

SOLDADOR – MIG/MAG



SISTEMA FAEP



SENAR - ADMINISTRAÇÃO REGIONAL DO ESTADO DO PARANÁ

CONSELHO ADMINISTRATIVO

Presidente: Ágide Meneguette

Membros Titulares

Rosanne Curi Zarattini
Nelson Costa
Darci Piana
Alexandre Leal dos Santos

Membros Suplentes

Livaldo Gemin
Robson Mafioletti
Ari Faria Bittencourt
Ivone Francisca de Souza

CONSELHO FISCAL

Membros Titulares

Sebastião Olímpio Santaroza
Paulo José Buso Júnior
Carlos Alberto Gabiatto

Membros Suplentes

Ana Thereza da Costa Ribeiro
Aristeu Sakamoto
Aparecido Callegari

Superintendente

Pedro Carlos Carmona Gallego

EROS NAKAZORA RIBEIRO

SOLDADOR – MIG/MAG

**CURITIBA
SENAR-AR/PR
2025**

Depósito legal na CENAGRI, conforme Portaria Interministerial n.º 164, datada de 22 de julho de 1994, junto à Biblioteca Nacional e ao SENAR-AR/PR.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, por qualquer meio, sem a autorização do editor.

Autor: Eros Nakazora Ribeiro

Organização: Jéssica Welinski de Oliveira D'Angelo e Guilherme Stalchmidt Schulze

Coordenação pedagógica: Marcia Pereira Salles e Leandro Aparecido do Prado

Coordenação gráfica: Carlos Manoel Machado Guimarães Filho

Diagramação: Sincronia Design Gráfico Ltda.

Normalização e revisão final: CEDITEC - SENAR-AR/PR

Catálogo no Centro de Editoração, Documentação e
Informação Técnica do SENAR-AR/PR

Ribeiro, Eros Nakazora
R484 Soldador - MIG-MAG [livro eletrônico] /
Eros Nakazora Ribeiro. — Curitiba : SENAR AR/PR,
2025.
3379 KB; PDF.

ISBN 978-85-7565-233-6

1. Solda. 2. Soldagem. 3. Soldador. 4. Solda -
Equipamentos e ferramentas. 5. Máquinas de soldagem.
6. Segurança do trabalho. 7. Máquinas - Manutenção e
reparos. I. Título.

CDD: 631.3

Bibliotecária responsável: Luzia Glinski Kintopp - CRB/9-1535

IMPRESSO NO BRASIL – DISTRIBUIÇÃO GRATUITA



APRESENTAÇÃO

O Sistema FAEP é composto pela Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP), o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural do Paraná (SENAR-PR) e os sindicatos rurais.

O campo de atuação da FAEP é na defesa e representação dos milhares de produtores rurais do Paraná. A entidade busca soluções para as questões relacionadas aos interesses econômicos, sociais e ambientais dos agricultores e pecuaristas paranaenses. Além disso, a FAEP é responsável pela orientação dos sindicatos rurais e representação do setor no âmbito estadual.

O SENAR-PR promove a oferta contínua da qualificação dos produtores rurais nas mais diversas atividades ligadas ao setor rural. Todos os treinamentos de Formação Profissional Rural (FSR) e Promoção Social (PS), nas modalidades presencial e *online*, são gratuitos e com certificado.

SUMÁRIO

1. HISTÓRICO	9
2. SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO COM PROCESSO GMAW MIG/MAG.....	11
2.1 TIPOS DE TRANSFERÊNCIA DE METAL DE ADIÇÃO	14
2.1.1 Por transferência globular	14
2.1.2 Por transferência por <i>spray</i> ou pulverização axial	14
2.1.3 Por transferência por curto-circuito	15
2.1.4 Por transferência por pulsado	16
3. MEDIDAS DE CONTROLE E UTILIZAÇÃO CORRETA DOS EQUIPAMENTOS DE PROTE- ÇÃO INDIVIDUAL (EPI).....	19
3.1 RISCOS ASSOCIADOS AO PROCESSO DE SOLDAGEM	19
3.1.1 Altas temperaturas.....	19
3.1.2 Alta luminosidade.....	20
3.1.3 Fumos e gases.....	20
3.1.4 Eletricidade	20
3.2 RELAÇÃO DE EPI COMPLETO PARA TRABALHOS DE SOLDAGEM.....	22
4. EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS PARA SOLDAGEM	25
4.1 MÁQUINAS DE SOLDAGEM.....	27
5. TÉCNICAS DE SOLDAGEM E ORIENTAÇÕES PARA O TRABALHO	29
5.1 IDENTIFICAÇÃO DO ARAME MIG.....	31
5.2 MONTAGEM DO EQUIPAMENTO DE SOLDA MIG/MAG.....	32
5.3 IDENTIFICAÇÃO DO METAL DE BASE	34
5.4 ATIVIDADES DO PROCESSO DE SOLDAGEM	34
5.5 TÉCNICAS DE SOLDAGEM	36
5.5.1 Posição da tocha	37
5.5.2 Eixo de Inclinação.....	37
6. CARACTERÍSTICAS DE UMA BOA SOLDA E SUA TERMINOLOGIA.....	39
6.1 DEFEITOS, CAUSAS E SOLUÇÕES NAS SOLDAGENS	39
REFERÊNCIAS.....	43

INTRODUÇÃO

A solda é uma técnica de união de materiais que tem suas raízes na Antiguidade, sendo utilizada desde os tempos em que as civilizações começaram a trabalhar com metais. A evolução da soldagem acompanhou o desenvolvimento da metalurgia e da tecnologia, adaptando-se às necessidades de cada época.

No contexto da soldagem MIG/MAG, que se popularizou a partir da metade do século XX, destaca-se a eficiência e versatilidade da técnica. O processo MIG (*Metal Inert Gas*) utiliza um gás inerte para proteger a solda, enquanto o processo MAG (*Metal Active Gas*) emprega gases ativos, como o dióxido de carbono (CO_2), que melhora a penetração do arco e a qualidade da solda.

Para o produtor rural, a soldagem MIG/MAG oferece benefícios significativos em sua rotina diária, proporcionando o eficaz e assertivo reparo nos equipamentos agrícolas, nas construções de estruturas metálicas e na manutenção em implementos. Com essa praticidade, os produtores têm mais autonomia em relação à gestão do tempo, maior produtividade em suas atividades diárias e uma mão de obra qualificada e preparada para assumir competências pontuais com uso das técnicas específicas.

Além disso, o conceito da solda MIG/MAG, aliado a uma prática acessível e estruturada, incentiva o profissional na busca de uma formação contínua, realizando um aprimoramento gradativo de suas habilidades técnicas. Esse material foi elaborado para auxiliar na soldagem MIG/MAG com objetivo de fornecer conhecimentos fundamentais sobre o processo, equipamentos, segurança e melhores práticas, capacitando o produtor rural a utilizar essa técnica com confiança e eficácia.

Com a soldagem MIG/MAG, o produtor rural pode não apenas melhorar a durabilidade de seus equipamentos, mas aumentar sua produtividade, contribuindo para o sucesso e a sustentabilidade de suas atividades agrícolas.

1. HISTÓRICO

O conceito básico de GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) foi introduzido em 1920 e se tornou comercialmente viável após 1948, sendo empregado, inicialmente com um gás de proteção inerte na soldagem do alumínio. Consequentemente, o termo soldagem MIG foi inicialmente aplicado e ainda é uma referência ao processo.

A Segunda Guerra Mundial, ocorrida de 1939 a 1945, foi um dos propulsores do desenvolvimento, em resposta à necessidade de métodos de soldagem mais eficientes para a produção em massa de equipamentos, incluindo aeronaves. A capacidade do método de unir rapidamente componentes de metal leve, como o alumínio, foi fundamental para esse desenvolvimento industrial.

