setores específicos.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar os principais tipos de solda no mercado de Pau dos Ferros-RN, por meio de pesquisa bibliográfica e campo, identificando suas características, aplicação e oportunidades de utilização. Destacar a importância do conhecimento e práticas de soldagem para o desenvolvimento da indústria local.

2.2 ESPECÍFICOS

- Determinar quais são os principais tipos de solda existente no mercado do Brasil e no Município de Pau dos Ferros-RN.
- Explicar onde cada tipo atua de melhor forma, e quais são as melhores condições de ambiente e trabalho para cada um.
- Aplicar questionário aos soldadores das oficinas encontradas no Município de Pau dos Ferros-RN e realizar a coleta e análise das respostas obtidas.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM

“A soldagem é uma técnica de união de metais que tem por objetivo obter uma continuidade metálica entre as peças a serem unidas. A união é obtida através de um processo termomecânico que envolve a aplicação de calor e/ou pressão, e/ou adição de metal. Na maioria dos casos, a união resultante é tão forte quanto o próprio metal de base e o metal adicionado, ou até mais forte em certas aplicações. A soldagem é um processo muito importante em diversas áreas da indústria e da construção civil, sendo utilizada para a fabricação e reparação de equipamentos e estruturas metálicas, como pontes, prédios, navios, tubulações, veículos e muitos outros produtos” (VILLANI, 2008, p. 3). É importante destacar que a união resultante da soldagem é tão forte quanto o próprio metal de base e o metal adicionado, sendo, em alguns casos, até mais resistente, dependendo da aplicação.

De acordo com Linnert (1998, p. 1), a soldagem pode ser definida como "o processo de união de materiais por meio da aplicação de calor e/ou pressão, com ou sem o uso de um metal de adição, de modo que haja uma fusão localizada das partes a serem unidas e formação de uma junta soldada".

Segundo Gonçalves (2017, p. 7), "a soldagem é um processo de união de materiais, baseado na coalescência localizada, que ocorre mediante a aplicação de calor e/ou pressão e/ou adição de material de enchimento, com ou sem uso de proteção gasosa".

O termo "soldagem" abrange uma ampla variedade de processos usados na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas. Embora tradicionalmente considerada um processo de união, muitas vezes a soldagem é utilizada atualmente para a deposição de material em uma superfície, para recuperar peças desgastadas ou para criar revestimentos com características especiais. Além disso, muitos processos de corte de peças metálicas também se assemelham a processos de soldagem. (American Welding Society 2017).

Na literatura podemos encontrar algumas definições técnicas de soldagem, definições essas que estão presentes em diversos artigos e livros científicos como descrição geral e genérica sobre soldagem, presente em diversos materiais e fontes relacionadas ao assunto. Não há um consenso sobre o livro específico que a apresentou pela primeira vez, pois o conhecimento sobre soldagem tem sido desenvolvido e documentado ao longo de muitos anos por diversos autores e pesquisadores. Exemplo dessas “definições gerais” reconhecidas pela comunidade científica são; “Operação que visa obter a união de duas ou mais peças, assegurando na junta a continuidade das propriedades físicas e químicas.” Na definição citada, o termo "continuidade" é aplicado de modo análogo ao seu uso na matemática. Isso quer dizer que, mesmo havendo variação de propriedades em uma junta soldada, essa variação não é brusca como ocorre em uma junta colada, onde há uma mudança abrupta na resistência mecânica entre um componente e a cola. “Processo de união de metais por fusão.” Importante observar também que não apenas metais são soldáveis, existem uma gama de materiais com possíveis utilizações a este processo. “Processo de união de materiais usado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição.”

Figura 1 - Exemplo; Processo de soldagem



Fonte: Burns, (2017)

3.2 ELETRODO REVESTIDO (SMAW)

3.2.1 FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO

Conforme a norma técnica ABNT NBR 13241:2005, que trata do processo de soldagem por eletrodo revestido, este é um processo no qual "o arco elétrico é estabelecido entre o eletrodo revestido e a peça a ser soldada, criando uma “poça” de fusão, que é preenchido com material do eletrodo e do metal base" (ABNT, 2005, p. 1).

Somado a isso o livro "Soldagem: Processos e Metalurgia" de Serope Kalpakjian e Steven R. Schmid (2014), a soldagem por eletrodo revestido é um processo que consiste na utilização de um eletrodo consumível, no qual um arco elétrico é estabelecido entre o eletrodo e a peça a ser soldada. Durante o processo, o metal do eletrodo derrete e é transferido para a peça, formando a junta soldada.

Os autores afirmam que a soldagem por eletrodo revestido é amplamente utilizada em diversos setores da indústria, como a construção civil, a fabricação de estruturas metálicas, a reparação de equipamentos e a fabricação de tubulações.

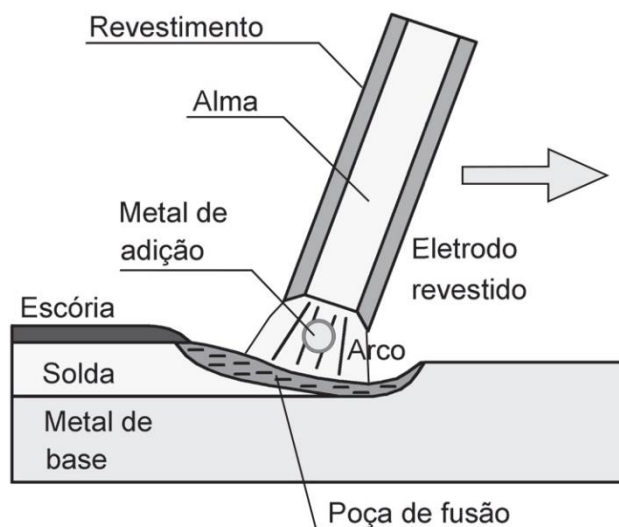
Além disso, o livro "Tecnologia da Soldagem" de César Eduardo da Costa (2014) afirma que a soldagem por eletrodo revestido é um dos processos mais utilizados na indústria, devido à sua versatilidade e capacidade de ser aplicado em diversas situações.

O eletrodo revestido (SMAW) é o tipo de solda mais amplamente utilizado. Tem o processo de soldagem muito flexível, já que a maioria dos metais utilizados comercialmente podem ser unidos e revestidos por esse processo de soldagem. Esse tipo de eletrodo pode ser usado em todas as posições possíveis, seja ela, vertical, horizontal ou plana. Também possui custos relativamente baixos, quando comparado a outros tipos de solda, uma vez que necessita de equipamentos simples para que o processo seja feito. No entanto, esse processo também apresenta baixa produtividade, gera uma excessiva quantidade de gases durante o processo, além de necessitar de cuidados especiais com os eletrodos.

Como afirma Villani (2016), em seu livro "Soldagem - Fundamentos e Tecnologia", esse processo de soldagem acontece quando se mantém o calor de um arco elétrico entre as duas partes metálicas, a extremidade do eletrodo metálico revestido e o metal base. O calor gerado pelo arco é

suficiente para fundir o metal base, o núcleo do eletrodo e o revestimento. À medida em que as gotículas de metal fundido são transferidas pelo arco para a poça fundida, elas são isoladas da atmosfera pelos gases produzidos pelo próprio eletrodo durante a decomposição do revestimento. A escória líquida flutua na superfície da poça de fusão, isolando o metal de solda da atmosfera durante a solidificação. A figura 2 mostra esquematicamente como funciona este processo.

Figura 2- Desenho esquemático de uma soldagem com eletrodo revestido.



Fonte: Soldagem - Fundamentos e Tecnologia (Paulo Villani – 2016)

O processo de soldagem com eletrodo revestido envolve o uso de uma vareta metálica, conhecida como “alma”, que é trefilada ou fundida e serve para conduzir a corrente elétrica e fornecer metal de adição para a junta soldada. Essa alma é envolvida por uma mistura de materiais distintos, que formam uma camada denominada “revestimento” do eletrodo. (American Welding Society, 2017).

O eletrodo revestido (SMAW) é usado na fabricação e montagem de estruturas e equipamentos. Os metais em que essa solda pode ser utilizada são metais como aços baixo carbono, baixa, media e alta liga, aço inoxidável, ferro fundido, alumínio, níquel e cobre. Já em metais como o titânio, zircônio, molibdênio e nióbio.

3.2.2 EQUIPAMENTOS

De acordo com American Welding Society (2017). Para a realização desse processo, são necessários equipamentos específicos e adequados que permitam a realização de soldas de alta qualidade. O equipamento principal para a soldagem por eletrodo revestido é a fonte de alimentação de soldagem. Essa fonte deve ser capaz de fornecer uma corrente elétrica contínua e estável durante o processo de soldagem. Além disso, ela deve ser capaz de fornecer a tensão correta para que o arco elétrico seja mantido e a solda possa ser realizada com precisão. Outro equipamento importante é o porta-eletrodo, que é responsável por segurar o eletrodo revestido e fornecer uma conexão elétrica adequada. O porta-eletrodo deve ser capaz de manter o eletrodo em posição estável durante o processo de soldagem, além de permitir a troca rápida e fácil do eletrodo quando necessário. Também é necessário um cabo de soldagem, que é responsável por fornecer a corrente elétrica da fonte de alimentação para o porta-eletrodo. O cabo de soldagem deve ser flexível e resistente para permitir a realização de soldas em diferentes posições e condições de trabalho.

Como ressalta Santos (2015), O eletrodo revestido em si é um equipamento essencial para a soldagem por eletrodo revestido. O eletrodo é composto de um núcleo de metal e um revestimento de material isolante, que protege o arco elétrico e a poça de fusão da contaminação por gases atmosféricos. O revestimento também pode adicionar elementos químicos à solda para melhorar suas propriedades mecânicas e químicas.

“A soldagem por eletrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding – SMAW) envolve riscos potenciais à segurança, como exposição a raios ultravioleta e infravermelhos, gases tóxicos e fumaça, além de riscos elétricos.”(AMERICAN WELDING SOCIETY). Portanto, é essencial utilizar equipamentos de proteção individual (EPI) adequados para garantir a segurança do operador durante a realização desse processo.

Os principais equipamentos de segurança necessários para a soldagem por eletrodo revestido incluem:

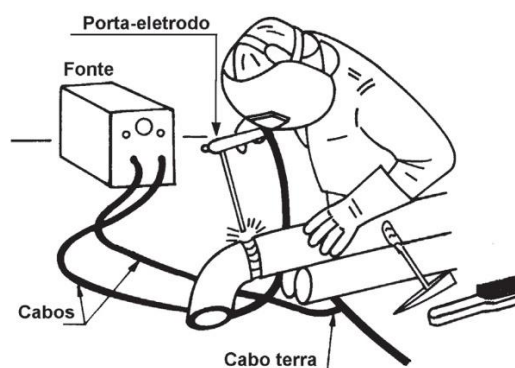
- Capacetes de soldagem: são equipamentos essenciais para proteger o rosto e os olhos do operador da radiação ultravioleta e infravermelha gerada pelo arco elétrico. Esses capacetes devem ser equipados com lentes de proteção que possuem um número de filtro adequado para a soldagem.

- Luvas de segurança: são necessárias para proteger as mãos do operador contra queimaduras causadas pelo calor gerado durante a soldagem, além de proteger contra cortes e abrasões.
- Avental de segurança: é usado para proteger o corpo do operador contra a radiação e o calor gerados durante a soldagem, além de proteger contra respingos de metal fundido e outros detritos.
- Respiradores: são necessários para proteger o operador contra a inalação de gases tóxicos e fumaça gerados durante a soldagem. Esses respiradores devem ter um nível de filtração adequado para a soldagem por eletrodo revestido.
- Botas de segurança: são necessárias para proteger os pés do operador contra queimaduras e lesões causadas por objetos pesados que possam cair ou rolar durante a soldagem.

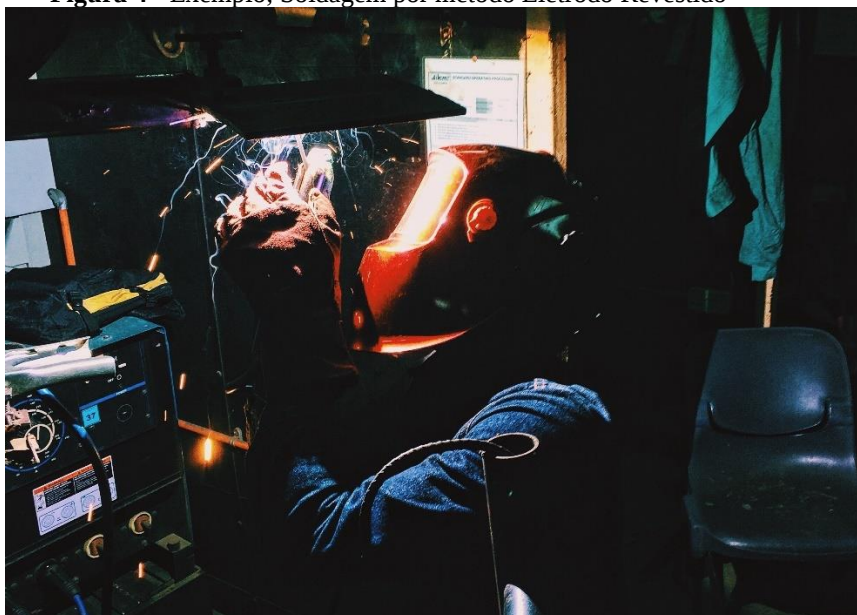
Além desses equipamentos de segurança, também é importante garantir que a área de trabalho esteja adequadamente ventilada para minimizar a exposição do operador à fumaça e gases tóxicos. É recomendado também que o operador seja treinado adequadamente em segurança antes de realizar a soldagem por eletrodo revestido.

Em resumo, os equipamentos necessários para a realização de soldagem por eletrodo revestido incluem uma fonte de alimentação de soldagem, um porta-eletrodo, um cabo de soldagem e um eletrodo revestido. Todos esses equipamentos são importantes para garantir uma solda de alta qualidade, com precisão e segurança.

Figura 3 – Equipamento para soldagem com eletrodos revestidos.



