Análise de diferentes métodos de soldagem: Comparação entre dois métodos, soldagem MIG e TIG

Adriel Lucas Tomio[1]; Gilberto Pires[1]; Rafael Schidolski da Silva[1].

adrieltomio@gmail.com; gilbertopires01@gmail.com; rafael_tholokko@hotmail.com.

Professora orientadora: Dra. Daniele da Silva Domingos

Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica: Márcio Senhorinha

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo comparar dois tipos de soldas. Solda MIG/MAG e TIG. Com o intuito de analisar em quais situações estas duas técnicas se sobressaem melhor em relação a outras, comparou-se os custos dos eletrodos de cada técnica, tempo de soldagem, experiência etc. Estas experiências foram realizadas com base no Aço 1020. Para isso coletou-se amostras e dados da maior fundição das Américas, com especialistas da área e atuantes da função. Com os resultados observa-se que a solda MIG/MAG é muito mais utilizada por ser mais barato e com maior flexibilidade em realizar a soldagem, o processo TIG possui maiores restrições e experiência do profissional, porém as soldas são de muito mais qualidade e são melhores em certos trabalhos específicos.

Palavras-chave: Soldagem. MIG. TIG. Chapa Metálica.

1. INTRODUÇÃO

A soldagem hoje em dia é o processo mais importante para fabricação de peças metálicas. A evolução deste processo nas últimas décadas se deve à experiência adquirida exercendo a função como de conhecimento básico. Sofreu grandes avanços tecnológicos que permitiu técnicas de soldagens muito mais complexas.

São utilizados para fabricar diversos produtos e estruturas metálicas, como os aviões, navios, veículos espaciais, locomotivas, pontes, prédios, oleodutos, gasodutos, plataformas marítimas, reatores nucleares e periféricos, trocadores de calor, utilidades domésticas, componentes eletrônicos etc. Ou seja, praticamente a maioria dos utensílios e materiais que usamos em nosso dia a dia possui algum tipo de solda. (FAGUNDES, 2018).

Por isso é importante o estudo de novas formas e o aperfeiçoamento de processos de soldagens existentes atualmente.

Dois métodos de soldagem muito utilizados por profissionais do século XXI são o TIG e MIG.

Bracarense (2000) diz que o processo de soldagem TIG, também conhecido como *Gas Tungsten Arc Welding* (*GTAW*), é feito através de arco elétrico que usa um arco entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a poça de soldagem. A proteção da região de soldagem é feita por um gás de proteção soprado pelo bocal da tocha.

Bracarense (2000) também comenta que surgiu este processo pois havia a necessidade de soldagens em materiais difíceis, tal como o alumínio e magnésio. Começou na segunda guerra mundial com a necessidade de fabricação de aviões que utilizavam este tipo de material.

É uma técnica de alta qualidade (Cordões de solda com muito boa qualidade) e com um custo não muito elevado.

O processo MIG começou a ser usado no início dos anos 30, porém de forma muito primitiva, sendo pouco prático e difícil de se utilizar, somente ao final da segunda guerra mundial que a tecnologia neste setor começou a avançar, tornando a técnica muito mais interessante, iniciando com a soldagem de magnésio e suas ligas e em seguida para os outros metais, mas somente com gás inerte. Após um período foi adotado no lugar do argônio o CO2, parcial ou totalmente, na soldagem de aços. (WAINER, BRANDI, MELLO, 2004)

Os processos MIG (*metal inert gas*) e MAG (*metal active gas*) utilizam como fonte e calor um arco elétrico mantido entre um eletrodo nu consumível, alimentado continuamente, e a peça a soldar. A proteção da região de soldagem é feita por um fluxo de gás inerte (MIG) ou gás ativo (MAG). A soldagem pode ser semi-automática ou automática. (WAINER, BRANDI, MELLO, 2004).

Este presente trabalho tem como finalidade estudar os processos de soldagem TIG e MIG, com o objetivo de comparar estas duas técnicas e verificar suas vantagens e desvantagens, bem como em quais ocasiões um tipo de solda é melhor em relação à outra, custos de operação e nível de conhecimento.