O uso do GMAW na soldagem de alumínio, especialmente em estruturas de aviões, foi crucial devido à necessidade de unir peças de forma rápida e com alta qualidade, sendo utilizado na soldagem de várias partes das aeronaves, incluindo assentos e outras estruturas de alumínio. O processo permitiu maior produção e ajudou a melhorar a resistência e a confiabilidade das soldas, que eram vitais em aplicações militares.

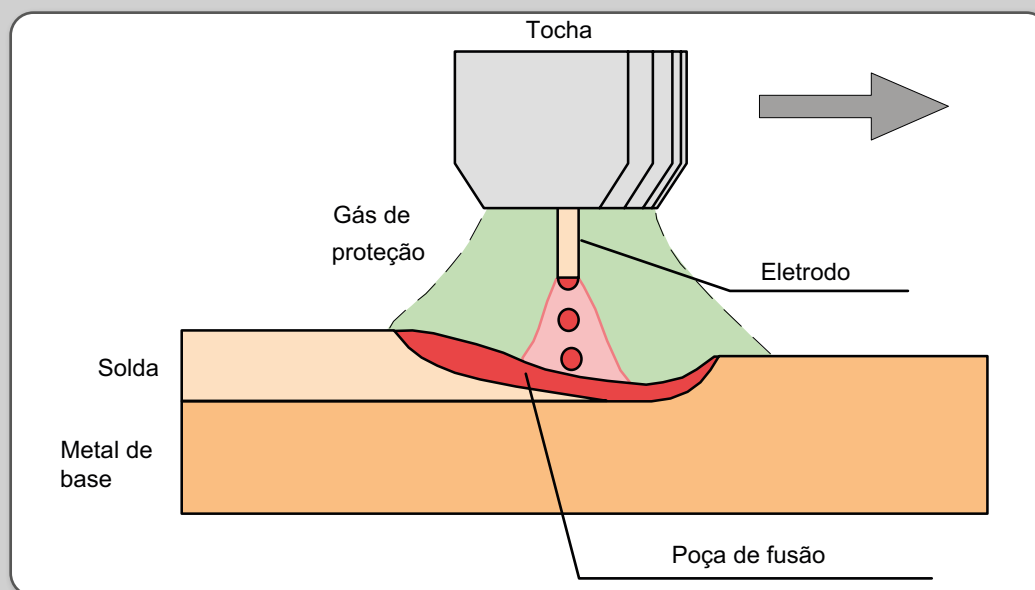
Desenvolvimentos subsequentes acrescentaram atividades com baixas densidades de corrente e correntes contínuas pulsadas, empregadas em uma ampla gama de materiais, e o uso de gases de proteção reativos ou ativos (particularmente o CO₂), além de misturas de gases. Esse desenvolvimento posterior levou à aceitação formal do termo GMAW para o processo, visto que tanto gases inertes quanto reativos são empregados. No entanto, quando se empregam gases reativos é muito comum usar o termo soldagem MAG.

A técnica se tornou padrão na indústria após a guerra, e seu uso se expandiu para diversas áreas, como construção, automotiva e manutenção de equipamentos.

2. SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO COM PROCESSO GMAW MIG/MAG

A soldagem ao arco elétrico com gás de proteção, também conhecida como soldagem MIG/MAG, é constituída por um arco elétrico estabelecido entre a peça e um consumível na forma de arame. O arco funde continuamente o arame à medida que este é alimentado à poça de fusão, sendo o metal de solda protegido da atmosfera pelo fluxo de um gás, ou mistura de gases, inerte(s) ou ativo(s) (Figura 1).

Figura 1 – Região do arco na soldagem GMAW.



Fonte – Adaptado de SENAI FIEMG, 2024.

O processo de soldagem funciona com corrente contínua (CC), normalmente com o arame no polo positivo, essa configuração é conhecida como polaridade reversa. A polaridade direta é raramente utilizada por causa da transferência deficiente do metal fundido do arame de solda para a peça, sendo comumente empregadas correntes de soldagem de 50 A (amperes) até mais que 600 A e tensões de soldagem de 15 V (volts) até 32 V, para ambas as polaridades. Devido à essa alta variação, um arco elétrico autocorrigido e estável será obtido com uso de uma fonte de tensão constante e com um alimentador de arame de velocidade constante.

Melhorias contínuas tornaram o processo MIG/MAG aplicável à soldagem de todos os metais comercialmente importantes, como aço, alumínio, aços inoxidáveis, cobre e vários outros. Além disso, materiais com espessura acima de 0,76 mm podem ser soldados praticamente em todas as posições, sendo simples escolher equipamento para isso nos dias de hoje, como arame, gás de proteção e condições de soldagem capazes de produzir soldas de alta qualidade com baixo custo.

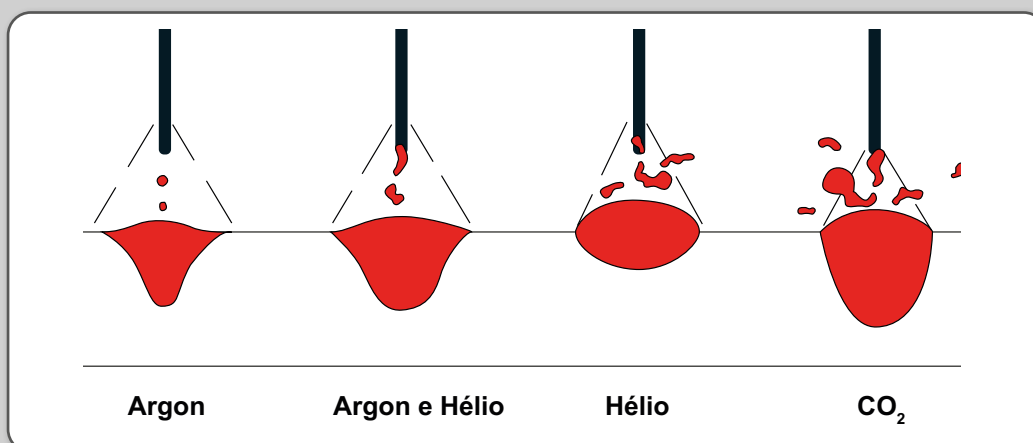
A proteção do arco e da região da poça é feita por um gás, ou mistura de gases, inerte(s) ou capaz(es) de reagir com o material sendo soldado. Os gases mais usados são o argônio (Ar) e o dióxido de carbono (CO_2) e, menos comumente, o hélio (He) e o oxigênio (O_2). Misturas de gases como Ar-He, Ar- CO_2 , Ar- O_2 , Ar- CO_2 - O_2 e outras, em diferentes proporções, também são usadas comercialmente.

Gases ou misturas de proteção completamente inertes têm, em geral, uso restrito para metais e ligas não ferrosas. Aços, particularmente aço carbono e de baixa liga, são soldados com misturas contendo proporções diversas de argônio, oxigênio e dióxido de carbono.

A soldagem nos processos MIG e MAG é influenciada diretamente pelo tipo de gás utilizado, que deve corresponder à transferência de metal desejada. A escolha do gás é fundamental, pois ele afeta a condutividade térmica do arco de soldagem. Gases como hélio, argônio e suas combinações com dióxido de carbono ou oxigênio apresentam diferentes características de transferência elétrica. Por exemplo, o hélio proporciona um arco mais quente e estável, enquanto o argônio é ideal para soldagens em materiais mais finos.