Fonte: Soldagem - Fundamentos e Tecnologia (Paulo Villani – 2016)

Figura 4 - Exemplo; Soldagem por método Eletrodo Revestido

Fonte: Beng, (2018)

Caso sejam utilizados cabos com diâmetro da seção transversal inadequadas, como cabos muito finos para uma determinada aplicação, ou ainda, cabos danificados, conexões sujas ou deficientes, podem ocorrer diversos problemas, tais como superaquecimento, perda de energia elétrica, variações na qualidade da solda e até mesmo a ruptura de cabos e conexões. A tabela 1 a seguir proposta por American Welding Society, mostra alguns exemplos de cabos recomendados para diferentes situações:

Tabela 1 - Diâmetro do cabo (mm) em função do Comprimento

		Diâmetro do cabo (mm) em função do Comprimento				
Corrente de Soldagem (A)	Ciclo de Trabalho (%)	0-15	15-30	30-46	46-61	61-76
100	20	4	5	6	6.5	7.5
180	20-30	5	5	6	6.5	7.5
200	60	6.5	6.5	6.5	7.5	8
200	50	6	6	6.5	7.5	8
250	30	6	6	6.5	7.5	8
300	60	8	8	8	9	10
400	60	9	9	9	10	12
500	60	9	9	9	10	12
600	60	9	9	9	10	2x10

Fonte: American Welding Society (AWS)

3.2.3 CONSUMÍVEIS

Na soldagem por eletrodo revestido, os consumíveis são materiais utilizados para a formação do cordão de solda. Esses consumíveis são compostos por um arame metálico central, chamado de eletrodo, e um revestimento ao seu redor, que é responsável por proteger o metal fundido da atmosfera, controlar a transferência de calor e adicionar elementos químicos que irão conferir propriedades específicas ao metal depositado. American Welding Society (2017).

Como ressalta Smith e Silva, (2017). O revestimento do eletrodo pode ser composto por uma mistura de minerais, metais, ligas e fluxos que são adicionados em proporções adequadas para cada tipo de aplicação. Os principais componentes do revestimento incluem óxidos, carbonatos, silicatos, ferro, níquel, manganês e outros elementos. Durante a soldagem, o arco elétrico é estabelecido entre o eletrodo e a peça de trabalho, o que provoca o aquecimento do metal e do revestimento do eletrodo. O revestimento é decomposto pelo calor do arco elétrico, formando uma camada de gás protetor que envolve o metal fundido, impedindo a sua oxidação e melhorando a qualidade da solda. Além disso, o revestimento pode fornecer elementos que melhoram as propriedades do metal depositado, tais como resistência mecânica, dureza, resistência à corrosão, entre outras.

Os consumíveis utilizados na soldagem por eletrodo revestido são selecionados com base nas características da peça a ser soldada e nas propriedades desejadas para a solda final. Existem diferentes tipos de consumíveis para diferentes aplicações, como aço carbono, aço inoxidável, ligas de alumínio, entre outros. Cada tipo de consumível tem suas próprias propriedades mecânicas, químicas e metalúrgicas, que devem ser consideradas para se obter uma solda de qualidade.

Segundo o autor Paulo Villani Figura no livro Soldagem - Fundamentos e Tecnologia essas são as seguintes características e funções dos eletrodos:

- Realizar ou possibilitar reações de refino metalúrgico, tais como desoxidação, dessulfuração etc.
- Formar uma camada de escória protetora.
- Facilitar a remoção de escória e controlar suas propriedades físicas e químicas.
- Facilitar a soldagem nas diversas posições.

- Dissolver óxidos e contaminações na superfície da junta.
- Reduzir o nível de respingos e fumos.
- Diminuir a velocidade de resfriamento da solda.
- Possibilitar o uso de diferentes tipos de corrente e polaridade e
- Aumentar a taxa de deposição (quantidade de metal depositado por unidade de tempo), entre outras.

Esses eletrodos podem ser classificados como:

E308-16 - E308-16 - Resistência à tração do metal depositado, mínima de 70ksi (~480MPa). Soldagem em todas as posições em corrente contínua (CC) com polaridade positiva (+) e corrente alternada (CA). Revestimento básico de alta eficiência com dióxido de titânio.

E6010 - Resistência à tração do metal depositado, mínima de 60ksi (~430MPa). Soldagem em todas as posições em corrente contínua (CC) com polaridade positiva (+) CC+. Revestimento tipo celulósico ligado com silicato de sódio.

E6013 - Resistência à tração do metal depositado, mínima de 60ksi (~430MPa). Soldagem em todas as posições em correntes alternada (CA), contínua (CC) com polaridade positiva (+) ou contínua (CC) com polaridade negativa (-). CA, CC+ ou CC-. Revestimento tipo rutílico ligado com silicato de potássio.

E7018 - Resistência à tração do metal depositado, mínima de 70ksi (~490MPa) Soldagem em todas as posições em correntes contínua (CC) com polaridade positiva (+) e corrente alternada (CA). CA, CC+. Revestimento tipo básico de baixo hidrogênio e pó de ferro ligado com silicato de potássio.

E8018-B2 - Resistência à tração do metal depositado, mínima de 80ksi (~550MPa) após tratamento térmico. Soldagem em todas as posições em correntes contínua (CC) com polaridade positiva (+) e corrente alternada (CA). CA, CC+. Revestimento tipo básico de baixo hidrogênio e pó de ferro ligado com silicato de potássio depositando metal de solda com teores de 1,25% Cr e 0,5 Mo (resistente a fluência).

Para racionalizar o mercado, os eletrodos revestidos são classificados de acordo com sistemas propostos por diferentes sociedades (AWS, DIN, AFNOR, ABNT, ISO etc.) As classificações mais usadas no Brasil são as propostas pela AWS. Como mostrado a tabela 2 a seguir.

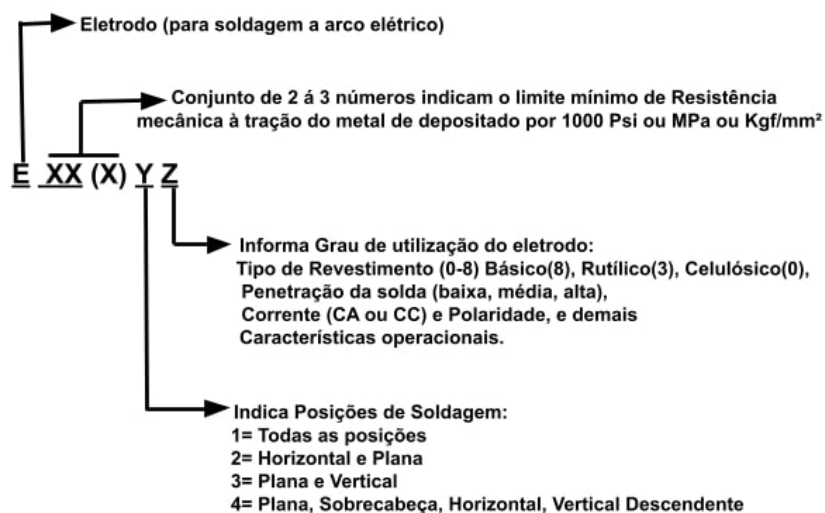
Tabela 2 - Especificações AWS para classificação de eletrodos revestidos

Especificações	Tipo de eletrodo
AWS A 5.1	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de aço carbono. (composto principalmente por ferro (Fe) e carbono (C)).
AWS A 5.3	Eletrodos revestidos para soldagem a arco do alumínio(Al) e suas ligas(Cu),(Mg),(Si).
AWS A 5.4	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de aços inoxidáveis. (contém principalmente ferro (Fe), cromo (Cr) e, em muitos casos, níquel (Ni)).
AWS A 5.5	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de aços de baixa-liga.
AWS A 5.6	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de cobre(Cu) e suas ligas.
AWS A 5.11	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de níquel(Ni) e suas ligas.
AWS A 5.13	Eletrodos revestidos para revestimento por soldagem a arco.
AWS A 5.15	Eletrodos e varetas para soldagem do ferro fundido. ((Fe) que contém uma quantidade significativa de carbono (C) e outros elementos de liga).

Fonte: American Welding Society (AWS)

No Brasil, é comum encontrar a seguinte nomenclatura para os eletrodos:

Figura 5 - classificação de eletrodos revestidos adotado pelas especificações AWS



Fonte: American Welding Society (AWS)

Existem diversos tipos de revestimentos de eletrodos revestidos, cada um com suas propriedades e características específicas. Segundo a American Welding Society (2017). Esses revestimentos foram separados em 6 tipos distintos.

O revestimento básico é composto por carbonatos e silicatos alcalinos, além de outros elementos como ferro, manganês e titânio. Ele é especialmente adequado para soldagem de aços de alta resistência, oferecendo uma combinação de elevada resistência mecânica, baixa taxa de respingos e bom controle de arco.

Já o revestimento rutílico é composto por óxidos de rutênio, dióxido de titânio e outros elementos. Ele é amplamente utilizado na soldagem de aços carbono e baixa liga. Esse tipo de revestimento apresenta uma taxa de fusão elevada, permitindo alta produtividade. Além disso, ele oferece facilidade de uso e baixo custo.

O revestimento celulósico é composto por celulose, carbonato de cálcio e outros elementos. Ele é indicado para soldagem de aços carbono. Esse tipo de revestimento também possui uma taxa de fusão elevada, resultando em alta produtividade. Além disso, ele produz poucos respingos e proporciona alta penetração na solda.

O revestimento de baixo hidrogênio é composto por carbonatos, silicatos e outros elementos, com baixo teor de hidrogênio. Ele é especialmente utilizado na soldagem de aços de alta resistência e ligas de alumínio. Esse tipo de revestimento oferece alta resistência mecânica e baixa taxa de fissuração a frio.

O revestimento de óxido de ferro é composto por óxido de ferro e outros elementos. Ele é utilizado na soldagem de aços carbono e baixa liga. Esse tipo de revestimento apresenta baixa taxa de respingos, alta penetração e bom controle de arco.

Por fim, o revestimento de zircônio é composto por óxido de zircônio e outros elementos. Ele é aplicado na soldagem de aços carbono e baixa liga. Esse tipo de revestimento oferece alta estabilidade de arco, baixa taxa de respingos e produz soldas com alta resistência mecânica.

Cada tipo de revestimento tem suas próprias características e é selecionado com base nas propriedades desejadas para a solda final. É importante escolher o revestimento adequado para cada aplicação, de forma a garantir uma solda de qualidade e com as propriedades desejadas. American Welding Society (2017).

3.2.4 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

Segundo Silva e Santos (2022) em sua obra “ A soldagem por eletrodo revestido na indústria e construção civil”. A soldagem por eletrodo revestido é um processo de soldagem amplamente utilizado na indústria e construção civil. Ela apresenta diversas vantagens, tais como a sua versatilidade, facilidade de uso, custo relativamente baixo e possibilidade de soldagem em locais de difícil acesso. Além disso, a soldagem por eletrodo revestido é capaz de produzir soldas de alta qualidade e com propriedades mecânicas adequadas para diversas aplicações.

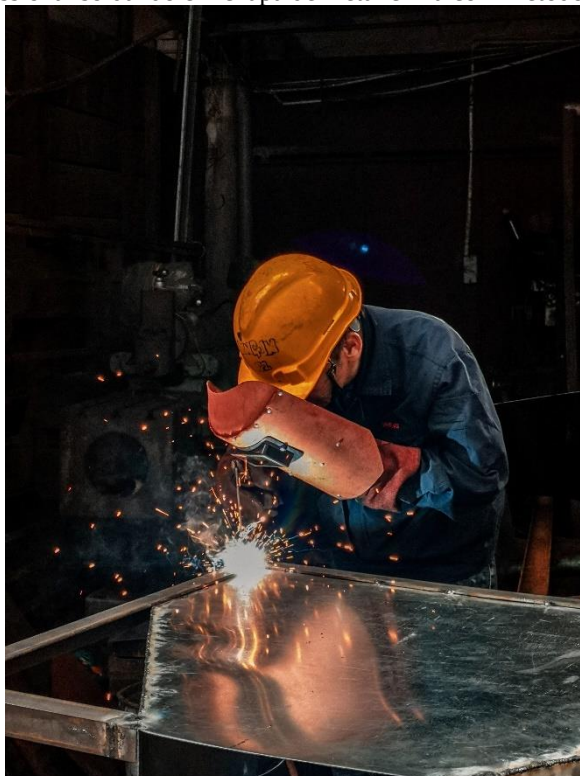
Uma das principais aplicações da soldagem por eletrodo revestido é na fabricação e reparo de estruturas metálicas, tais como pontes, edifícios, torres, tanques e tubulações. Essas estruturas exigem soldas resistentes e de alta qualidade, capazes de suportar as cargas e tensões a que estão submetidas.

A soldagem por eletrodo revestido também é utilizada na indústria automotiva, em processos de reparo e fabricação de componentes e carrocerias de veículos. A soldagem por eletrodo revestido é capaz de produzir soldas de alta resistência, essenciais para garantir a segurança e durabilidade dos veículos.

Outra aplicação importante da soldagem por eletrodo revestido é na indústria naval, na fabricação e reparo de navios e embarcações. Nesse caso, a soldagem por eletrodo revestido é capaz de produzir soldas resistentes à corrosão, essenciais para a proteção dos navios em ambientes marinhos. (Silva e Santos, 2017)

Além disso, a soldagem por eletrodo revestido é utilizada em diversas outras aplicações, tais como na fabricação de equipamentos de mineração, na indústria de alimentos e bebidas, na fabricação de estruturas metálicas para aeroportos e terminais de transporte, entre outras.

Figura 6 - Profissional soldando em chapa de metal cinza com método SMAW



Fonte: Abdullah, (2018)

Em resumo, a soldagem por eletrodo revestido apresenta uma ampla gama de aplicações em diversas áreas da indústria e construção civil. Seu uso permite a produção de soldas de alta qualidade e resistência mecânica, essenciais para garantir a segurança e durabilidade de estruturas e componentes metálicos.

3.3 SOLDAGEM TIG

3.3.1 FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM TIG

De acordo com Schwedersky et al. (2011), a sigla TIG (TUNGSTÊNIO GÁS INERTE) já explica de certa forma como se dá esse processo de solda, em que se é usado um eletrodo de tungstênio, um arco elétrico e um gás inerte (argônio) que serve como isolador da solda para que não ocorra alguma reação química indesejada, como uma oxidação por exemplo. O tungstênio é um metal que possui o mais alto ponto de fusão entre os metais, então o eletrodo não é consumido durante o processo de soldagem, por isso, geralmente é utilizado um metal de adição, dependendo da necessidade da situação específica. A solda TIG é amplamente utilizada com ligas de aço inoxidável, e os equipamentos utilizados nessa solda são definidos de acordo com o material a ser trabalhado, máquinas de corrente alternada ou contínua.