2. DESENVOLVIMENTO

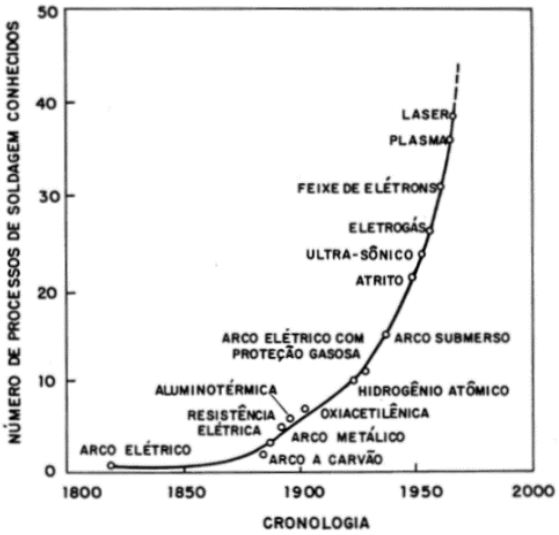
2.1 Definição de soldagem

Wainer, Brandi, Mello (2004), afirmam que o processo de soldagem é basicamente a união entre duas partes metálicas, usando uma fonte de calor, com ou sem aplicação de pressão. A solda é o resultado desse processo.

Processo de juntar peças metálicas colocando-as em contato íntimo, e aquecer as superfícies de contato de modo a levá-las a um estado de fusão ou de plasticidade. (Chiaverini, 1986).

Wainer, Brandi, Mello (2004) diz que o processo de soldagem teve um grande aumento na segunda guerra mundial, pois surgiu uma grande demanda na fabricação de aviões e navios de guerra, veículos de batalhas etc., estes veículos necessitavam de muitas partes metálicas com solda. O arco elétrico foi desenvolvido no século XIX. A Figura 1 mostra a evolução dos processos de soldagem de acordo com o tempo.

Figura 1 – Cronologia sobre os processos de soldagem.



Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

2.2 Processo TIG

Para Wainer, Brandi, Mello (2004) O processo TIG (*Tungsten Inert Gas*) usa como fonte de calor um arco elétrico mantido entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a peça a ser soldada. A proteção da região de soldagem é feita por um fluxo de gás inerte. A soldagem pode ser feita com ou sem metal de adição e pode ser manual ou automática.

Wainer, Brandi, Mello comentam que este processo foi patenteado ao final dos anos 20, porém iniciou a comercialização em 1942 nos Estados Unidos, para a soldagem em liga de magnésio de assentos de aviões. A princípio utilizou-se o gás hélio e a corrente contínua, porém havia muita dificuldade em estabilizar o arco, posteriormente substituiu-se para outro método.

É muito utilizado em soldagem de ligas de titânio, magnésio, alumínio e aços inoxidáveis. A solda efetuada é de excelente qualidade.

A Tabela 1 mostra as vantagens, características e limitações do processo TIG.

Tabela 1 – Informações gerais sobre o processo TIG.

<table>
<tr><td>Tipo de operação
- manual ou automática</td><td rowspan="2">Equipamentos
Retificador, gerador ou transformador
Tocha
Cilindro de gases com dispositivo para deslocamento</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Características do processo
Taxa de deposição: 0,2 a 1,3 kg/h
Espessura soldada: 0,1 a 50 mm
Posição de soldagem: todas
Tipo de junta: Todas
Diluição
com metal de adição: 2 a 20%
sem metal de adição: 100%
Faixa de corrente: 10 a 400 A</td></tr>
<tr><td>Custo do equipamento
1,5 (manual) a 10 (automático)
(soldagem com eletrodo revestido = 1)</td></tr>
<tr><td>Consumíveis
Varetas
Gases de proteção e pureza
Eletrodo de tungstênio</td></tr>
<tr><td>Vantagens
Produz soldas de alta qualidade
Solda a maioria dos metais e ligas
Poça de fusão calma
Fonte de calor concentrada, minimizando a ZAC e distorções
Processo de fácil aprendizagem</td><td>Limitações
Processo com baixa taxa de deposição
Impossibilidade de soldagem em locais com corrente de ar
Possibilidade de inclusão de tungstênio na solda
Emissão intensa de radiação ultravioleta</td></tr>
<tr><td colspan="2">Segurança:
Proteção ocular
Proteção da pele para evitar queimaduras pela radiação ultravioleta</td></tr>
</table>

Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

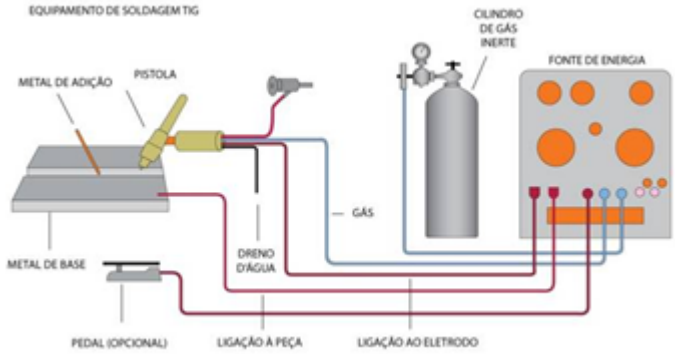
2.3 Equipamentos

No processo de soldagem manual TIG, os equipamentos fundamentais na realização dessa são indicados na figura 2.

Necessita-se de uma fonte de energia, corrente constante podendo ser um transformador, gerador ou retificador, conforme a necessidade do metal a ser soldado. Com a assistência de um pedal controlador de corrente, o soldador consegue minimizar o rechupe formado na cratera no final da soldagem.

Tocha TIG - mecanismo onde o eletrodo de tungstênio é fixado, conduz corrente elétrica e possibilita uma proteção necessária na região do arco elétrico e da poça de fusão. A refrigeração da tocha TIG é feita por meio de ar ou água, variando da corrente.

Figura 2 – Equipamentos utilizados na soldagem TIG.



Fonte: Ferraz (2013).

2.4 Gás de proteção

Durante o processo de soldagem, os principais gases manipulados são argônio, hélio ou qualquer gás que contenha uma mistura de ambos. Independente do composto gasoso, a pureza necessariamente precisa ser 99,99%. Cita-se determinadas características destes na Tabela 2.

Tabela 2 – Características dos gases de proteção.

Argônio	Hélio
Baixa tensão de arco	Elevada tensão de arco
Menor penetração	Maior penetração
Adequado à soldagem de chapas finas	Adequado à soldagem de grande espessuras e materiais de condutibilidade térmica elevada
Soldagem manual devido ao pequeno gradiente de tensão na coluna de arco (6V/cm)	Soldagem automática
Maior ação de limpeza	Menor ação de limpeza
Arco mais estável	Arco menos estável
Fácil abertura do arco	Dificuldade na abertura do arco
Utilizado em CC e CA	Geralmente CCPD com eletrodo de tungstênio toriado
Custo reduzido	Custo elevado
Vazão para proteção pequena	Vazão para proteção de 2 a 3 vezes maior que a de argônio
Maior resistência à corrente de ar lateral	Menor resistência à corrente de vento

Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

Entretanto, a liga utilizada e a característica de soldagem influenciam diretamente no gás utilizado no procedimento. Exemplos de ligas metálicas, gás de proteção e algumas das características podem ser observadas, respectivamente, na tabela 3.

A pureza do gás é de extrema importância no processo, mantendo o um valor mínimo de vapor d'água em torno de 11 ppm por volume, resultando num ponto de orvalho de -60°C.

Tabela 3 – Características dos gases de proteção usados no processo TIG.

Tipo de liga	Gás e polaridade	Características
Aço de baixa liga	Argônio CCPD (-) Hélio CCPD (-)	Soldagem manual Soldagem automática
Aço inoxidável	Argônio CCPD (-) Hélio CCPD (-)	Arco estável e de fácil controle Grande penetração e razoável estabilidade do arco
Aço inoxidável endurecível por precipitação	Hélio CCPD (-)	Penetração na raiz mais uniforme; menor zona afetada pelo calor