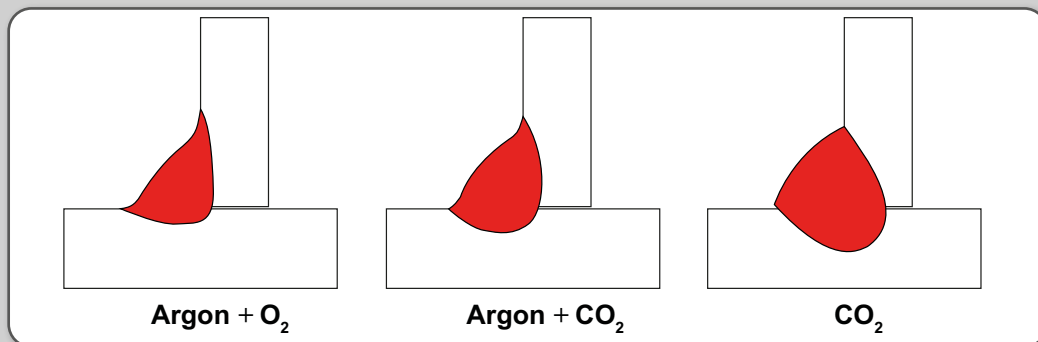
As variações nos tipos de gás podem impactar a penetração e a qualidade da solda, permitindo melhor fusão do metal e uma solda mais homogênea. Portanto, a seleção correta do gás é essencial para o processo de soldagem. As Figuras 2 e 3 apresentam exemplos de tipos de penetração, de acordo com a escolha do gás.

Figura 2 – Tipos de contornos do cordão e da penetração, em função do tipo de gás utilizado.



Fonte – SENAI FIEMG, 2024.

Figura 3 – Efeito da adição de oxigênio ou dióxido de carbono no gás de proteção (argônio).

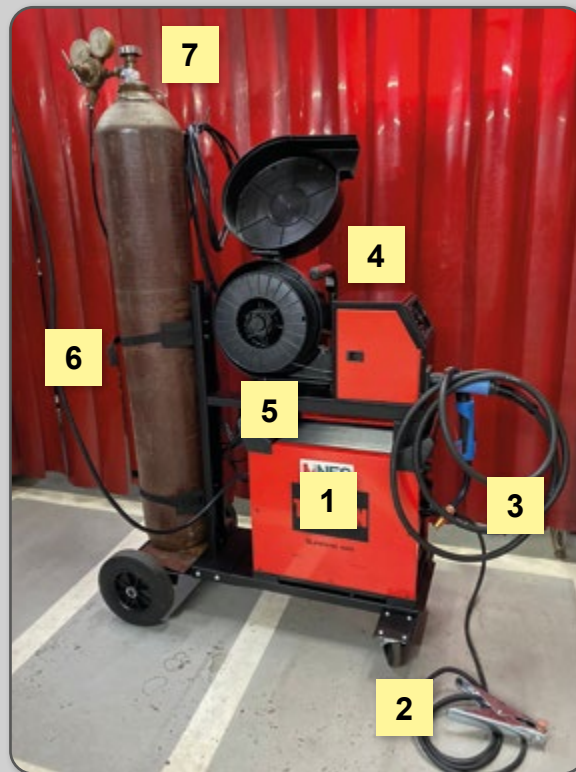


Fonte – Ribeiro, 2024.

Em relação à máquina, o processo é utilizado principalmente no modo semiautomático, embora, mais recentemente, seu uso no modo automático, por meio de robôs industriais tenha crescido muito.

Como observado na Figura 4, seu equipamento básico inclui fonte de energia (1), cabos terra (2), tocha de soldagem (3), alimentador de arame e seu sistema de controle (4), bobina de arame (5), cilindro de gás de proteção (6) com regulador de vazão (7).

Figura 4 – Equipamento de solda e seus constituintes.



Fonte – SENAI FIEMG, 2024.

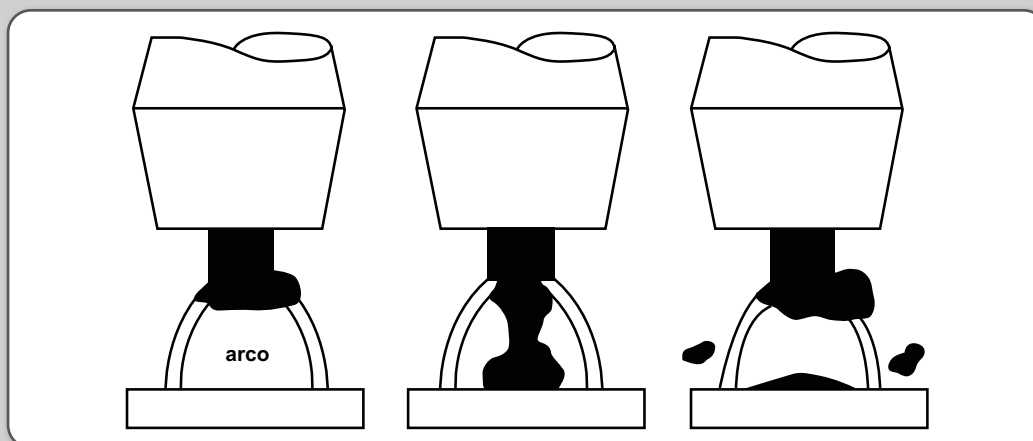
2.1 TIPOS DE TRANSFERÊNCIA DE METAL DE ADIÇÃO

Existem três tipos básicos de transferência de metal de adição, em que cada um impacta a soldagem de formas distintas. Um deles é exclusivo para máquinas pulsadas, característica do processo MIG/MAG, além das transferências globular e *spray*.

2.1.1 Por transferência globular

O metal se transfere da tocha para a peça como glóbulos, cada um destes maior em diâmetro que o arame. Os glóbulos são transferidos para a poça sem muita direção, e o aparecimento de respingos é evidente. Esse tipo de transferência se caracteriza pela formação de gotas que se desprendem pela ação da gravidade, o que limita a transferência para a posição plana (Figura 5).

Figura 5 – Sequência de uma transferência globular de metal.

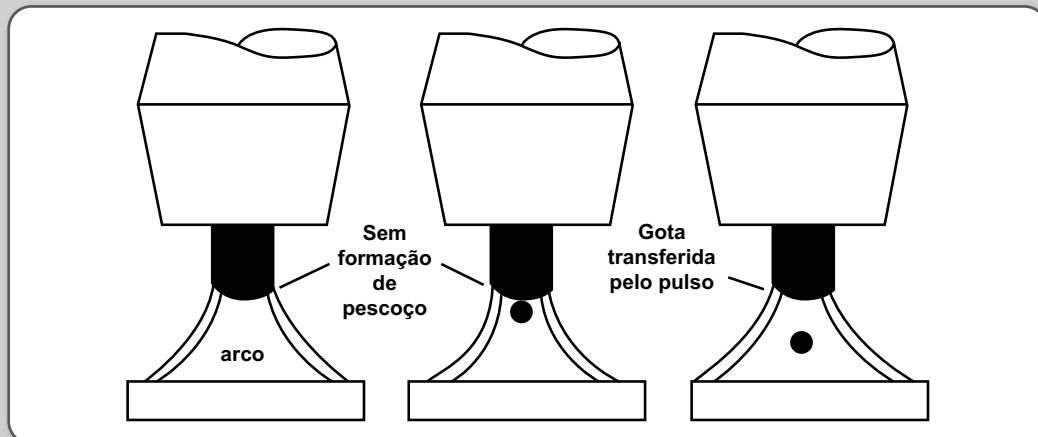


Fonte – Adaptado de Silva, 2012.