Como explica a literatura, a soldagem TIG é um processo de soldagem que utiliza um eletrodo de tungstênio não consumível para fundir o metal de base e adicionar material de enchimento (RODRIGUES; MELO, 2018). Esse processo é conhecido por proporcionar alta qualidade de solda, com menor contaminação do material e maior precisão no controle da solda (CÂMARA; RODRIGUES, 2017).

Como menciona Lima et al. (2021, p. 1), "a soldagem TIG é um processo de união por fusão que utiliza um arco elétrico entre um eletrodo de tungstênio e a peça a ser soldada". Os autores ressaltam que esse processo se destaca pela alta qualidade da junta soldada, pela capacidade de soldar metais de alta espessura e por produzir soldas com acabamento excelente. Além disso, eles afirmam que a soldagem TIG é amplamente utilizada em indústrias como aeronáutica, automotiva e naval, devido à sua alta qualidade e confiabilidade.

Todo o processo deste tipo de solda é refinado e oferece um acabamento superior às demais, neste tipo de processo, não sendo necessário a remoção de escórias. Esse processo pode ser utilizado com uma enorme variedade de materiais, tem uma resistência alta, tem ótimas características mecânicas. No entanto, esse tipo de solda só pode ser trabalhado em ambiente controlados, ambientes fechados para que o gás não se dissipe, e o trabalho é um tanto quanto delicado, é

necessário que o soldador tenha qualificação para esse tipo de trabalho. American Welding Society (2017).

3.3.2 EQUIPAMENTOS

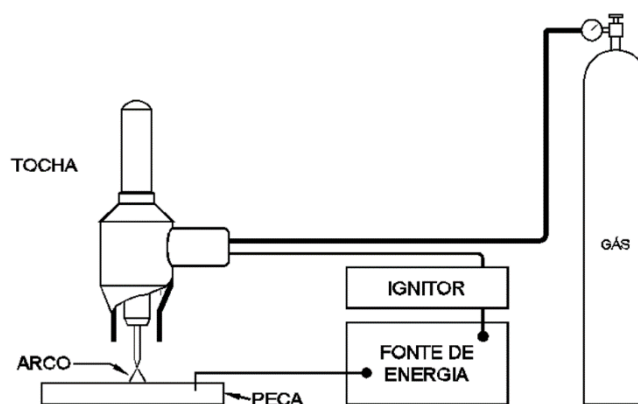
Conforme SCHWEDERSKY (2011). A soldagem TIG (Tungsten Inert Gas) é um processo de soldagem que utiliza um arco elétrico entre um eletrodo de tungstênio não consumível e a peça a ser soldada, enquanto um gás inerte é utilizado para proteger a solda contra a contaminação atmosférica. Alguns dos equipamentos utilizados para a soldagem TIG incluem:

- Fonte de energia: A fonte de energia é o equipamento que fornece a corrente elétrica necessária para a soldagem. Existem diversos tipos de fontes de energia disponíveis no mercado, incluindo fontes de corrente contínua (CC) e corrente alternada (AC), bem como fontes de corrente pulsada. A escolha da fonte de energia depende do tipo de material a ser soldado, bem como das especificações da solda. Em sua maioria, as fontes utilizadas no processo de soldagem por eletrodo revestidos também funcionam.
- Tocha TIG: A tocha TIG é o dispositivo utilizado para conduzir o arco elétrico e alimentar o material de adição na soldagem TIG. A tocha TIG é composta por um corpo, uma válvula de gás, um bocal e um eletrodo de tungstênio. O tamanho e o tipo de tocha TIG utilizado depende da aplicação e da espessura do material a ser soldado.
- Eletrodo de tungstênio: O eletrodo de tungstênio é o componente central da tocha TIG. Ele é utilizado para conduzir a corrente elétrica para a peça a ser soldada e produzir o arco elétrico. O eletrodo de tungstênio é feito de tungstênio puro ou uma liga de tungstênio, e sua escolha depende da aplicação e do tipo de material a ser soldado.
- Gás de proteção: O gás de proteção é utilizado para proteger a solda contra a contaminação atmosférica. Os gases mais comumente utilizados na soldagem TIG incluem o argônio, hélio e misturas de argônio e hélio. A escolha do gás de proteção depende da aplicação e do tipo de material a ser soldado.

- **Material de adição:** O material de adição é utilizado para preencher o espaço entre as peças a serem soldadas. O material de adição pode ser um metal de solda, fio ou haste, dependendo da aplicação e do tipo de material a ser soldado.

A figura 7 reseedenta esquematicamente os equipamentos necessarios para a realização da solda pelo método TIG:

Figura 7 - Equipamento para soldagem TIG (esquemática)



Fonte: Efeito da concentração do fluxo na soldagem tig de aço inoxidável austenítico – (Colen Neto 2012)

Figura 8 - Exemplo; Soldagem por método TIG



Fonte: Walter Surface Technologies (2023)

3.3.3 CONSUMÍVEIS

Segundo SCHWEDERSKY (2011). Na soldagem TIG, os principais consumíveis incluem os gases de proteção, as varetas e arames de metal de adição. Embora os eletrodos de tungstênio sejam considerados não consumíveis, eles ainda sofrem desgaste durante o processo de soldagem, tornando necessário seu recondicionamento e substituição regular.

Os gases de proteção utilizados são inertes, principalmente o argônio, o hélio e suas misturas. Em algumas aplicações, são usadas misturas especiais, como aquelas que contêm hidrogênio para soldagem de aços inoxidáveis e as que contêm nitrogênio, opcionais na soldagem de cobre e suas ligas.

Segundo a American Welding Society (2017), a pureza dos gases utilizados é de extrema importância para garantir a qualidade da solda, sendo exigidos teores mínimos de 99,99% do gás ou gases utilizados. Além disso, é necessário controlar cuidadosamente o teor de umidade.

De acordo com a AWS, ao comparar o Argônio (Ar) com o Hélio (He), algumas observações podem ser feitas. O Ar proporciona melhor estabilidade do arco em comparação com o He e tem menor consumo, devido à sua maior densidade. Além disso, apresenta menores tensões de arco. Isso também contribui para um custo inferior.

Por outro lado, o He oferece maior penetração na soldagem do que o Ar. No entanto, a abertura do arco é mais fácil com o Ar. O Ar também tem um melhor efeito de limpeza dos óxidos na soldagem com corrente alternada, conforme a técnica operatória.

Outra vantagem do He é a possibilidade de utilizar maiores velocidades de soldagem. Portanto, ao escolher entre o Ar e o He, é necessário considerar esses fatores e suas respectivas influências na soldagem.

A seleção do gás de proteção é feita principalmente em função do tipo de metal que se quer soldar, da posição de soldagem e da espessura das peças a unir. American Welding Society (2017).

Tabela 3 - Gases de proteção e tipos de corrente usuais na soldagem de diferentes ligas

Material	Espessura(mm)	Soldagem manual	Soldagem mecanizada
Alumínio e suas ligas	< 3,2	Ar, CA	Ar, CA ou He, CC–
	> 3,2	Ar, CA	Ar-He, CA ou He, CC–
Aço carbono	< 3,2	Ar, CC–	Ar, CC–
	> 3,2	Ar, CC–	Ar-He, CC– ou He, CC–
Aço inoxidável	< 3,2	Ar, CC–	Ar-He, CC– ou He, CC–
	> 3,2	Ar-He, CC–	He CC–
Níquel e suas ligas	< 3,2	Ar, CC–	Ar-He, CC– ou He, CC–
	> 3,2	Ar-He, CC–	He CC–
Cobre e suas ligas	< 3,2	Ar, CC–	Ar-He, CC–
	> 3,2	Ar-He, CC–	He CC
	< 3,2	Ar, CC	Ar, CC– ou Ar-He, CC
	> 3,2	Ar-He, CC–	He CC-

Fonte: American Welding Society (AWS)

Metais de adição estão disponíveis numa ampla faixa de materiais e ligas. Geralmente a composição química de metais de adição tem limites de tolerância muito inferiores aos de metal de base do mesmo tipo e custo bem mais elevado. Eles são classificados de acordo com sua composição química e com as propriedades mecânicas do metal depositado. American Welding Society (2017).

Tabela 4 - Especificações AWS para metais de adição adequados à soldagem TIG

Especificação	Tipo de metal de adição
AWS A 5.7	Arames e varetas para a soldagem de cobre
AWS A 5.9	Arames e varetas para a soldagem de aços inoxidáveis
AWS A 5.10	Arames e varetas para a soldagem de alumínio
AWS A 5.14	Arames e varetas para a soldagem de níquel
AWS A 5.15	Arames e varetas para a soldagem de ferro fundido
AWS A 5.16	Arames e varetas para a soldagem de

	titânio
AWS A 5.18	Arames e varetas para a soldagem de aço-carbono
AWS A 5.19	Arames e varetas para a soldagem de magnésio
AWS A 5.21	Arames e varetas para revestimento
AWS A 5.22	Arames e varetas tubulares para a soldagem de aços inoxidáveis
AWS A 5.24	Arames e varetas para a soldagem de zircônio
AWS A 5.28	Arames e varetas para a soldagem de aços de baixa-liga

Fonte: American Welding Society (AWS)

3.3.4 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

Segundo Villani (2016), A soldagem TIG é um processo dos mais versáteis em termos de espessuras e ligas soldáveis, produzindo soldas de ótima qualidade. Contudo, é relativamente caro, lento e de baixa produtividade. As principais aplicações industriais da soldagem TIG são: costura e união de topo de tubos de aço inoxidável, soldagem de alumínio, magnésio e titânio, particularmente de peças leves ou de precisão, como as usadas na indústria aeroespacial, e passe de raiz em tubulações de aço-carbono e outros materiais.

A soldagem TIG é um processo amplamente utilizado na indústria devido à sua versatilidade e alta qualidade de soldas produzidas. De acordo com Silva e Marques (2018), a soldagem TIG é amplamente empregada em diferentes setores industriais, como aeroespacial, automotivo, petroquímico e construção civil. Essa técnica é especialmente adequada para materiais sensíveis ao calor, como ligas de alumínio, aços inoxidáveis e titânio.

No setor aeroespacial, a soldagem TIG é amplamente utilizada para unir componentes críticos, como estruturas de aeronaves e tubulações. Conforme citado por Sá et al. (2015), a alta qualidade das soldas produzidas pela soldagem TIG é essencial para garantir a resistência e a integridade estrutural das aeronaves.

Na indústria automotiva, a soldagem TIG desempenha um papel crucial na fabricação de carrocerias e na união de componentes metálicos, proporcionando alta resistência e durabilidade. De acordo com Oliveira et al. (2019), a soldagem TIG é amplamente adotada na produção de veículos, devido à sua capacidade de produzir soldas limpas, com baixo nível de respingos e mínima distorção.

No setor petroquímico, a soldagem TIG é frequentemente empregada na fabricação de equipamentos e tubulações utilizados em processos químicos e de refino de petróleo. Conforme destacado por Mendes et al. (2017), a soldagem TIG proporciona alta resistência à corrosão e excelente qualidade das soldas em materiais utilizados nesse setor, como aços inoxidáveis e ligas especiais.

Na construção civil, a soldagem TIG é aplicada em estruturas metálicas, tubulações e dutos, garantindo uniões de alta qualidade e segurança. De acordo com Santos et al. (2016), a soldagem TIG é amplamente adotada na construção de obras civis, devido à sua capacidade de produzir soldas com elevada resistência mecânica e estética.

Em suma, a soldagem TIG apresenta diversas aplicações industriais devido à sua versatilidade e capacidade de produzir soldas de alta qualidade. Seu uso é amplamente difundido nos setores aeroespacial, automotivo, petroquímico e na construção civil, contribuindo para a fabricação de produtos e estruturas com resistência, durabilidade e integridade estrutural.

Figura 9 - Profissional soldando em tubulação de metal com método TIG



Fonte: athendrix (2016)

3.4 MIG / MAG

3.4.1 FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM MIG/MAG

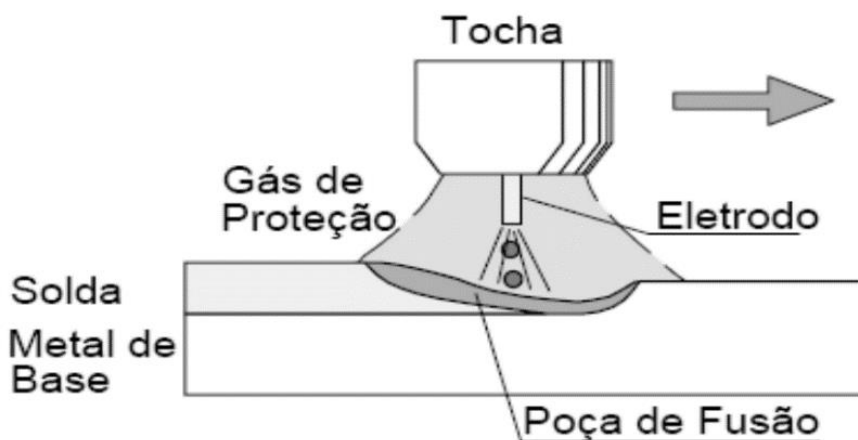
Como aponta Gonçalves e Silva (2005), É um processo de soldagem por arco elétrico, utiliza um metal consumível e um metal de base. Nesse processo, é realizado uma união de materiais metálicos, sob um gás que serve de proteção contra a atmosfera. A solda MIG é diferente da MAG, uma vez que no processo da MIG, é utilizado um gás inerte, geralmente o argônio, na MAG é utilizado um gás ativo, normalmente CO_2 (dióxido de carbono). A MIG e a MAG são utilizadas em diferentes metais, a MIG serve para metais não ferrosos, já que não interfere fisicamente com a poça de fusão, já a MAG é utilizada em metais ferrosos, nesse processo, o CO_2 interage com a poça de fusão.