2.1.2 Por transferência por *spray* ou pulverização axial

A transferência de metal por *spray* ocorre com correntes altas, em que o metal de adição fundido é transferido através do arco como gotículas finas e pulverizadas. Com a transferência por *spray* é possível produzir um arco muito estável e sem respingos, por isso o uso do *spray* somente se aplica acima de determinadas espessuras. Na prática, restringe-se à posição plana (Figura 6).

Figura 6 – Transferência de metal por *spray*.

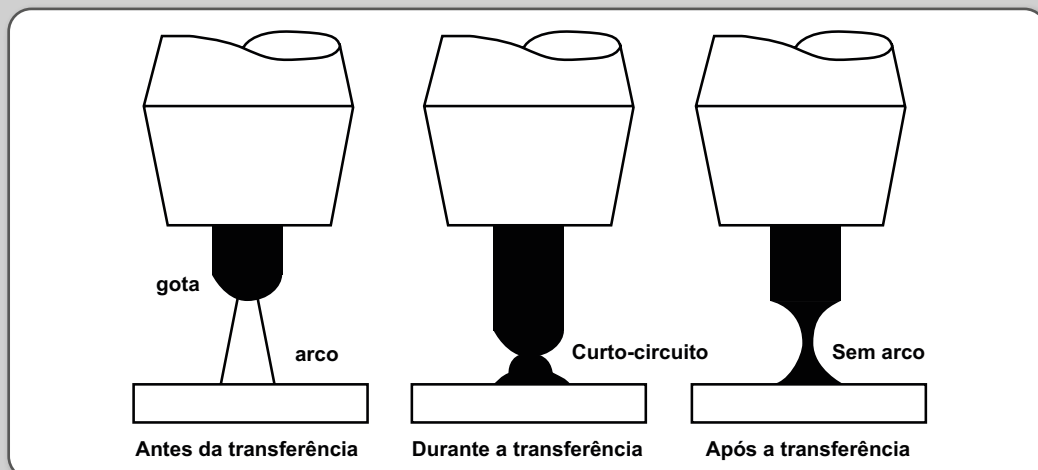


Fonte – Adaptado de Silva, 2012.

2.1.3 Por transferência por curto-circuito

A transferência por curto-circuito é um método de soldagem em que o arame toca a peça de trabalho, criando um curto-circuito, e extingue o arco. Sob a ação de determinadas forças, a gota é transferida para a peça permitindo a soldagem em todas as posições. É um processo com energia relativamente baixa, o que restringe seu uso para espessuras maiores. Em relação aos tipos de gases, a mistura de argônio e CO_2 é frequentemente usada na soldagem de aço-carbono (Figura 7).

Figura 7 – Sequência de uma transferência de metal por curto-circuito.



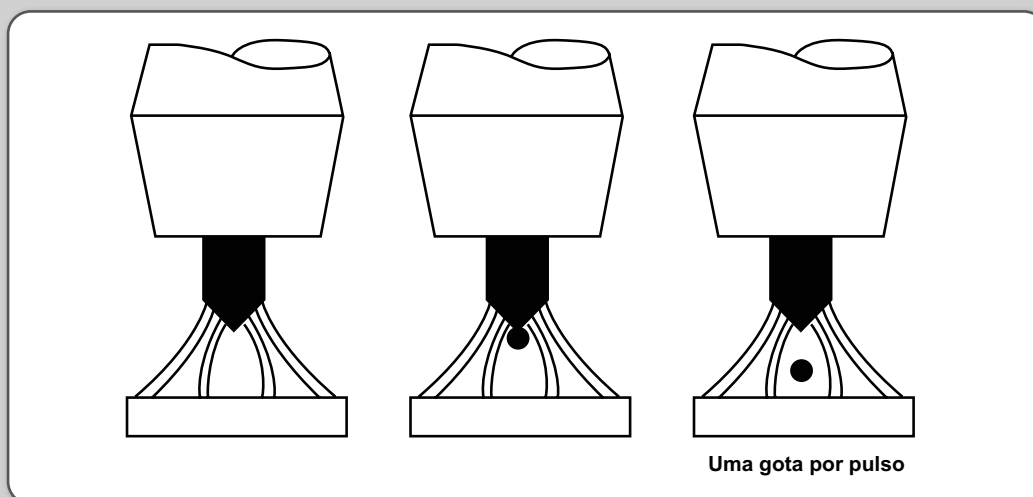
Fonte – Adaptado de Silva, 2012.

2.1.4 Por transferência por pulsado

A transferência de arco pulsado na soldagem MIG/MAG envolve a variação da corrente elétrica em ciclos, alternando entre níveis altos e baixos. Durante a fase de corrente alta, o arco se estabiliza e o metal de adição derrete, enquanto na fase de corrente baixa a energia diminui, permitindo que o metal resfriado se solidifique antes do próximo pulso.

Esse método proporciona controle avançado sobre a penetração e a temperatura, resultando em soldas mais precisas e com menos distorção, sendo especialmente eficaz em materiais finos ou grossos e em situações nas quais a qualidade visual da solda é importante. A técnica minimiza respingos e melhora o acabamento, portanto é ideal para aplicações que exigem precisão e delicadeza, porém somente com equipamentos de alta *performance* é possível garantir sua eficiência (Figura 8).

Figura 8 – Sequência de uma transferência de metal por pulsado.



Fonte – Adaptado de Silva, 2012.

Para soldar aço carbono no processo MAG, a escolha dos gases de proteção é fundamental para obter uma solda de qualidade. As composições mais comuns incluem algumas conhecidas no mercado como mistura, lembrando que o tipo de gás influencia o tipo de transferência de soldagem. Exemplos:

- 1) **80% argônio + 20% dióxido de carbono:** essa mistura oferece uma combinação de estabilidade do arco e penetração, sendo ideal para soldagens em aço carbono;
- 2) **75% argônio + 25% dióxido de carbono:** semelhante à anterior, essa mistura fornece um equilíbrio no controle do arco, favorecendo a solda em diversas posições na transferência por curto-circuito;
- 3) **90% argônio + 10% dióxido de carbono:** essa mistura é utilizada para aplicações que requerem um acabamento mais limpo, pois reduz os respingos e melhora a visual da solda.

Essas combinações de gases podem variar de acordo com cada fornecedor, e são chamadas por seu nome comercial.

3. MEDIDAS DE CONTROLE E UTILIZAÇÃO CORRETA DOS EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

3.1 RISCOS ASSOCIADOS AO PROCESSO DE SOLDAGEM

Os principais riscos associados ao processo de soldagem MIG/MAG estão relacionados às altas temperaturas e luminosidade, liberação de fumos e gases e uso da eletricidade.

3.1.1 Altas temperaturas

Em relação às altas temperaturas, é necessário grande cuidado com os respingos, que são pequenas gotas de metal fundido lançadas durante a execução da solda. Essas gotas podem chegar a 1.600°C e são responsáveis por causar queimaduras no soldador e possíveis incêndios quando caem sobre material combustível. Nesse sentido, é muito importante manter o local destinado à solda livre de qualquer material inflamável, podendo ocasionar danos físicos se não respeitado (Figura 9).

Figura 9 – Queimadura durante processo de soldagem pela não utilização de EPI.



Fonte – Shutterstock.

Além disso, não se deve soldar, cortar ou realizar qualquer operação a quente em uma peça que não tenha sido adequadamente limpa, pois os produtos da decomposição dessas substâncias pelo calor do arco podem produzir vapores inflamáveis ou tóxicos.

3.1.2 Alta luminosidade

Em relação à radiação, destacam-se os raios ultravioleta e infravermelho, que são os mais nocivos. Apesar de invisíveis, ambos podem causar sérios danos, como queimaduras no globo ocular. Uma longa exposição a esses raios pode trazer danos irreversíveis à vista, inclusive cegueira, sendo recomendado que a cabine de solda seja pintada de cor escura e fosca para reduzir a reflexão da luz.