De acordo com Santos (2015), em sua obra “Processos de soldagem”, o processo MIG / MAG /tem uma produtividade alta, uma vez que a solda é feita muito rapidamente e com menos distorções das peças, podem ser mecanizadas ou automatizadas, tem uma menor perda de material, menor incidência de fumaça no local, largacacidade de aplicação, não há necessidade de remoção de escória, além de poder ser feita em diversas posições. Em contrapartida, o processo é um pouco mais complicado, uma vez que necessita de uma regulação mais complexa do material, não pode ser usada em locais abertos, também pela questão da dissipação do gás, produz muitos respingos e tem um custo mais elevado em relação a soldagem com eletrodo revestido.

3.4.2 EQUIPAMENTOS

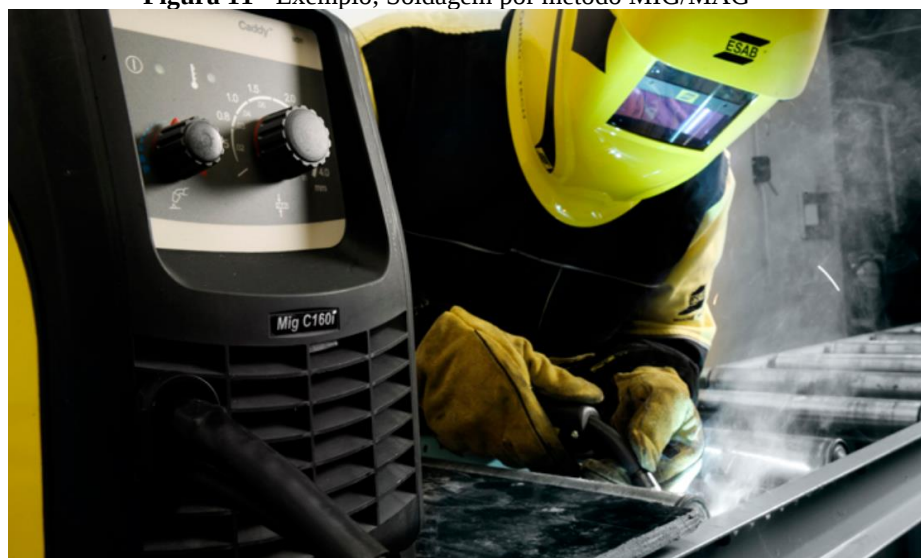
Como destaca Gonçalves e Silva (2005), o equipamento básico para a soldagem MIG/MAG é composto de uma fonte de energia, um alimentador de arame, uma tocha de soldagem e uma fonte de gás protetor, além de cabos e mangueiras. A soldagem MIG/MAG pode ser usada em materiais numa ampla faixa de espessura, tanto em metais ferrosos como não ferrosos. O diâmetro dos eletrodos usados varia normalmente entre 0,8 e 2,4 mm. O processo MAG é utilizado apenas na soldagem de materiais ferrosos, tendo como gás de proteção o CO₂ ou misturas ricas neste gás, enquanto a soldagem MIG pode ser usada tanto na soldagem de ferrosos quanto de não ferrosos, como alumínio, cobre, magnésio, níquel e suas ligas.

Figura 10 – Ilustração esquemática do processo GMAW



Fonte: MODENESI (2017)

Figura 11 - Exemplo; Soldagem por método MIG/MAG



Fonte: Conecta FG (2016)

Tabela 5 - Tabela de gases e misturas

Gás ou mistura	Comportamento químico	Aplicações
Argônio	Inerte	Quase todos os metais (aço)
Hélio	Inerte	Alumínio, Manganês, Cobre e suas ligas
Ar + 20% a 50% de Hélio	Inerte	Idem Hélio (melhor que 100% Hélio)
Nitrogênio	Inerte	Cobre e suas ligas
Argônio + 20% a 30% de Nitrogênio	Inerte	Idem Nitrogênio (melhor que 100% Nitrogênio)
Argônio + 1% a 2% de Oxigênio	Ligeiramente oxidante	Aços inox e algumas ligas de cobre
Argônio + 3% a 5% de Oxigênio	Oxidante	Aços carbonos e algumas baixa liga
Gás carbônico	Oxidante	Aços carbonos e algumas baixa liga
Argônio + 20% a 50% de carbônico	Oxidante	Diversos aços
Argônio + gás carbônico + oxigênio	Oxidante	Diversos aços

Fonte: ESAB

A seleção do arame a ser usado numa dada operação é feita em termos da composição química do metal de base, do gás de proteção a ser usado e da composição química e propriedades mecânicas desejadas para solda. Os arames de aço usados com proteção de CO₂ possuem maiores quantidades de desoxidantes (silício e manganês) em sua composição, em relação aos arames usados com proteção de misturas ricas em argônio. Santos (2015)

Tabela 6 - Especificações AWS de materiais de adição para soldagem MIG/MAG

Especificações	Tipo de metal de adição
AWS A 5.7	Arames de cobre e suas ligas
AWS A 5.9	Arames de aço inoxidável
AWS A 5.10	Arames de alumínio e suas ligas

AWS A 5.14	Arames de níquel e suas ligas
AWS A 5.15	Arames para soldagem de ferro fundido
AWS A 5.16	Arames de titânio e suas ligas
AWS A 5.18	Arames e arames tubulares de aço-carbono com pó metálico interno
AWS A 5.19	Arames de magnésio e suas ligas
AWS A 5.20	Arames tubulares de aço-carbono com fluxo interno
AWS A 5.21	Arames para revestimento
AWS A 5.22	Arames tubulares para soldagem de aço inoxidável
AWS A 5.24	Arames para a soldagem de zircônio
AWS A 5.28	Arames de aços de baixa-liga

Fonte: American Welding Society (AWS)

3.4.3 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

De acordo com Villani (2016), a soldagem MIG/MAG tem sido amplamente usada na indústria automobilística, particularmente com a utilização de robôs, na indústria ferroviária, na fabricação de equipamentos e bens de médio e grande porte, como pontes rolantes, vigas, escavadeiras, tratores etc. Além de união, a soldagem MIG/MAG pode ser usada na recuperação e revestimento de peças metálicas, como é um processo semiautomático e que usa densidades de correntes elevadas (corrente por unidade de área da seção transversal do eletrodo), sua produtividade é bastante elevada, sendo quase sempre uma alternativa viável à soldagem com outros processos. Além disso, pode ainda ser mecanizado de forma relativamente simples, com o uso de dispositivos de posicionamento e deslocamento da tocha.

As aplicações da soldagem MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas) abrangem diversos setores industriais, devido à sua eficiência e versatilidade. Segundo Johnson et al. (2019), a soldagem MIG/MAG é amplamente utilizada na indústria automotiva, construção naval, fabricação de estruturas metálicas e na produção de equipamentos pesados.

Na indústria automotiva, a soldagem MIG/MAG desempenha um papel crucial na união de componentes metálicos, como carrocerias, chassis e suspensões. Conforme destacado por Smith et

al. (2018), a soldagem MIG/MAG é preferida nesse setor devido à sua alta produtividade, velocidade de soldagem e capacidade de soldar uma ampla variedade de materiais, incluindo aços de alta resistência e alumínio.

Na construção naval, a soldagem MIG/MAG é amplamente empregada na fabricação e reparo de navios e embarcações. Segundo Jones e Brown (2017), a soldagem MIG/MAG permite a produção de soldas de alta qualidade em diferentes espessuras de chapas metálicas, atendendo aos requisitos de resistência e integridade estrutural exigidos nesse setor.

A fabricação de estruturas metálicas também se beneficia da soldagem MIG/MAG. A soldagem desse tipo é utilizada na junção de vigas, colunas e outros elementos estruturais, como ressaltado por Martinez et al. (2016). A soldagem MIG/MAG proporciona alta produtividade, baixo nível de respingos e excelente acabamento superficial, garantindo a resistência e estabilidade das estruturas.

Além disso, a soldagem MIG/MAG é aplicada na produção de equipamentos pesados, como tanques de armazenamento, vasos de pressão e estruturas metálicas para maquinários industriais. Conforme mencionado por Davis e Clark (2020), a soldagem MIG/MAG oferece alta taxa de deposição de material, o que a torna ideal para a fabricação de componentes de grande porte que exigem eficiência e rapidez.

Figura 12 - Profissional soldando em tubulação de metal com método MIG/MAG



Fonte: Portal da Construção (2018)

3.5 ARAME TUBULAR

3.5.1 FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM POR ARAME TUBULAR

Como sugere Joaquim (2017) em seu artigo "Processo de Soldagem por Arame Tubular", o processo de soldagem por Arame Tubular é definido como sendo um processo de soldagem por fusão, onde o calor necessário a ligação das partes é fornecido por um arco elétrico estabelecido entre a peça e um Arame alimentado continuamente. É um processo semelhante ao processo MIG/MAG, diferindo deste pelo fato de possuir um Arame no formato tubular, que possui no seu interior um fluxo composto por materiais inorgânicos e metálicos que possuem várias funções, entre as quais a melhoria das características do arco elétrico, a transferência do metal de solda a proteção do banho de fusão e em alguns casos a adição de elementos de liga, além de atuar como formador de escória.

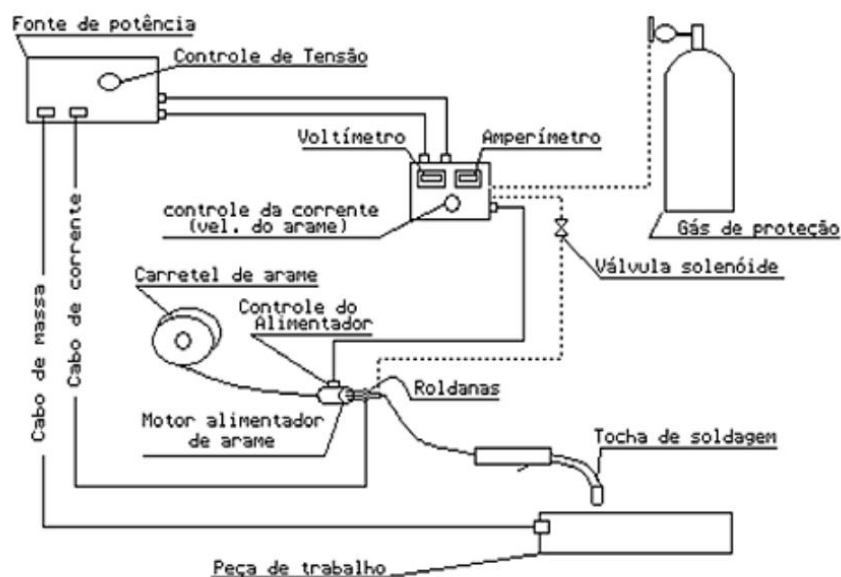
Este processo de soldagem é muito parecido com o MIG, no entanto, o arame utilizado é tubular, oco, e no seu interior existe um fluxo. Esse fluxo, junto com a proteção gasosa externa, produz uma solda de alta qualidade, arco elétrico estável e baixo nível de respingos, além de melhorar as características mecânicas da solda. A solda com arame tubular promove um aquecimento dos metais por um arco elétrico entre a ponta do arame e a peça de trabalho. Existem dois tipos de arames tubulares, os tubulares autoprottegidos, em que a proteção da poça de fusão contra a atmosfera é feita pelo fluxo interno do arame, e os arames tubulares com proteção externa, em que se é usado um gás externo ativo, como o CO_2 . Santos (2015)

Como defende Villani (2016), em seu livro "Soldagem - Fundamentos e Tecnologia", A soldagem com arames tubulares é normalmente um processo semiautomático. Por outro lado, o processo também tem suas semelhanças com a soldagem com eletrodos revestidos, do ponto de vista metalúrgico. Assim, a soldagem com arames tubulares é um processo que acumula as principais vantagens da soldagem MIG/ MAG, como alto fator de trabalho do soldador, alta taxa de deposição e alto rendimento, que resultam em grande produtividade, e as vantagens da soldagem com eletrodos revestidos, como a alta versatilidade, possibilidade de ajustes de composição química do metal de solda e facilidade de operação em campo.

3.5.2 EQUIPAMENTOS

De acordo com American Welding Society (2017), O equipamento básico para a soldagem com arames tubulares é semelhante ao usado na soldagem MIG/MAG. São usadas fontes de tensão constante e alimentador de arame do tipo velocidade constante e o controle do comprimento do arco é similar ao da soldagem MIG/MAG. Uma tocha de soldagem mais simples pode ser usada na soldagem com arames tubulares autoprottegidos, já que não são necessários bocais de gás. A fonte de gás de proteção, quando usada, também é semelhante à da soldagem MIG/MAG, consistindo em uma fonte de gás, reguladores de pressão/vazão e mangueiras.

Figura 13 – Equipamento básico para soldagem com arames tubular



Fonte: (AWS 1991)

Figura 14 - Exemplo; Soldagem por método Arame Tubular



Fonte: SUMIG, (2019)

3.5.3 CONSUMÍVEIS

Segundo Joaquim (2017) em seu artigo "Processo de Soldagem por Arame Tubular", Os consumíveis usados na soldagem FCAW são os arames tubulares, os gases de proteção, quando usados, e produtos antirrespingos.

A utilização de consumíveis na soldagem por arame tubular desempenha um papel crucial na obtenção de soldas de alta qualidade e eficiência. Segundo Smith et al. (2019), os consumíveis na soldagem por arame tubular incluem o arame tubular propriamente dito e o fluxo interno. Esses consumíveis desempenham funções específicas durante o processo de soldagem e podem ser selecionados de acordo com as necessidades e requisitos do trabalho a ser realizado.

O fluxo interno, também conhecido como fluxo tubular, desempenha várias funções durante a soldagem por arame tubular. Segundo Martinez e Brown (2018), o fluxo interno atua como um agente de proteção, fornecendo uma atmosfera gasosa para prevenir a contaminação do arco de soldagem. Além disso, o fluxo interno pode conter elementos de liga e aditivos que ajudam a melhorar as propriedades da solda, como resistência à corrosão e resistência mecânica.

É importante ressaltar que a escolha adequada dos consumíveis na soldagem por arame tubular é essencial para obter soldas de qualidade. De acordo com Davis et al. (2021), a seleção dos consumíveis deve levar em consideração fatores como o tipo de metal base, as propriedades desejadas da solda, as condições de soldagem e as normas e especificações aplicáveis.