3.1.3 Fumos e gases

Todos os fumos e gases desprendidos no processo de soldagem devem ser considerados potencialmente nocivos. Recomenda-se remover toda e qualquer pintura ou revestimento de zinco de uma peça antes de soldar ou cortar. Além disso, uma posição de soldagem correta pode reduzir a exposição do soldador aos fumos.

Locais como poços, tanques, sótãos, dentre outros, devem ser considerados espaços confinados e, por isso, exigem procedimentos específicos de ventilação e trabalho, com eventual uso de capacetes ou máscaras especiais. Para saber mais, consulte a Norma Regulamentadora 33 – Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaços Confinados.

3.1.4 Eletricidade

Choques elétricos podem ser fatais, por isso devem ser tomadas atitudes que ajudem a evitá-los. Instalações elétricas defeituosas, aterramento ineficiente, assim como operação ou manutenção incorretas de um equipamento elétrico podem ser fontes comuns de acidente. Realizar o aterramento dos equipamentos e acessórios usados na soldagem é uma medida básica de segurança.

Outra regra simples e essencial para a atividade é o uso de roupas e equipamentos de proteção individual adequados e em bom estado. Além disso, é fundamental manter o local de trabalho limpo e seco, uma vez que a umidade e a água são condutoras de eletricidade. Deve-se também evitar o uso de objetos metálicos durante o processo de soldagem, como anéis, relógios, colares etc., pois em contato com partes energizadas, podem causar acidentes graves.

**PRECAUÇÃO**

Próximo ao local destinado à realização de soldas deve haver extintores de incêndio. No caso de soldas realizadas em áreas abertas (campo) ou soldas de manutenção, o soldador deve se certificar de que há extintores de incêndio próximos ao local. O agente extintor recomendado é o dióxido de carbono (CO_2), indicado para combater focos de incêndio da classe B (líquidos inflamáveis) e C (equipamentos elétricos), como exposto na Figura 10.

Figura 10 – Modelo de extintor de incêndio que deve estar presente nas áreas de soldagem.



Fonte – Shutterstock.

3.2 RELAÇÃO DE EPI COMPLETO PARA TRABALHOS DE SOLDAGEM

Durante o processo de soldagem, o soldador deve estar atento às normas de segurança e utilizar os seguintes equipamentos de proteção individual corretamente (Figura 11).

- **Máscara de solda e touca:** proteção do rosto e do pescoço.
- **Filtro *lux* e lente incolor:** absorção da radiação emitida durante a soldagem.
- **Protetor auricular:** proteção da audição.
- **Calçados de segurança:** proteção dos pés.
- **Avental de raspa tipo barbeiro:** proteção frontal do corpo.
- **Mangotes de raspa:** proteção dos braços (pode vir no avental).
- **Perneiras de raspa:** proteção das pernas e dos pés.
- **Luvas de raspa (cano longo):** proteção das mãos;
- **Óculos incolor:** proteção dos olhos.
- **Máscara respiratória para fumos metálicos:** absorção de substâncias nocivas presentes nos fumos e gases desprendidos durante a soldagem.
- **Protetor facial tipo viseira:** proteção do rosto durante a limpeza de peças e soldas.

Figura 11 – Equipamentos de Proteção Individual (EPI) que devem ser utilizados durante a soldagem.



Fonte – Ribeiro, 2014.

Para soldar, é necessário utilizar uma máscara com filtro *lux* ou dispositivo de opacidade adequado ao processo e à aplicação prevista. A Tabela 1 apresenta a opacidade adequada para a proteção do soldador em função do processo e da faixa de corrente elétrica usados.

Tabela 1 – Recomendação da opacidade do filtro da máscara de soldador em função do processo e da faixa de corrente elétrica utilizada.

PROCESSO	CORRENTE	OPACIDADE
Golvagem a arco	até 500 A	12
	de 500 até 1000 A	14
Plasmacorte	até 300 A	9
	de 300 até 400 A	12
	de 400 até 800 A	14
Soldagem a plasma	até 100 A	10
	de 100 até 400 A	12
	de 400 até 800 A	14
Soldagem com eletrodo revestido	até 160 A (até 4 mm)	10
	de 160 até 250 A (de 4 a 6 mm)	12
	de 250 até 550 A (acima de 6 mm)	14
Soldagem MIG/MAG	de 60 até 160 A	11
	de 160 até 250 A	12
	de 250 até 500 A	14
Soldagem TIG	até 50 A	10
	de 50 até 150 A	12
	de 150 até 500 A	14

Fonte – ESAB, 2004.

Para soldagem MIG/MAG se recomenda, como regra geral, o uso de filtros de opacidade 11, 12 ou 14, iniciando com uma opacidade mais alta. No caso de a visualização da região do arco ser muito difícil, é preciso reduzir a opacidade para garantir uma visão adequada da área de soldagem.

**ATENÇÃO**

Para o bom desempenho do trabalho, lembre-se de treinar antes de executar a soldagem. Como o soldador permanece muito tempo na mesma posição, também é importante realizar alongamentos prévios à jornada laboral e pausas periódicas para descanso.

4. EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS PARA SOLDAGEM

Os equipamentos e materiais necessários para os trabalhos de soldagem MIG/MAG para área rural compreendem, em geral:

- bancada ou mesa de soldagem (Figura 12);
- fonte de energia (CC – corrente contínua) com ajuste para a variação de corrente de tensão;
- máquina de preferência soldagem do tipo inversora e sinérgica;
- tocha MIG e consumíveis (Figura 13);
- regulador do tipo argônio ou CO₂;
- cabo de solda com garra ou grampo terra;
- roldanas canal em V de acordo com a bitola de arame;
- cilindro de gás;
- arame MIG da classificação ER 70S6 para aplicação em aço carbono;
- ferramentas para limpeza e preparação das peças;
- sistema de exaustão/ventilação apropriado ao trabalho;
- esmerilhadeira com discos *flap* e de desbaste.

Figura 12 – Bancada com ferramentas e materiais para trabalhos de soldagem.



Fonte – Ribeiro, 2014.

Figura 13 – Equipamentos e consumível tocha MIG. Tocha MIG (a); Bico contato (b); Conduíte (c); Porta-bico (d); Conjunto completo e bocal MIG (e) e Tocha padrão Euro Conector (f).

A**B****C****D****E****F**

Fonte – Ribeiro, 2014.

4.1 MÁQUINAS DE SOLDAGEM

Atualmente, as máquinas de solda inversora apresentam alto desempenho e versatilidade, permitindo que sejam utilizadas em múltiplos processos de soldagem, como MIG, MAG, TIG e eletrodo revestido. Essa flexibilidade facilita a adaptação a diferentes aplicações e materiais, proporcionando soldas de maior precisão.

Além disso, muitos desses equipamentos modernos têm tecnologia de sinergia, que permite a regulação automática dos parâmetros de soldagem com base na espessura da chapa. Isso significa que a máquina ajusta automaticamente a corrente, a tensão e a velocidade de alimentação do arame, otimizando o processo e melhorando a qualidade da solda. Essa inovação torna a soldagem mais intuitiva e eficiente, reduzindo a margem de erro e aumentando a produtividade, com maior chance de resultado positivo na sua manutenção ou produção, mesmo para soldadores com menos experiência.

Figura 14 – Modelos de máquinas de solda do tipo inversoras multiprocesso.



DEFINIR O PROCESSO, SELECIONAR A FUNÇÃO E AJUSTAR O PARÂMETRO



Fonte – Telwin, [s./d.].