Tabela 7 - Especificações AWS de arames tubulares

Especificações	Tipo de metal de adição
AWS A 5.9	Arames de aço inoxidável com pó metálico interno
AWS A 5.15	Arames para soldagem de ferro fundido
AWS A 5.18	Arames tubulares de aço-carbono com pó metálico interno
AWS A 5.20	Arames tubulares de aço-carbono com fluxo interno
AWS A 5.21	Arames para revestimento
AWS A 5.22	Arames tubulares para soldagem de

	aço inoxidável
AWS A 5.29	Arames de aços de baixa-liga com fluxo interno

Fonte: AWS (1991)

Figura 15 - classificação AWS para arames com fluxo interno

O "M" (opcional) indica mistura de proteção contendo entre 75 e 80% Ar e restante de CO₂. Se não usado, a proteção é de CO₂ puro.

Refere-se à usabilidade e desempenho do eletrodo. Ver Tabela 15.10.

Indica arame tubular com fluxo interno

Indica a posição de soldagem. "0" para plana ou horizontal e "1" para todas as posições

Indica o limite de resistência mínimo do metal depositado em ksi (2 ou 3 dígitos). Pode ser 6 ou 7

Eletrodo para soldagem a arco (E)

AWS E XXT - XMJ HZ

Indica requisitos de tenacidade. Ver especificação AWS

Indica teor de hidrogênio difusível em ml/100g de metal depositado. Pode ser 4, 8 ou 16.

Fonte: AWS (1991)

3.5.4 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

Segundo Villani (2016), em seu livro "Soldagem - Fundamentos e Tecnologia", além de ser uma alternativa à soldagem com eletrodos revestidos e arames sólidos em muitas situações, a soldagem com arames tubulares tem sido usada nas indústrias naval e nuclear, na construção de plataformas marítimas para exploração de petróleo e na fabricação de componentes e estruturas de aços-carbono, de baixa-liga e de aços inoxidáveis, com vantagens em relação à soldagem com arames sólidos e com eletrodos revestidos.

A soldagem por arame tubular é um processo amplamente utilizado na indústria devido à sua versatilidade e eficiência. Essa técnica oferece diversas aplicações em diferentes setores industriais, contribuindo para a fabricação de produtos e estruturas de alta qualidade. De acordo com Silva et al. (2020), a soldagem por arame tubular é amplamente empregada na indústria de construção, petroquímica, naval e na fabricação de equipamentos pesados.

No setor de construção, a soldagem por arame tubular é utilizada na fabricação de estruturas metálicas, como vigas, pilares e pontes. Conforme destacado por Santos et al. (2019), essa técnica oferece alta produtividade e qualidade das soldas, permitindo a construção de estruturas resistentes e duráveis.

Na indústria petroquímica, a soldagem por arame tubular é empregada na fabricação de equipamentos e tubulações utilizados em refinarias, plantas químicas e petroquímicas. Segundo Mendes et al. (2020), a soldagem por arame tubular é capaz de lidar com materiais especiais e oferece alta resistência à corrosão, atendendo aos rigorosos requisitos desse setor.

Na indústria naval, a soldagem por arame tubular desempenha um papel crucial na construção e reparo de navios e embarcações. Conforme ressaltado por Oliveira et al. (2021), essa técnica permite a soldagem de chapas de aço de alta espessura, garantindo a integridade e resistência das estruturas marítimas.

Além disso, a soldagem por arame tubular é aplicada na fabricação de equipamentos pesados, como tanques de armazenamento, vasos de pressão e estruturas para maquinários industriais. Conforme mencionado por Johnson et al. (2022), essa técnica oferece alta taxa de deposição de metal de adição, possibilitando a produção eficiente e rápida desses componentes.

Figura 16 - Profissional soldando em peça de metal com método Arame Tubular



Fonte: InfoSolda, (2013)

3.6 OXIGÁS

3.6.1 FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM OXIGÁS

Conforme Queiroz (2000), em seu artigo “ Processo de Soldagem com Chama Oxi-gás – OFW”, A soldagem Oxigás (OFW) inclui qualquer operação que use a combustão de um gás combustível com oxigênio como meio de calor . O processo envolve a fusão do metal base e normalmente de um metal de enchimento, usando uma chama produzida na ponta de um maçarico. O gás combustível e o oxigênio são combinados em proporções adequadas dentro de uma câmara de mistura. O metal fundido e o metal de enchimento, se usado, se misturam numa poça comum e se solidificam ao se resfriar.

De acordo com Santos (2015), em sua obra sobre processos de soldagem, O processo de oxicorte pode ser entendido como sendo uma energia térmica muito alta aliada a uma pressão, cuja estrutura sólida cristalina é removida por processo químico de oxidação. As diferenças de processos podem ser identificadas pela energia utilizada e a pressão imposta no processo. Essa energia é gerada pela queima da mistura de um gás (combustível) e do oxigênio puro (comburente), que, misturados e com uma ignição, geram uma chama que com a adição de uma pressão aumentará a temperatura onde ela ultrapasse o ponto de fusão do metal a ser cortado.

Tabela 8 - Tipo de gases e temperaturas da chama no processo

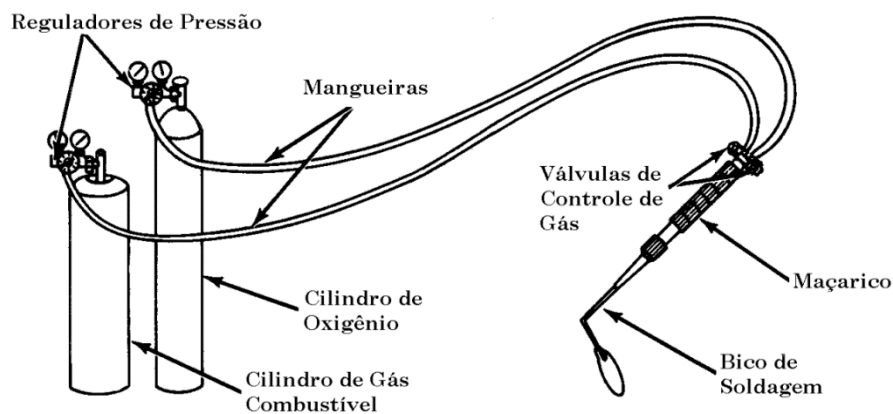
Gaseses		Temperatura de chama °C
Comburente	Combustível	
Oxigênio	Acetileno	±3.100
Oxigênio	Metano	±2.730
Oxigênio	Propano	±2.800
Oxigênio	GLP	±2.400

Fonte: AWS (1991)

3.6.2 EQUIPAMENTOS

Como ressalta Queiroz (2000), em seu artigo “ Processo de Soldagem com Chama Oxi-gás – OFW”, O equipamento mínimo necessário para executar a soldagem é completamente auto-suficiente e relativamente barata. Ele consiste de cilindros de Oxigênio e gás combustível, cada um com regulador de pressão, mangueiras para conduzir os gases para o maçarico e uma combinação de maçarico e bico para ajuste da mistura gasosa e produção da chama desejada.

Figura 17 - Equipamento Básico para OFW



Fonte: Queiroz(2000)

Figura 18 - Exemplo; Soldagem por método Oxi-gás



Fonte: Istock, (2020)

3.6.3 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

A soldagem por Oxigás, também conhecida como soldagem oxiacetilênica, é um processo amplamente utilizado na indústria devido à sua versatilidade e aplicabilidade em diferentes setores. Essa técnica utiliza a combustão de gases combustíveis, como acetileno, em conjunto com o oxigênio para gerar uma chama que funde e une os metais. As aplicações industriais da soldagem por Oxigás são variadas e desempenham um papel importante em diversos segmentos.

Na indústria metalúrgica, a soldagem por Oxigás é frequentemente empregada na fabricação e reparo de equipamentos e estruturas metálicas. Conforme destacado por Johnson et al. (2021), essa técnica é utilizada na união de componentes de aço, como chapas, tubos e perfis, permitindo a construção de estruturas robustas e duráveis. No setor de construção, a soldagem por Oxigás é aplicada na fabricação e instalação de estruturas metálicas, como portões, grades e escadas. Segundo Silva et al. (2022), essa técnica é especialmente útil na união de elementos metálicos de espessuras diferentes, proporcionando uma ligação sólida e resistente.

A indústria automotiva também se beneficia da soldagem por Oxigás, principalmente na fabricação e reparo de carrocerias e chassis de veículos. De acordo com Santos et al. (2023), essa técnica é utilizada para unir painéis de carroceria, proporcionando uma união eficiente e durável, além de permitir reparos localizados em caso de danos. Além disso, a soldagem por Oxigás encontra aplicações na indústria de tubos e dutos, sendo utilizada na união de tubulações para transporte de líquidos, gases e petróleo. Conforme mencionado por Oliveira et al. (2023), essa técnica é amplamente adotada na construção de oleodutos, gasodutos e sistemas de tubulação industrial, garantindo conexões seguras e resistentes.

Figura 19 - Profissional soldando em tubulação de metal com método Oxigás



Fonte: Istock, (2020)

3.7 ARCO SUBMERSO

3.7.1 FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO

Como observa Villani (2016), em seu livro "Soldagem - Fundamentos e Tecnologia", A soldagem a arco submerso (Submerged Arc Welding – SAW) é um processo em que a coalescência entre metais é obtida pelo aquecimento e fusão destes por um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico nu e a peça de trabalho. O arco ocorre sob uma camada de um material granular fusível, chamado de “fluxo”, que é colocado sobre a região de solda, protegendo-o da contaminação pela atmosfera.

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14341:2012, que trata de consumíveis para soldagem a arco submerso, "a soldagem por arco submerso é um processo no qual a soldagem é feita por um arco elétrico que é mantido entre um eletrodo consumível e a peça a ser soldada, enquanto o arco e a poça de fusão são cobertos por um fluxo granular" (ISO 14341:2012, p. 3).

Segundo as informações apresentadas por Santos e Melo (2017), "a soldagem a arco submerso é um processo que permite uma alta taxa de deposição, elevada eficiência e elevada qualidade do cordão de solda" (SANTOS; MELO, 2017, p. 80).

Como sugere Rosenfield e Sterian (2011), "a soldagem a arco submerso é um processo no qual um arco elétrico é mantido entre um eletrodo consumível e a peça de trabalho, enquanto o arco é imerso em um leito granular de fluxo" (ROSENFELD; STERIAN, 2011, p. 77).

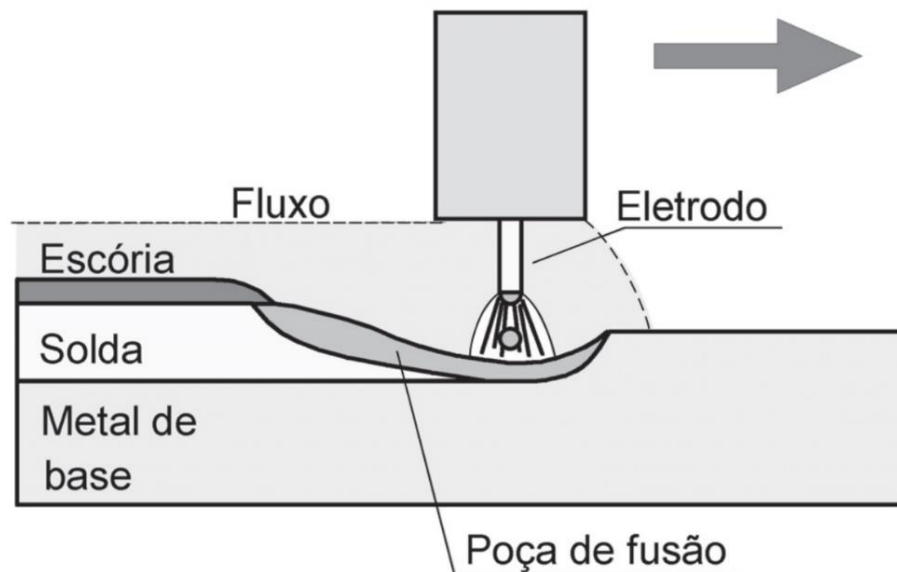
3.7.2 EQUIPAMENTOS

De acordo com a norma ABNT NBR 16056:2012, que trata dos requisitos para equipamentos de soldagem a arco submerso, "o equipamento de soldagem deve ser composto, no mínimo, por uma fonte de energia, um alimentador de arame e um cabeçote de soldagem" (ABNT NBR 16056:2012, p. 3).

Como observa Villani (2016), em seu livro "Soldagem - Fundamentos e Tecnologia", A soldagem a arco submerso (Submerged Arc Welding – SAW) é um processo em que a coalescência

entre metais é obtida pelo aquecimento e fusão destes por um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico nu e a peça de trabalho. O arco ocorre sob uma camada de um material granular fusível, chamado de “fluxo”, que é colocado sobre a região de solda, protegendo-o da contaminação pela atmosfera.

Figura 20 - Soldagem a arco submerso (esquemática).



Fonte: Soldagem - Fundamentos e Tecnologia (Paulo Villani – 2016)

Figura 21 - Exemplo; Soldagem por método Arco Submerso



Fonte: Alusolda, (2018)

3.7.3 CONSUMÍVEIS

Conforme a norma ABNT NBR ISO 14341:2012, que trata de consumíveis para soldagem a arco submerso, "os consumíveis mais comuns para soldagem a arco submerso são arames, fios sólidos e fluxos granulares, que são utilizados em conjunto para formar o cordão de solda" (ISO 14341:2012, p. 3).

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14171:2017, que trata dos requisitos para fluxos granulares utilizados na soldagem a arco submerso, "o fluxo granular deve ser capaz de proporcionar uma alta eficiência na soldagem, minimizando a formação de escória e porosidade, e deve ter composição química compatível com o material de base e o material de adição utilizado" (ABNT NBR ISO 14171:2017, p. 3).

Tabela 9 - Condições típicas de utilização da soldagem a arco submerso

Condição	Faixa de espessura (mm)
Um passe sem preparação	3 a 15
Um passe com preparação	6,5 a 25
Passes múltiplos	>15

Fonte: AWS (1991)

Com base em Villani (2016), A principal limitação da soldagem SAW é quanto à posição de soldagem. Como o processo normalmente utiliza alta intensidade de corrente, o volume da poça de fusão é grande e o metal líquido tende a escorrer para fora da junta. Além disso, o fluxo é constituído por um material granular que também pode se mover para fora da junta. Assim, o processo fica limitado à soldagem nas posições plana e horizontal.

3.7.4 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

Como constata Almeida et al. (2021, p. 18), "a soldagem a arco submerso é utilizada em diversas aplicações industriais, como a fabricação de estruturas metálicas, equipamentos de transporte, construção naval, tanques de armazenamento e tubulações, devido à alta produtividade e à qualidade das juntas soldadas".

No setor da construção naval, a soldagem por arco submerso é amplamente empregada na união de chapas de aço utilizadas na fabricação de navios e embarcações. Conforme destacado por Johnson et al. (2022), essa técnica oferece alta produtividade, excelente qualidade de solda e penetração profunda, garantindo a integridade estrutural das embarcações e a resistência à corrosão.

Na fabricação de estruturas metálicas, a soldagem por arco submerso desempenha um papel importante na união de perfis e vigas de aço. Segundo Silva et al. (2023), essa técnica é amplamente aplicada na construção de pontes, edifícios industriais e estruturas de suporte, proporcionando juntas de alta resistência e durabilidade.

A indústria de tubos também se beneficia da soldagem por arco submerso. Essa técnica é amplamente utilizada na fabricação de tubos de grande diâmetro para condução de fluidos, como petróleo, gás natural e água. Conforme mencionado por Santos et al. (2024), a soldagem por arco submerso permite a produção eficiente e contínua de tubos de alta qualidade, garantindo uma junta estanque e resistente.

Além disso, a soldagem por arco submerso encontra aplicações na indústria de fabricação de equipamentos pesados, como tanques de armazenamento, vasos de pressão e estruturas para maquinários industriais. De acordo com Oliveira et al. (2024), essa técnica oferece alta taxa de deposição de metal de adição, permitindo a produção rápida e eficiente desses componentes, com soldas de qualidade e resistência

Figura 22 - solda em tubulação de metal com método Arco Submerso



Fonte: Istock, (2020)

3.8 ARCOS DE PLASMA

3.8.1 FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM POR ARCOS DE PLASMA

Segundo afirma Vasudevan et al. (2020, p. 6), "A soldagem por arco de plasma é um processo de soldagem avançado que utiliza um arco elétrico para fundir o material de base e um gás ionizado para proteger o arco e a poça de fusão".

Com base em Fernandes et al. (2019, p. 65), "a soldagem a arco de plasma é um processo de união em que a energia necessária para a fusão das peças a serem unidas é fornecida por um arco elétrico que se forma entre um eletrodo não consumível e a peça. O arco elétrico é mantido em uma atmosfera de gás inerte, normalmente argônio, que protege o metal fundido contra a oxidação e a contaminação. O plasma é formado quando o arco elétrico ioniza o gás inerte, gerando uma elevada temperatura, em torno de 20.000 °C, que é capaz de fundir o material a ser soldado".

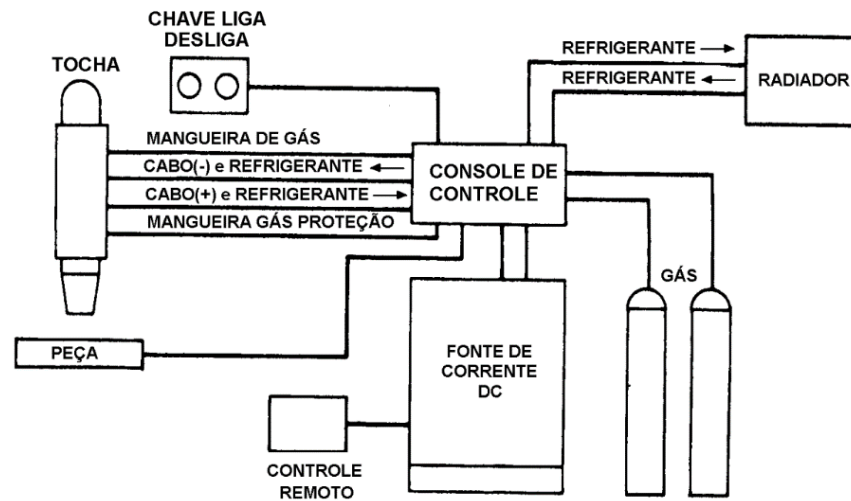
De acordo com Santos e Oliveira (2021, p. 18), "a soldagem a arco de plasma é um processo que utiliza um arco elétrico para fundir o material de trabalho, em que o arco é formado entre um eletrodo de tungstênio não consumível e a peça de trabalho. O arco é envolto por um gás inerte, geralmente argônio, que cria um plasma de alta temperatura capaz de fundir o metal. O uso do plasma tem a vantagem de concentrar a energia do arco, permitindo que sejam obtidas altas taxas de deposição e maior eficiência energética do processo".

3.8.2 EQUIPAMENTOS

Como constata a norma ABNT NBR 14038:2019, a soldagem a arco de plasma é um processo de soldagem que utiliza um arco elétrico entre um eletrodo de tungstênio e a peça a ser soldada, onde o arco é protegido por um gás de plasma ionizado. O processo de soldagem a arco de plasma pode ser utilizado com diferentes tipos de gases de plasma, incluindo argônio, hélio, hidrogênio e nitrogênio. A corrente elétrica é controlada pelo equipamento de soldagem, que geralmente inclui uma fonte de energia de soldagem, um gerador de plasma e uma tocha de plasma.

Segundo Bracarense (2000), destaca em seu artigo sobre soldagem a plasma - PWA, realizada na Universidade Federal de Minas Gerais, “Um sistema manual de soldagem a arco com plasma consiste numa tocha, um dispositivo de controle, fonte de potência, alimentação de gás de orifício, de gás de proteção, fonte de refrigeração da tocha e outros acessórios tais como, uma chave “on-off”, medidores de fluxo de gás, e um controle de corrente a distância.”

Figura 23 – Equipamento para soldagem PAW



Fonte: Soldagem a Plasma – PAW (Queiroz, 2000)

Figura 24 - Exemplo; Soldagem por método Arcos de Plasma



Fonte: MegaPlasma, (2020)

3.8.3 CONSUMÍVEIS

De acordo com Cary et al. (2002, p. 174), "os consumíveis de tocha são componentes críticos no processo de soldagem a arco de plasma e sua seleção é importante para a obtenção de uma solda de qualidade". Os autores explicam que os consumíveis, como o bico, o eletrodo e a capa de proteção, devem ser escolhidos de acordo com o tipo de material a ser soldado e as condições do processo, e que a substituição periódica dessas peças é necessária para manter a qualidade da solda e a vida útil da tocha.

Tabela 10 - parâmetros de utilização de acordo com o material a ser cortado e sua espessura.

Material	Espessura	Corrente	Largura do canl	Velocidade do avanço	Consumo do gás		
	mm	A	mm	mm/min	Ar	H ₂	N ₂
Aço de alta liga	2	50	2,0	1.600	5	-	10
	5	50	2,0	1.000	12	8	-
	5	50	2,0	1.800	12	8	-
	10	100	3,0	800	12	8	-
	20	100	3,0	400	10	8	-
	20	250	4,5	800	15	12	-
	40	250	4,5	300	15	12	-
	60	250	4,5	150	15	12	-
	125	500	9,0	100	30	15	-
Alumínio	5	50	2,0	1.500	12	8	-
	5	100	3,0	2.500	12	8	-
	10	100	3,0	1.200	12	8	-
	20	100	3,0	600	12	8	-
	40	250	4,5	500	15	12	-
	85	250	4,5	150	15	12	-

Fonte: Processos de Soldagem - Conceitos, Equipamentos e Normas de Segurança. Santos (2015, p. 106-107)

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho de TCC envolve a combinação de dois métodos de pesquisa: o qualitativo e o descritivo. O método qualitativo foi utilizado por meio de pesquisas bibliográficas, que consistiram em buscar livros, artigos científicos, teses e outras fontes bibliográficas relevantes para a revisão teórica do tema. Essas pesquisas forneceram embasamento teórico e conceitual sobre a soldagem, incluindo suas técnicas, processos, aplicações e demais aspectos relacionados.

Além disso, foi empregado o método descritivo por meio da aplicação de um questionário. Esse questionário foi elaborado de forma estruturada, contendo perguntas pertinentes à pesquisa, e foi aplicado nas oficinas de soldagem localizadas em Pau dos Ferros-RN. Essa etapa permitiu coletar dados diretos dos profissionais de soldagem, obtendo informações sobre suas práticas, conhecimentos, desafios enfrentados e opiniões sobre o assunto.

No que diz respeito à organização da coleta de dados, as pesquisas bibliográficas seguiram critérios de busca previamente estabelecidos, como a relevância do conteúdo, atualidade, credibilidade das fontes e correspondência com o tema em estudo. Os materiais selecionados foram coletados e revisados, resumindo-se os principais pontos e conceitos relevantes.

Quanto ao questionário, os objetivos da pesquisa foram claramente definidos, estabelecendo-se quais informações e insights seriam buscados. O questionário foi elaborado de forma não estruturada, considerando-se também a possibilidade de respostas abertas para obter outras percepções qualitativas adicionais. A aplicação do questionário foi realizada nas oficinas de soldagem em Pau dos Ferros-RN, de forma presencial, no dia 05/05/2023, seguindo as normas éticas e obtendo o consentimento informado dos participantes. As respostas obtidas foram registradas de forma sistemática, garantindo a confidencialidade dos participantes.

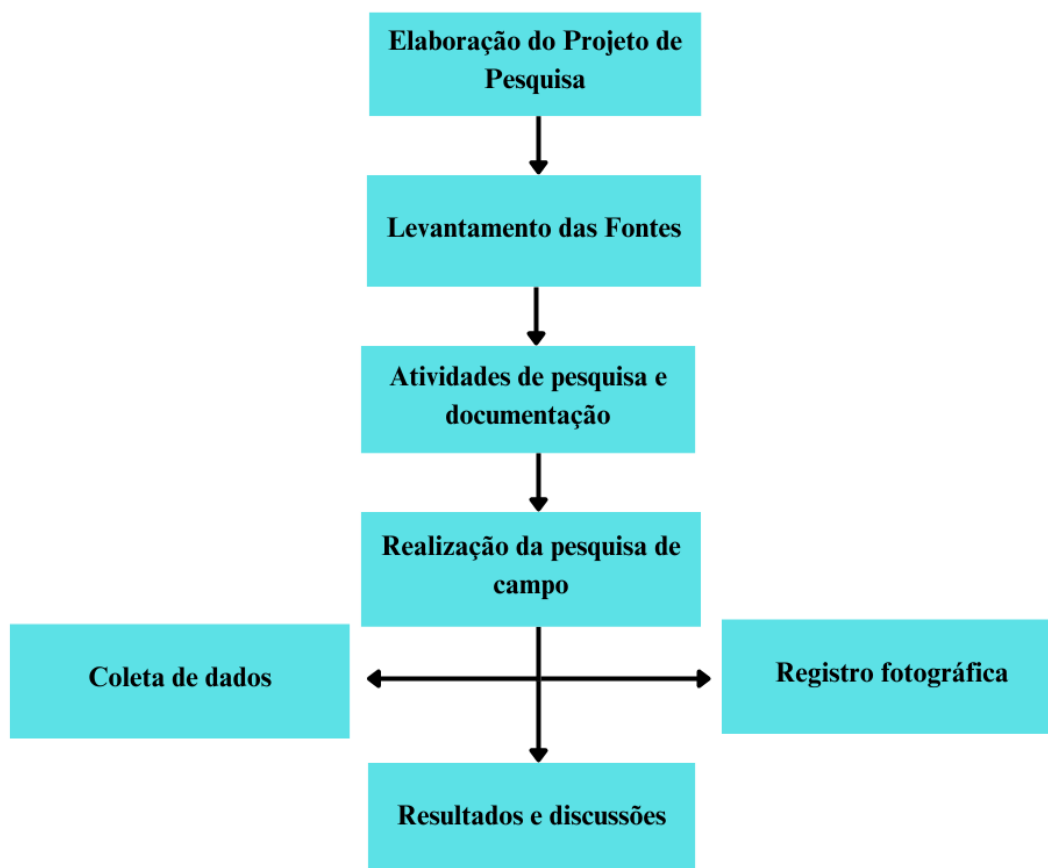
Para a análise dos dados, os materiais coletados nas pesquisas bibliográficas foram organizados em categorias temáticas relevantes para a pesquisa. Foi realizada uma síntese das principais ideias, conceitos e teorias encontradas nos materiais, seguida de uma interpretação crítica e reflexiva.

Em suma, a metodologia utilizada neste TCC combinou a pesquisa bibliográfica, por meio da revisão teórica do tema, com a pesquisa descritiva, por meio da aplicação de um questionário nas oficinas de soldagem em Pau dos Ferros-RN. A coleta de dados foi organizada de forma adequada, os dados foram analisados de maneira criteriosa e os resultados foram interpretados de forma crítica. Essa abordagem metodológica proporcionou uma compreensão aprofundada do tema em estudo e contribuiu para a produção de conhecimento na área da soldagem.

Este estudo tem objetivos com os quais se conclui que é de fato um estudo descritivo, uma vez que trata de um assunto de certa forma bastante conhecido, e propõe, a posteriori, uma nova visão, mais técnica e fundamentada cientificamente sobre o assunto estudado nesse trabalho.

O fluxograma utilizado neste TCC tem como objetivo mostrar de forma clara as etapas de realização do próprio trabalho. Inserido na metodologia, o fluxograma ilustra a sequência de atividades, desde a definição do tema e dos objetivos, passando pela revisão bibliográfica, coleta e análise de dados, até a elaboração das conclusões e recomendações. Ele permite ao pesquisador visualizar de maneira estruturada as etapas necessárias para a conclusão bem-sucedida do TCC, facilitando o planejamento, acompanhamento e avaliação do progresso da pesquisa.

Figura 25 - Fluxograma 1: Processos para a realização deste TCC



Fonte: Elaboração própria, 2023.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Questionario realizado com profissionais da solda no municipio de Pau dos Ferros-RN, com o intuito de obter mais informações sobre como acontece o processo da solda em cada oficina abordada e suas dificuldades, para que se possa entender de forma empirica quais os metodos de solda oferecidos na cidade.