ATENÇÃO

Independentemente do tipo da máquina utilizada, lembre-se que a seleção da tocha será importante para o bom desempenho de solda no seu equipamento MIG/MAG. Além disso, é fundamental utilizar os EPIs e a máscara de solda adequada ao nível de corrente elétrica utilizado.

5. TÉCNICAS DE SOLDAGEM E ORIENTAÇÕES PARA O TRABALHO

A correta seleção dos parâmetros de soldagem é essencial para a obtenção de uma junta soldada de qualidade. Na soldagem semiautomática do processo MIG/MAG, esses parâmetros compreendem características como:

- tipo de transferência;
- diâmetro do arame MIG;
- tipo de gás e vazão;
- ajuste da tensão e da velocidade de arame (corrente de soldagem);
- comprimento do arco, *stickout*;
- velocidade de soldagem;
- técnica de movimento da tocha MIG.

Depois de selecionar o arame e o gás, as condições de operação devem ser escolhidas. Os quatro parâmetros mais importantes são a corrente de soldagem, a extensão do eletrodo, a tensão de soldagem e a velocidade de solda.

Na soldagem MIG/MAG, a corrente de saída da fonte é um parâmetro crucial que influencia a qualidade da solda. Tal corrente normalmente é monitorada no indicador da fonte durante o processo. A corrente de soldagem está diretamente relacionada à velocidade de alimentação do arame. Quando a velocidade de alimentação do arame é alterada, a corrente de soldagem varia na mesma direção.

Se a velocidade de alimentação do arame aumenta, a corrente de soldagem também tende a aumentar, pois uma maior quantidade de metal de adição está sendo depositada na poça de fusão. Por outro lado, se a velocidade diminui, a corrente também diminui, resultando em uma solda com menos corrente. Essa relação entre a corrente de soldagem e a velocidade de alimentação é fundamental para obter resultados consistentes e de alta qualidade nas juntas soldadas.

Na soldagem pelo processo MIG/MAG, a tensão do arco é um parâmetro crítico que deve ser mantido constante durante a operação, pois quando essa tensão varia, seja para mais, seja para menos, isso resulta em diferentes modos de transferência do metal. Para a soldagem por curto-circuito, por exemplo, utilizam-se tensões mais baixas, o que facilita o contato entre o arame e a peça de trabalho. Em contrapartida, a soldagem por *spray* requer tensões maiores, que permitem uma transferência mais eficiente e contínua do metal. Essa relação entre a tensão do arco e os diferentes modos de soldagem é fundamental para garantir a qualidade e a eficácia do processo.

A tensão do arco desempenha papel crucial na soldagem MIG/MAG, influenciando diretamente a corrente e a velocidade de alimentação do arame. Quando a tensão do arco é maior, isso resulta em uma corrente igualmente alta, o que pode aumentar a velocidade de alimentação do arame. Por outro lado, ao se utilizar tensões mais baixas, a velocidade de alimentação do arame também diminui.

Essa interação entre tensão, corrente e velocidade é essencial para otimizar o processo de soldagem. Ajustar esses parâmetros de forma adequada garante uma fusão eficaz e minimiza problemas como respingos e falta de penetração. Portanto, compreender essa dinâmica é fundamental para alcançar resultados consistentes e de alta qualidade na soldagem. A Tabela 2 indica possíveis regulagens no processo MAG, com o arame ER 70S6 da especificação AWS 5.18.

Tabela 2 – Indicativa de parâmetros utilizados em soldagem MAG.

Diâmetro do arame (mm)	Modo de transferência	Amperes	Volts	Velocidade de alimentação de arame (m/min)	Taxa de deposição (Kg/hr)	Distância de trabalho (mm)
0,9	Curto-circuito	105	16,5	4,4	1,3	13
0,9	Curto-circuito	110	17,5	4,8	1,4	16
0,9	Curto-circuito	115	18,5	5,3	1,5	16
0,9	Curto-circuito	125	19,5	5,8	1,7	16
0,9	Curto-circuito	130	20,5	6,4	1,9	16
0,9	<i>Spray</i>	170	25	9,1	2,6	16
0,9	<i>Spray</i>	180	26	10,4	3,0	16
0,9	<i>Spray</i>	200	27,5	12,7	3,6	19
0,9	<i>Spray</i>	240	29	17,8	5,1	19
1,2	Curto-circuito	130	18	3,6	1,7	16
1,2	Curto-circuito	150	19	4,1	2,0	16
1,2	<i>Spray</i>	220	25	7,0	3,4	19
1,2	<i>Spray</i>	250	27	8,3	4,0	19
1,2	<i>Spray</i>	285	28,5	10,2	4,9	19
1,2	<i>Spray</i>	325	29	12,7	6,2	25
1,4	<i>Spray</i>	290	27	7,1	4,4	19
1,4	<i>Spray</i>	325	27	8,4	5,2	19
1,4	<i>Spray</i>	390	29	10,7	6,7	19

Fonte – Adaptado de Xiang, 2024.

5.1 IDENTIFICAÇÃO DO ARAME MIG

O termo ER 70S-6 refere-se a um tipo específico de arame de soldagem utilizado no processo MIG/MAG. Ele é classificado de acordo com a norma da American Welding Society (AWS).

Explicação do Código ER 70S-6:

- a sigla "ER" significa "*Electrode Rod*", indicando que é um eletrodo de arame para soldagem;
- o número "70" indica a resistência à tração mínima do metal de solda, medida em ksi (quilo libras por polegada quadrada). Portanto, um arame classificado como 70S tem uma resistência mínima de 70 ksi;
- a letra "S" indica que o arame é de um tipo sólido, utilizado principalmente em processos de soldagem a arco;
- o número "6" indica que o arame tem uma composição química específica, projetada para proporcionar boas características de soldagem e resistência à trinca, além de boa ductilidade.

Aplicações:

O arame ER 70S-6 é amplamente utilizado para soldar aço carbono e aço de baixa liga, sendo ideal para aplicações em estruturas metálicas, tubulações e em situações nas quais a resistência e a ductilidade da solda são essenciais. Esse tipo de arame é conhecido por sua excelente capacidade de fusão e por produzir soldas de alta qualidade, com boas propriedades mecânicas e resistência à corrosão.

Em resumo, o ER 70S-6 é um arame de soldagem sólido, amplamente utilizado na indústria e para manutenções em geral. Oferece uma combinação ideal de resistência e ductilidade, com uma solda forte de ótima resistência, tornando-o uma escolha popular para diversas aplicações de soldagem em aço.

5.2 MONTAGEM DO EQUIPAMENTO DE SOLDA MIG/MAG

A montagem do equipamento MIG/MAG envolve vários componentes essenciais que garantem um processo de soldagem eficiente e de alta qualidade. Os principais elementos incluem:

- **cilindro de gás:** responsável por fornecer o gás de proteção, que pode ser uma mistura de argônio e CO₂ ou apenas CO₂, dependendo do tipo de soldagem que será realizada. O gás protege a poça de fusão da contaminação atmosférica.
- **tocha MIG:** local onde o arame de soldagem é alimentado e o arco elétrico é criado;
- **roldana do arame:** o sistema de roldanas é projetado para facilitar a alimentação do arame. As roldanas devem ser escolhidas de acordo com a bitola do arame utilizado, garantindo uma alimentação suave e consistente;
- **cabo terra:** fundamental para completar o circuito elétrico, deve ser conectado à peça de trabalho para garantir uma boa condução elétrica e proporcionar segurança durante a soldagem. O cabo ajuda a evitar problemas de soldagem, como falhas na conexão do arco, e pode ser ligado diretamente na peça a ser soldada;
- **gás de proteção:** as composições de gás variam conforme a aplicação:
 - argônio + CO₂: essa mistura é comum para soldagem de aço carbono, proporcionando boa combinação de estabilidade do arco e penetração;
 - argônio: usado principalmente para metais não ferrosos, como alumínio, para garantir uma solda limpa e de alta qualidade.