A pesquisa foi realizada em 6 oficinas de solda para coletar os dados, foram realizadas visitas presenciais às oficinas, onde foram aplicados questionários aos responsáveis para obter informações sobre os métodos de solda utilizados e as dificuldades encontradas em cada oficina. Todas oficinas situadas na cidade de Pau dos Ferros-RN obteve-se os seguintes resultados:

5.1 MÉTODOS DE SOLDA ENCONTRADOS NO MERCADO DE PAU DOS FERROS-RN

O mercado de soldagem em Pau dos Ferros, no Rio Grande do Norte, é dominado pelos métodos mais tradicionais, como a soldagem por eletrodo revestido, MIG/MAG e TIG. Embora esses métodos sejam amplamente utilizados e eficazes em muitas aplicações, a falta de diversidade pode limitar as soluções oferecidas pelas empresas do setor.

- **Método TIG**

Figura 26- Tocha TIG



Fonte: Autor, (2023)

Figura 27 - Gás de proteção



Fonte: Autor, (2023)

Figura 28 - Fonte de energia TIG



Fonte: Autor, (2023)

- **Metodo Eletrodo revestido**

Figura 29 - Equipamentos para Eletrodo Revestido



Fonte: Autor, (2023)

- **Metodo MIG/MAG**

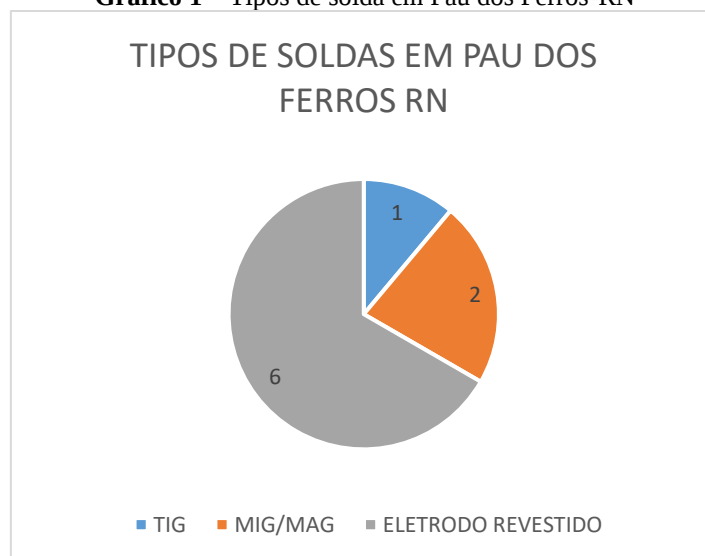
Figura 30 - Equipamentos para MIG/MAG



Fonte: Autor, (2023)

Os resultados obtidos indicaram que o método mais utilizado pelas oficinas mecânicas da cidade de Pau dos Ferros-RN, é a solda por eletrodo revestido representando 67%, presente em 6 das 6 oficinas abordadas na pesquisa compondo, o método de solda MIG/MAG foi oferecido por 2 oficinas, o que representa 22%, e apenas 1 oficina utilizava o método de solda TIG, representando 11%, como mostra o gráfico a seguir:

Gráfico 1 – Tipos de solda em Pau dos Ferros-RN



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Além disso, as principais dificuldades encontradas pelas oficinas em relação ao processo de soldagem foram a falta de qualificação profissional dos soldadores, a dificuldade em encontrar materiais de qualidade para a soldagem e em algumas das oficinas a dificuldade da demanda de serviços.

Neste trabalho também foram abordados outros métodos de solda que não estão presentes no mercado de solda no município de Pau dos Ferros-RN, como o método do arame tubular, oxigás e arcos de plasma.

Uma das principais razões para essa falta de diversidade é a falta de investimentos em novas tecnologias e métodos de soldagem. Muitas empresas na região se concentram em fornecer serviços de soldagem básicos, como a fabricação de estruturas metálicas, reparos e manutenções em equipamentos industriais.

No entanto, com o avanço tecnológico e a crescente demanda por soluções mais personalizadas e de alta qualidade, as empresas de soldagem em Pau dos Ferros-RN, precisam se adaptar para acompanhar o ritmo do mercado. Novos métodos e tecnologias de soldagem, como a soldagem por arco de plasma e a soldagem por oxigás, podem oferecer benefícios significativos em termos de eficiência, qualidade e custo.

5.2 CONSUMÍVEIS

Segundo Villani (2016), existem diversos tipos de consumíveis de acordo com cada método de solda abordado, podendo variar entre eletrodos, gases ou materiais de adição. Tendo em vista que o mercado de solda de Pau dos Ferros-RN apresenta apenas 3 métodos de solda, os consumíveis utilizados nas oficinas são limitados a esses tipos de solda.

- **Eletrodos**

Figura 31 - Eletrodo E308-16



Fonte: AWS

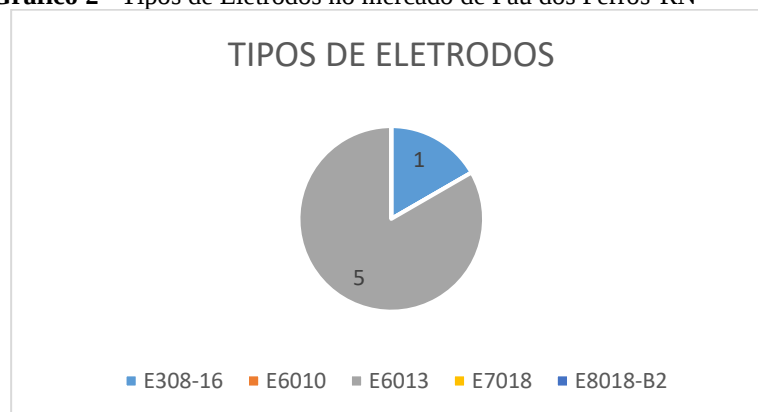
Figura 32 - Eletrodo E6010



Fonte: ESAB

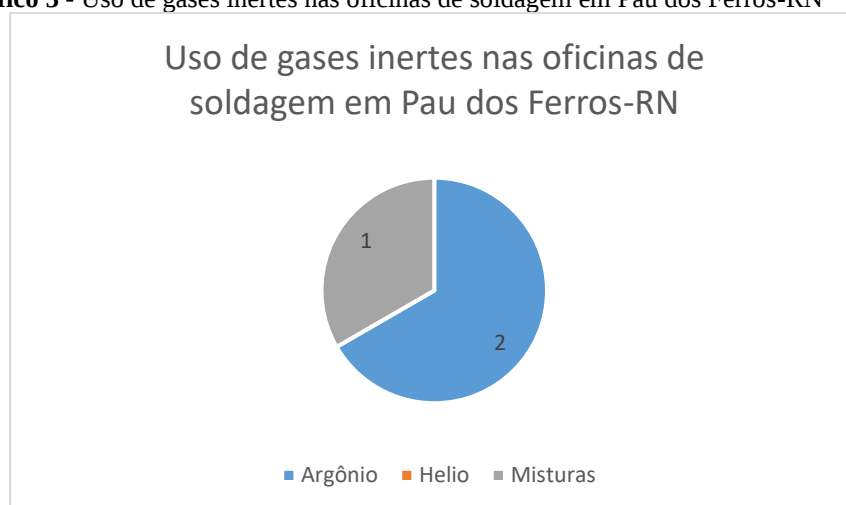
Figura 33 - Eletrodo E6013**Fonte:** ESAB**Figura 34 - Eletrodo E7018****Fonte:** ESAB**Figura 35 - Eletrodo E8018-B2****Fonte:** ESAB

Os resultados obtidos indicaram que para o método eletrodo revestido, o consumível mais utilizado é o eletrodo E6013 representando 83%, estando presente em 5 das 6 oficinas abordadas na pesquisa, e também o eletrodo E308-16 que representa 17%, estando presente em apenas 1 oficina, como mostra o gráfico a seguir:

Gráfico 2 - Tipos de Eletrodos no mercado de Pau dos Ferros-RN**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

De acordo com informações coletadas sobre as oficinas de soldagem localizadas no município de Pau dos Ferros-RN, constatou-se que a oficina que utiliza o método de soldagem TIG, utiliza apenas o gás argônio no processo de soldagem. Já entre as duas oficinas que trabalham com o método MIG/MAG, uma delas utiliza argônio puro, enquanto a outra faz uso de uma mistura de argônio e dióxido de carbono (CO₂). O que mostra que o gás argônio representa 67% dos gases consumidos, e as misturas com CO₂ representam 33%.

Gráfico 3 - Uso de gases inertes nas oficinas de soldagem em Pau dos Ferros-RN



Fonte: Elaboração própria, 2023.

De acordo com os dados obtidos, a maioria das oficinas de soldagem situadas em Pau dos Ferros-RN que utilizam gases no seu método de soldagem, adquirem o gás inerte diretamente na própria cidade. Isso traz algumas vantagens significativas para os profissionais que trabalham com soldagem.

Uma das principais vantagens é a facilidade de acesso ao gás inerte, já que a cidade oferece fornecedores locais que vendem o produto. Isso significa que os profissionais não precisam se deslocar para outras cidades para adquirir o gás, o que pode gerar economia de tempo e dinheiro.

Outra vantagem é que, em caso de necessidade de reposição urgente do gás, a aquisição local pode garantir a rápida reposição do produto, evitando atrasos na produção e cumprimento de prazos.

5.3 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

De acordo com os resultados obtidos a partir da pesquisa realizada em campo com os profissionais da solda, é possível afirmar que algumas oficinas oferecem diversos tipos de serviços para o mercado, serviços esses que variam desde a manutenção, reparos e fabricação de peças de metal.

Segundo Santos (2015), Os métodos de soldagem são amplamente utilizados em diversos setores da indústria e da construção, devido à sua capacidade de unir peças de forma eficiente e durável. Para os métodos de solda encontrados no mercado de Pau dos Ferros-RN existem diversas aplicações como falado anteriormente. Entre as principais aplicações temos:

- Eletrodo Revestido:
 - Soldagem de estruturas metálicas em construções civis, como pontes, edifícios e viadutos.
 - Reparos em peças de máquinas agrícolas e equipamentos de construção.
 - Fabricação de tubulações industriais e dutos de ventilação.
- MIG/MAG:
 - Fabricação de peças automotivas, como carrocerias, chassis e escapamentos.
 - Montagem de estruturas metálicas em fábricas e centros de distribuição.
 - Reparos em equipamentos e máquinas industriais, como tanques de armazenamento e silos.

- TIG:
 - Soldagem de componentes de aeronaves, como asas, fuselagens e motores.
 - Fabricação de joias e peças de alta precisão em metais nobres.
 - Reparos em peças de máquinas de precisão, como instrumentos cirúrgicos e equipamentos eletrônicos.

Observando os resultados, é possível perceber que é comum vermos oficinas de soldagem que trabalham apenas com aplicações básicas, como a fabricação de estruturas metálicas e reparos e manutenções em equipamentos e máquinas industriais. Isso ocorre principalmente em regiões onde a indústria ainda está em desenvolvimento, como é o caso do município de Pau dos Ferros, no Rio Grande do Norte.

Nessas regiões, muitas vezes não há um mercado forte o suficiente para incentivar o desenvolvimento de novas técnicas e aplicações de soldagem, o que leva muitas oficinas a se limitarem a essas atividades mais básicas. No entanto, isso pode resultar em uma série de oportunidades desperdiçadas para esses negócios.

A exemplo disso, em uma das oficinas abordadas na pesquisa, o profissional da solda relatou que possuía os equipamentos necessários para realizar soldas pelo método MIG/MAG, porém não utiliza, pois, os consumíveis são caros e não existe demanda no mercado de Pau dos Ferros-RN.

A soldagem por eletrodo revestido pode ser utilizada em uma ampla variedade de aplicações, desde a fabricação de peças de automóveis até a construção de estruturas de prédios e pontes. No entanto, muitas oficinas limitam seu uso apenas a reparos e manutenções básicas.

Da mesma forma, a soldagem MIG/MAG e TIG têm aplicações em muitos outros setores além da fabricação de estruturas metálicas e reparos em equipamentos industriais. Esses métodos podem ser utilizados, por exemplo, na fabricação de peças para aeronaves, na produção de equipamentos eletrônicos e na fabricação de joias e peças de alta precisão.

Se as oficinas de soldagem em Pau dos Ferros-RN explorassem essas aplicações mais diversas, poderiam expandir seus serviços e aumentar sua competitividade no mercado local e regional. Além disso, poderiam oferecer soluções mais personalizadas e de alta qualidade para seus clientes, o que poderia resultar em um aumento de demanda e receita.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada permitiu verificar que o processo de soldagem em oficinas mecânicas no município de Pau dos Ferros-RN é predominantemente realizado por meio do método de solda por eletrodo revestido, sendo que poucas oficinas oferecem outros métodos de soldagem. As dificuldades encontradas pelas oficinas apontam para a necessidade de investimento em qualificação profissional e em fornecimento de matéria-prima mais acessível, de forma a garantir a qualidade e a segurança dos processos de soldagem realizados. Esses resultados podem contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a melhoria do processo de soldagem em oficinas mecânicas na cidade de Pau dos Ferros-RN.

A pesquisa bibliográfica complementou esses resultados, fornecendo informações sobre os diferentes métodos de solda, como a solda por eletrodo revestido, MIG/MAG, TIG, arame tubular, Oxigás, arco submerso e arco de plasma. Foi possível verificar que cada método possui suas características distintas, sendo adequado para diferentes materiais, espessuras e aplicações. A escolha do método adequado deve considerar fatores como a qualidade da solda desejada, a velocidade de produção e o custo do processo.

Desse modo, pode-se afirmar que a pesquisa apontou como resposta que o mercado de solda no Município de Pau dos Ferros-RN ainda precisa ser maior diversificado. Precisa compreender outros tipos de solda para que possa diversificar as aplicações oferecidas na região, possibilitando um avanço social e econômico ao Município.

É possível afirmar também que há uma falta imensa de profissionais qualificados no ramo, tendo em vista que em apenas 1 das 6 oficinas abordadas o profissional possuía curso técnico na área. Também foi notório que as oficinas estão oferecendo apenas aplicações básicas de soldagem. Os equipamentos que eles possuem podem oferecer uma gama muito maior de aplicações, o que por sua vez faz com que o equipamento não esteja sendo aproveitado ao máximo. O que seria algo ideal para que aumentasse a quantidade de clientes e consequentemente aumentasse a sua renda e os serviços oferecidos na região.