A montagem adequada do equipamento MIG/MAG, com atenção aos componentes e à escolha correta do gás, é fundamental para garantir um desempenho eficaz e resultados consistentes durante o processo de soldagem (Figura 15).

Figura 15 – Sistema de roldanas (a), regulador (b) e máquina completa (c).



Fonte – Ribeiro, 2014.

5.3 IDENTIFICAÇÃO DO METAL DE BASE

Para seleção adequada do arame a utilizar, é necessário identificar o tipo de metal de base, podendo ser um metal ferroso ou não ferroso.

No grupo dos metais ferrosos está o aço, que é uma liga composta de ferro e carbono (este último variando de 0,05% a 1,5%), em que quanto maior a porcentagem de carbono, mais duros são os aços.

Diversos fatores podem ser considerados na identificação do metal de base:

- faiscamento (permite caracterizar aços de baixo, médio e alto teor de carbono);
- aparência, coloração e peso do material;
- testes magnéticos.

5.4 ATIVIDADES DO PROCESSO DE SOLDAGEM

Antes de realizar a soldagem, o soldador deverá estar atento a esta sequência para preparar o dimensional e posteriormente executar a solda:

- 1) colocar todos os equipamentos de proteção individual (EPI) necessários ao processo de soldagem;
- 2) verificar a presença de extintor do tipo B/C (CO₂ ou pó químico) na área de soldagem para garantir sua segurança, bem como retirar materiais combustíveis próximos ao local de trabalho;
- 3) limpar o metal de base, que consiste na retirada de óleos, tintas, ferrugem e outros. Para a limpeza é recomendado utilizar esmerilhadeira com discos abrasivos ou escovas trançadas adequadas para preparação da peça a ser soldada (Figura 16);

Figura 16 – Esmerilhadeira e discos abrasivos, indicados para a limpeza das peças a soldar.



Fonte – Ribeiro, 2014.

- 4) realizar uma soldagem-teste para regulagem e aferição do equipamento;
- 5) limpar o interpasse dos cordões e retirar qualquer defeito no decorrer da soldagem, até o término do trabalho;
- 6) a velocidade de soldagem no processo MIG/MAG é um fator crítico que influencia a qualidade do cordão de solda. A velocidade de deslocamento deve ser cuidadosamente ajustada para manter o arco ligeiramente à frente da poça de fusão, garantindo que o arco mantenha a poça derretida e permita uma fusão adequada entre o metal de base e o metal de adição.

Efeitos da velocidade de soldagem:

- 1) velocidade muito alta: se a velocidade de soldagem for excessivamente alta, o arco se deslocará rapidamente em relação à poça de fusão, resultando em um cordão de solda estreito e com acabamento superficial inadequado. Além disso, pode causar problemas como mordeduras nos pontos onde a solda não penetra adequadamente no material-base, levando a uma falta de deposição e comprometendo a integridade da junta;
- 2) velocidade muito baixa: pode causar superaquecimento, resultando em um cordão excessivamente largo e com aspecto irregular, podendo levar à formação de defeitos ou descontinuidades de soldagem que não apenas afetam o aspecto visual da solda, mas podem comprometer suas propriedades mecânicas.

É essencial encontrar um equilíbrio na velocidade de soldagem, além de realizar a limpeza e ajustar os parâmetros, como tensão e corrente, para garantir que o arco permaneça ligeiramente à frente da poça de fusão, assegurando uma deposição uniforme do metal de solda e contribuindo para a qualidade, resistência e aparência do cordão final.

**ALERTA ECOLÓGICO**

O processo de soldagem gera diversos resíduos (sucata metálica), por isso se deve dar um destino correto para eles. Nesse sentido, é importante armazenar os resíduos resultantes da solda em local adequado (tambor de latão, por exemplo), para posterior recolhimento por empresas especializadas e destinação adequada, sem prejuízo para o meio ambiente.

**LEMBRE-SE**

Para soldagens de alta responsabilidade na propriedade rural, é recomendável recorrer a uma empresa especializada com equipe técnica de soldagem para realizar a atividade com a precisão e a qualidade necessárias.

5.5 TÉCNICAS DE SOLDAGEM

A soldagem MIG/MAG é um processo de soldagem por arco elétrico que utiliza um gás de proteção e um eletrodo consumível. A posição da tocha e as técnicas de movimentação são fundamentais para garantir a qualidade da solda.

5.5.1 Posição da tocha

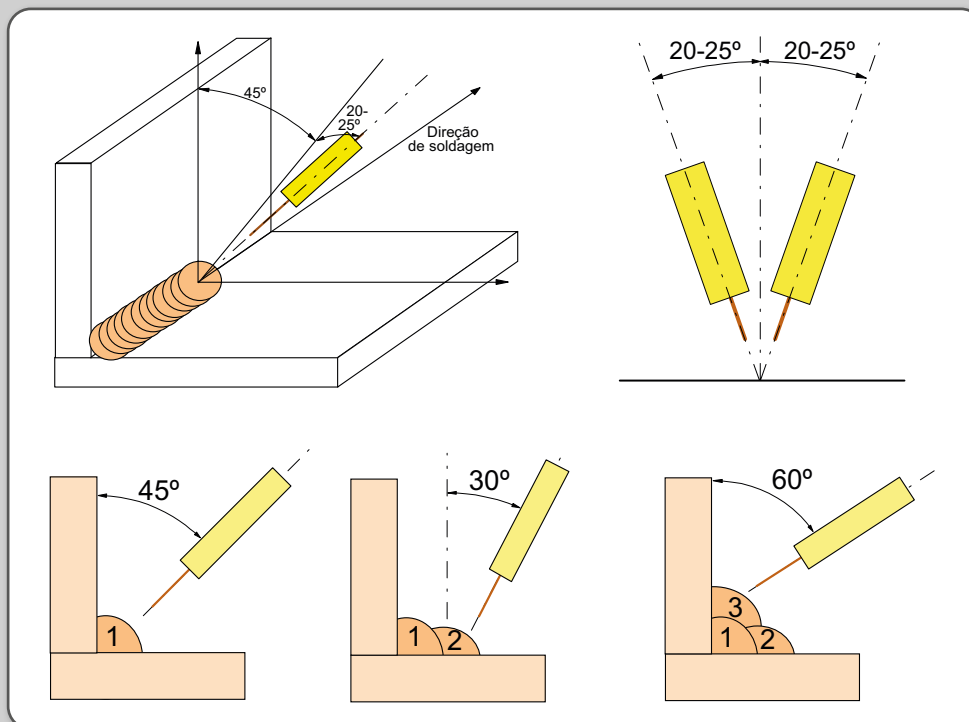
As duas principais técnicas de movimentação da tocha são:

- 1) **técnica de empurrar (Forehand)**: o soldador empurra a tocha na direção da solda. Essa técnica é muitas vezes usada para soldagens nas posições plana e horizontal, proporcionando boa penetração e permitindo que o metal fundido flua para o fundo da junta;
- 2) **técnica de puxar (Backhand)**: o soldador puxa a tocha em direção a si. É uma técnica mais comum em soldagens de posições verticais ou em materiais mais finos. A movimentação para trás ajuda a controlar a quantidade de metal de solda depositado, resultando em uma solda com menos respingo.

5.5.2 Eixo de Inclinação

A inclinação da tocha em relação à peça de trabalho pode influenciar a forma e a penetração da solda. Uma inclinação adequada (geralmente entre 20 e 25 graus) garante melhor proteção ao arco e ajuda a direcionar o metal fundido para a junta, melhorando a fusão do material (Figura 17).