E como sugestão para um próximo trabalho relacionado ao tema, sugiro uma pesquisa em relação a qualificação dos profissionais da solda e o uso de EPI's durante o processo.

Com isso, é possível concluir que a pesquisa realizada permitiu obter informações importantes sobre o processo de soldagem em oficinas mecânicas, destacando a necessidade de investimentos em qualificação profissional e em equipamentos adequados. Além disso, a pesquisa bibliográfica permitiu aprofundar o conhecimento sobre os diferentes métodos de solda, evidenciando sua ampla aplicação e importância na indústria. Essas informações são relevantes não só para as oficinas mecânicas em Pau dos Ferros-RN, mas para outras cidades do país, e podem contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a melhoria do processo de soldagem e para a segurança do trabalho.

7 REFERÊNCIAS

AMERICAN WELDING SOCIETY. Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes. 2013. Disponível em: <https://www.aws.org/standards/page/safety-in-welding-cutting-and-allied-processes>. Acesso em: 22 abr. 2023.

ALMEIDA, L. P. et al. Caracterização mecânica e microestrutural de juntas soldadas de aço estrutural ASTM A36 por processo de arco submerso. Soldagem & Inspeção, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 14-21, 2021.

ALMEIDA, R. S.; COSTA, J. C. S.; SANTOS, M. R. Tipos de soldas em tubulações industriais. In: Anais do 5º Congresso Brasileiro de Soldagem, São Paulo, 2019. p. 123-130.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 14341:2012 - Consumíveis para soldagem a arco submerso - Arames, fios sólidos e fluxos granulares para aço de baixo carbono e de alta resistência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 14171:2017 - Fluxos granulares para soldagem a arco submerso - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13241: Eletrodos revestidos para soldagem manual a arco elétrico de aço-carbono e baixa liga - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14038:2019 - Processos de soldagem - Terminologia. Rio de Janeiro, 2019.

BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Processo de Soldagem com Chama Oxigás - OFW**. 2000. 1 f. TCC (Graduação) - Curso de Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Tecnológico, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://asmtreinamentos.com.br/downloads/soldador/arquivo27.pdf>. Acesso em: 17 maio 2022.

CARY, Howard B.; HELZER, Scott C.; WALKER, Kevin E. Welding technology fundamentals. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.

CÉSAR, Paulo. **Entenda o que é soldagem a plasma**. 2021. 1 f. TCC (Graduação) - Curso de Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Tecnológico, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Aparecida de Goiânia, 2022. Disponível em: <https://alusolda.com.br/entenda-o-que-e-soldagem-a-plasma/>. Acesso em: 16 maio 2022.

CÉSAR, Paulo. **Solda TIG ou MIG: qual é melhor para cada caso**. 2020. 1 f. TCC (Graduação) - Curso de Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Tecnológico,

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Aparecida de Goiânia, 2022. Disponível em: <https://alusolda.com.br/solda-tig-ou-mig-qual-a-melhor/#:~:text=MIG%3A%20envolve%20alimenta%C3%A7%C3%A3o%20de%20arame,metais%20que%20voc%C3%AA%20quer%20soldar..> Acesso em: 10 abr. 2022.

COSTA, César Eduardo da. Tecnologia da Soldagem. 7ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2014.

CÂMARA, R. R.; RODRIGUES, J. C. S. Desenvolvimento de um dispositivo didático para soldagem TIG de alumínio. In: 70º Congresso Anual da ABM, 2017, São Paulo. Anais do 70º Congresso Anual da ABM. São Paulo: ABM, 2017.

COPYRIGHT, Mecânica Industrial -. **O que é soldagem por feixe de elétrons.** 2022. 1 f. TCC (Graduação) - Curso de Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Tecnológico, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, São Paulo, 2022. Disponível em: [https://www.mecanicaindustrial.com.br/380-o-que-e-soldagem-por-feixe-de-eletrons/#:~:text=A%20soldagem%20por%20feixe%20de%20el%C3%A9trons%20\(citado%20em%20muitas%20literaturas,unir%20duas%20pe%C3%A7as%20de%20metal..](https://www.mecanicaindustrial.com.br/380-o-que-e-soldagem-por-feixe-de-eletrons/#:~:text=A%20soldagem%20por%20feixe%20de%20el%C3%A9trons%20(citado%20em%20muitas%20literaturas,unir%20duas%20pe%C3%A7as%20de%20metal..) Acesso em: 13 maio 2022.

DINIZ, R. B.; SOUZA, A. A. de. Introdução à soldagem. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2017.

GIMENES, Luiz. **Solda Plasma.** 2013. 1 v. TCC (Graduação) - Curso de Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Tecnológico, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rsrRBOMyTBg>. Acesso em: 20 de maio 2022.

GONÇALVES, José Rubens. Processos de Fabricação - Soldagem. São Paulo: Érica, 2017.

JOAQUIM, Roberto. Processo de soldagem por arame tubular. O Portal Brasileiro da Soldagem, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 35-42, 2017. Disponível em: <https://www.soldagem.org.br/revista/index.php/soldagem/article/view/10>. Acesso em: 25 abr. 2023.

LTDA, Esab Industria e Comercio. **Processo de Soldagem: Eletrodo Revestido (MMA/SMAW).** 2021. 1 f. TCC (Graduação) - Curso de Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Tecnológico, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Contagem/Mg, 2022. Disponível em: https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_eletrodo_revestido_mma_smaw.cfm. Acesso em: 3 abr. 2022.

LUZ, Gelson. **O que é soldagem FCAW (com arame tubular)?** 2018. 1 f. TCC (Graduação) - Curso de Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Tecnológico, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.soldagem.gelsonluz.com/2018/09/o-que-e-soldagem-fcaw-com-arametubular.html>. Acesso em: 12 maio 2022.

LINNERT, George E. Soldagem - Processos e Metalurgia. São Paulo: Blucher,

1998.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Norma Regulamentadora 34: Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção e reparação naval. 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/assuntos/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-34.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2023.

ROSENFELD, A.; STERIAN, P. Fundamentos da soldagem. In: ROSENFELD, A.; STERIAN, P. Soldagem: Processos e Metalurgia. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. p. 61-108.

RODRIGUES, A. C.; MELO, R. P. Estudo dos parâmetros de soldagem TIG na junta AA 5083/AA 5083. In: 4º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto, 2018, São Paulo. Anais do 4º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto. São Paulo: CBGDP, 2018.

SCHWEDERSKY, Mateus Barancelli et al. Soldagem TIG de elevada produtividade: influência dos gases de proteção na velocidade limite para formação de defeitos. *Soldagem & Inspeção*, v. 16, p. 333-340, 2011.

SANTOS, J. M. A.; OLIVEIRA, L. A.; RIBEIRO, F. A. Tipos de soldas utilizados em estruturas metálicas. *Revista de Engenharia Civil*, v. 10, n. 2, p. 45-54, 2017.

SILVA, J. A.; SANTOS, J. F. Processo de soldagem a arco submerso em juntas de aços de alta resistência. In: Congresso Nacional de Soldagem, 23., 2017, Belo Horizonte. Anais do XXIII Congresso Nacional de Soldagem, Belo Horizonte: ABENDI, 2017. p. 130-139.

SILVA, M. C. A. Tipos de soldas. São Paulo: Editora Atlas, 2018.

SILVEIRA, P. F. Estudo comparativo entre diferentes tipos de soldas em aços inoxidáveis. 2018. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

PINTO, L. S. et al. Desenvolvimento de um equipamento de soldagem a arco submerso controlado por microcontrolador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 32., 2018, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCar, 2018. p. 133-140.

VASUDEVAN, V. K. et al. The Fundamentals of Plasma Arc Welding and its Applications in Industry. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 1-11, 2020. Disponível em: <http://www.ijaret.org/2020/volume11issue1/IJARET-2020-01-11-1.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2023.

APÊNCIE A – QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 1

Tabela 11- Questionário proposto a Oficina 1

PERGUNTAS	RESPOSTAS
A quanto tempo esta no mercado da solda?	“8 anos” (sic)
Possui algum curso tecnico na área?	“Possuem a experiência prática, porém não o curso técnico”. (sic)
Qual o Faturamento anual? (pergunta optativa, não obrigatória)	“20 a 30mil anual com solda”. (sic)
Quais são os serviços oferecidos em relação a solda?	“Fabricação de peças de aço inoxidável”. (sic)
Quais metodos de solda são utilizados?	“Tig e Eletrodo Revestido”.
Quais materiais são utilizados durante o processo da solda?	“Gás argônio e eletrodo de aço inoxidável” (sic). O eletrodo referido é o E308-16
Quais materiais realiza a solda?	“Apenas aço inoxidável”. (sic)
Qual a maior dificuldade na pratica da solda?	“Matéria prima, sendo necessário vim de fora”. (sic)
Ja teve alguma procura sua de investimento por Bancos e afins?	“Nunca procurou investimento”. (sic)

Fonte: Elaboração própria, 2023

APÊNCIE B – QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 2

Tabela 12 - Questionário proposto a Oficina 2

PERGUNTAS	RESPOSTAS
A quanto tempo esta no mercado da solda?	“20 a 25 anos”. (sic)
Possui algum curso tecnico na área?	“Não, aprendeu na prática”. (sic)
Qual o Faturamento anual? (pergunta optativa, não obrigatória)	“Não sei”. (sic)
Quais são os serviços oferecidos em relação a solda?	“Tudo, incluindo fabricação, reparo e manutenção”. (sic)
Quais metodos de solda são utilizados?	“Eletrodo revestido”. (sic)
Quais materiais são utilizados durante o processo da solda?	“Todos os eletrodos, dependendo do serviço”. (sic)
Quais materiais realiza a solda?	“Maioria dos aços, menos alumínio”. (sic)
Qual a maior dificuldade na pratica da solda?	“Matéria prima”. (sic)
Ja teve alguma procura sua de investimento por Bancos e afins?	“sim, mas ainda não consegui.”. (sic)

Fonte: Elaboração própria, 2023

APÊNCIE C – QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 3

Tabela 13 - Questionário proposto a Oficina 3

PERGUNTAS	RESPOSTAS
A quanto tempo esta no mercado da solda?	“30 anos”. (sic)
Possui algum curso tecnico na área?	“Apenas prática.”. (sic)
Qual o Faturamento anual? (pergunta optativa, não obrigatória)	“Não sei”. (sic)
Quais são os serviços oferecidos em relação a solda?	“Todos os serviços, incluindo manutenção, fabricação e reparo”. (sic)
Quais metodos de solda são utilizados?	“Eletrodo revestido e mig/mag.”. (sic)
Quais materiais são utilizados durante o processo da solda?	“Eleteodo comum, e o gás argônio”. (sic). O eletrodo referido é o E6013 de 3,25 mm.
Quais materiais realiza a solda?	“Ferro e aço”. (sic)
Qual a maior dificuldade na pratica da solda?	“Falta de serviço e matéria prima”. (sic)
Ja teve alguma procura sua de investimento por Bancos e afins?	“Não”. (sic)

Fonte: Elaboração própria, 2023

APÊNCIE D – QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 4

Tabela 14 - Questionário proposto a Oficina 4

PERGUNTAS	RESPOSTAS
A quanto tempo esta no mercado da solda?	“28 anos”. (sic)
Possui algum curso tecnico na área?	“Não, apenas na prática”. (sic)
Qual o Faturamento anual? (pergunta optativa, não obrigatoria)	“12mil”. (sic)
Quais são os serviços oferecidos em relação a solda?	“Fabricao de peças sob encomenda”. (sic)
Quais metodos de solda são utilizados?	“Eletrodo revestido”. (sic)
Quais materiais são utilizados durante o processo da solda?	“Eletrodo sigma”. (sic). O eletrodo referido é o E6013 de 3,25mm.
Quais materiais realiza a solda?	“Metalon galvanizado”. (sic)
Qual a maior dificuldade na pratica da solda?	“Clientela, pouco serviço”. (sic)
Ja teve alguma procura sua de investimento por Bancos e afins?	“Não”. (sic)

Fonte: Elaboração própria, 2023

APÊNCIE E – QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 5

Tabela 15 - Questionário proposto a Oficina 5

PERGUNTAS	RESPOSTAS
A quanto tempo esta no mercado da solda?	“10 anos”. (sic)
Possui algum curso tecnico na área?	“Não, só na pratica”. (sic)
Qual o Faturamento anual? (pergunta optativa, não obrigatoria)	“19 a 20mil”. (sic)
Quais são os serviços oferecidos em relação a solda?	“Fabricação, manutenção.”. (sic)
Quais metodos de solda são utilizados?	“Eletrodo revestido”. (sic)
Quais materiais são utilizados durante o processo da solda?	“Eletrodo 3.25 e 2.5” (sic). O eletrodo referido é o E6013 de 3,25mm.
Quais materiais realiza a solda?	“Metalon galvanizado”. (SIC)
Qual a maior dificuldade na pratica da solda?	“Parte econômica e preços de matéria prima”. (sic)
Ja teve alguma procura sua de investimento por Bancos e afins?	“Não, mas estou pensando”. (sic)

Fonte: Elaboração própria, 2023

APÊNCIE F – QUESTIONÁRIO PROPOSTO A OFICINA 6

Tabela 16 - Questionário proposto a Oficina 6

PERGUNTAS	RESPOSTAS
A quanto tempo esta no mercado da solda?	“12 anos”. (sic)
Possui algum curso tecnico na área?	“Sim”. (sic)
Qual o Faturamento anual? (pergunta optativa, não obrigatoria)	
Quais são os serviços oferecidos em relação a solda?	“Serviço de fabricação e manutenção de estruturas metálicas”. (sic)
Quais metodos de solda são utilizados?	“Eletrodo revestido e MIG/MAG”. (sic)
Quais materiais são utilizados durante o processo da solda?	“Aço e ferro”. (sic)
Quais materiais realiza a solda?	“Eletrodo 3.25 e 2.5” (sic). O eletrodo referido é o E6013 de 3,25mm.
Qual a maior dificuldade na pratica da solda?	“Não vejo dificuldades”. (sic)
Ja teve alguma procura sua de investimento por Bancos e afins?	“Não”. (sic)

Fonte: Elaboração própria, 2023