Figura 17 – Inclinações da tocha.



Fonte – Asquel, 2019.

O soldador pode realizar um movimento circular (*wave* ou rotação) ou em zigue-zague com a tocha ao longo da junta, o que ajuda a distribuir o calor e o metal de solda de maneira uniforme, contribuindo para uma solda mais homogênea.

A combinação da técnica de empurrar ou puxar com a inclinação e os movimentos de rotação (*wave*) são essenciais para obter uma solda de qualidade. Dominar essas técnicas permite ao soldador se ajustar às diversas condições e tipos de materiais, resultando em um trabalho mais eficiente e seguro.

6. CARACTERÍSTICAS DE UMA BOA SOLDA E SUA TERMINOLOGIA

A terminologia de descontinuidades de soldagem requer uma interpretação para se determinar seu significado, conforme as seguintes situações:

- **descontinuidade:** interrupção da estrutura típica de uma peça no que se refere à homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas;
- **defeito:** descontinuidade que por conta de sua natureza, tipo, dimensões, localização ou efeito acumulado torna a peça imprópria para uso por não satisfazer os requisitos mínimos de aceitação da norma aplicável.

! Observações

As descontinuidades nem sempre precisam ser removidas ou são motivo para rejeitar uma peça. Em contrapartida, os defeitos de uma peça devem ser removidos para evitar a rejeição dela. Como o assunto é complexo quanto a sua interpretação e a análise das peças é realizada por inspetores de soldagem qualificados, são apresentados a seguir possíveis defeitos e descontinuidades rotineiras ao trabalho do soldador rural, ajudando no desempenho de seu trabalho e na interpretação do que é ou não aceitável.

6.1 DEFEITOS, CAUSAS E SOLUÇÕES NAS SOLDAGENS

Figura 18 – Solda apresentando o defeito de poros.



POROS

PROBLEMA:

Necessita de critério para ser avaliado como defeito ou descontinuidade. Falta de proteção do gás, comprimento do arco muito longo, altura inadequada da tocha em relação ao metal base.

SOLUÇÃO:

Proteger a região com biombos ou aumentar um pouco a proteção gasosa do gás utilizado.

Fonte – Ribeiro, 2014.

Figura 19 – Solda apresentando o defeito de deposição insuficiente.



DEPOSIÇÃO INSUFICIENTE

PROBLEMA: defeito.

Não ocorreu o depósito suficiente na junta a ser soldada, resultando em defeito na face da solda.

SOLUÇÃO:

Sempre realizar o deslocamento em toda junta, até contemplar e preencher todo chanfro.

Fonte – Ribeiro, 2014.

Figura 20 – Solda apresentando problema na abertura de arco.



ABERTURA ARCO

PROBLEMA: defeito.

Mau posicionamento da tocha para seu início de arco.

SOLUÇÃO:

Tocar sempre o arame MIG no local desejado para iniciar a abertura de arco corretamente.

Fonte – Ribeiro, 2014.

Figura 21 – Solda realizada adequadamente.



SOLDA BOA

Junta em ângulo: sequência de soldagem correta.

Apresenta descontinuidades de soldagem, como respingos.

A presença de respingo na chapa pode ser decorrente do posicionamento incorreto da tocha ou pela regulagem errada dos parâmetros.

Fonte – Ribeiro, 2014.

REFERÊNCIAS

AWS. **Recommended practices for gas metal arc welding**: AWS C5-6-79. Doral: American Welding Society, 1978.

ASQUEL, G.S., CUNHA, T.V. **Desenvolvimento e avaliação de uma tocha de soldagem inteligente**. Soldagem & Inspeção. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI24.13>. Acesso em: 10 dez. 2024.

BRASIL. **ABNT NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria GM n.º 3.214: NR10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 6 jul. 1978.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria MTE n.º 202: NR33 – Segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 dez. 2006.

ESAB. **Apostila de soldagem MIG/MAG**. Tradução de Cleber Fortes. Contagem: ESAB, 2005. Disponível em: https://esab.com/index.cfm/_api/render/file/?method=inline&fileID=1EE56ECA-96B1-493A-B6E5757D05FFED. Acesso em: 3 nov. 2024.

ESAB. MIG Welding Handbook – ESAB Welding & Cutting Products MIG/MAG Welding, **Svetsaren**, v. 58, n. 2, 2003. AWS, **Welding Handbook**, v. 2.

ESAB. **Regras para segurança**: em soldagem, goivagem e corte ao arco elétrico. Contagem: ESAB, 2004. Disponível em: https://esab.com/index.cfm/_api/render/file/?method=inline&fileID=644D61A9-CBB1-490C. Acesso em: 3 nov. 2024.

GETMANETS, S. M.; KORINETS, J. F. **Gas-Shielded Welding**: instructions for laboratory work. Kiev: Naukova Dumka, 1983. POTAPIEVSKY, A. G. **Gas-Shielded Welding**: Kiev: Naukov, 1983.

SHUTTERSTOCK. Shutterstock imagens, c2003. Página inicial. Disponível em: <https://www.shutterstock.com/pt/images>. Acesso em: 14 jan. 2025.

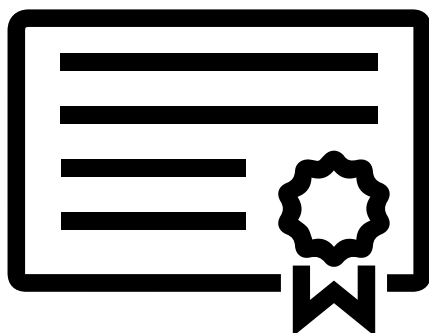
SILVA, S. R. **Desenvolvimento do processo de soldagem Plasma–keyhole – MAG em tandem**. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 45, 2012.

SMITH, D. **Welding – Skills and Technology**. Nova Iorque: Mc Graw-Hill, 1984, p. 364-419. The Procedure Handbook – #1 Choice among Welding Instructors.

TELWIN. **Supermig 450i** pack + carro. [s./d.]. Disponível em: https://www.telwin.com/br/pt_BR/produtos-br/mig-mag-multiprocesso/816905-supermig-450i-230v-400v-pack-carro. Acesso em: 3 nov. 2024.

XIANG. Xiang Welding Industrial, c2020. **Welding Wire AWS ER70S-3; EM13K**. Disponível em: https://www.xiangind.com/aws_er70s_3_em13k. Acesso em: 10 dez. 2024.

CERTIFICADO DO CURSO



O certificado de conclusão é emitido, no mínimo, 30 dias após encerramento do curso, tempo necessário para o instrutor realizar a análise de desempenho de cada aluno, para que, posteriormente, a área de certificação do Sistema FAEP/SENAR-PR realize a emissão.

Você pode acompanhar a emissão de seu certificado em nosso site ***sistemafaep.org.br***, na seção Cursos SENAR-PR > Certificados ou no QRCode ao lado.



Consulte o catálogo de curso e a agenda de datas no sindicato rural mais próximo de você, em nosso site ***sistemafaep.org.br***, na seção Cursos ou no QRCode abaixo.



***Esperamos encontrar você novamente
nos cursos do SENAR-PR.***



SISTEMA FAEP



Rua Marechal Deodoro, 450 - 16º andar
Fone: (41) 2106-0401
80010-010 - Curitiba - Paraná
e-mail: senarpr@senarpr.org.br
www.sistemafaep.org.br



Facebook
Sistema Faep



Twitter
SistemaFAEP



Youtube
Sistema Faep



Instagram
[sistema.faep](https://www.instagram.com/sistema.faep)



Linkedin
[sistema-faep](https://www.linkedin.com/company/sistema-faep)



Flickr
SistemaFAEP