Alumínio e ligas	Argônio (CA) Argônio + Hélio (CA) Hélio CCPD (-)	Estabilidade do arco e boa ação de limpeza. Arco menos estável; boa ação de limpeza; velocidade de soldagem elevada; grande penetração. Grande penetração; velocidade de soldagem elevada no material limpo quimicamente; soldagem automática.
Bronze-alumínio	Argônio CCPD (-)	Reduz penetração no metal base durante o processo de revestimento.
Bronze-silício	Argônio CCPD (-)	Diminui o efeito de fragilidade a quente.
Cobre desoxidado	Hélio CCPD (-) Hélio + 25% argônio CCPD (-)	Elevada energia de soldagem para contrabalancear a condutibilidade térmica do cobre Arco mais estável; energia de soldagem menor; adequado para chapas até 1,5 mm de espessura.
Cobre-níquel	Argônio CCPD (-)	Arco estável e de fácil controle.
Magnésio e ligas	Argônio (CA)	Arco estável e boa ação de limpeza.
Monel	Argônio CCPD (-)	Arco estável e de fácil controle.
Níquel e ligas	Argônio CCPD (-) Hélio CCPD (-)	Arco estável e de fácil controle. Soldagem automática com alta velocidade.
Titânio e ligas	Argônio CCPD (-) Hélio CCPD (-)	Arco estável e de fácil controle. Soldagem automática com alta velocidade.

Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

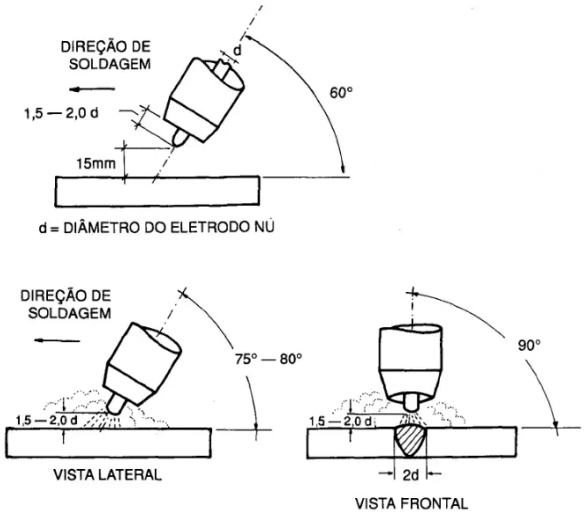
2.5 Técnicas de soldagem

Na soldagem manual sem adição de metal a abertura do arco deve ser realizada com a tocha na angulação de 60° do eixo horizontal, oposto a soldagem e com uma distância de 15mm da ponta do eletrodo ao metal. (WAINER, BRANDI, MELLO, 2004).

Após a abertura do arco, aumenta-se a abertura para 75-80°, formando-se então a poça de fusão; podem-se fazer movimentos circulares para ajudar na formação da poça de fusão. (WAINER, BRANDI, MELLO, 2004).

A figura 3 exemplifica o funcionamento da técnica de soldagem sem adição de metal no processo TIG.

Figura 3 – Técnica de soldagem sem adição de metal no processo TIG.

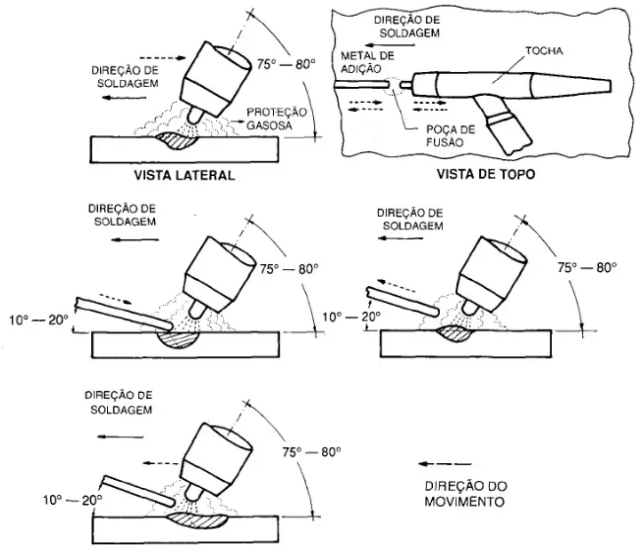


Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

Segundo Wainer, Brandi, Mello (2004), o metal de adição é adicionado com um ângulo entre 10 e 20° da horizontal. O metal de adição deve estar envolvido pela proteção gasosa, contudo não deve ficar embaixo do arco, nem tocar a poça de fusão ou o eletrodo tungstênio. Afasta-se o metal de adição, mantendo-o, porém, sob a proteção gasosa, não devendo ficar embaixo do arco, nem tocar a poça de fusão ou o eletrodo de tungstênio.

A figura 4 mostra as posições de soldagem e do metal de adição no processo TIG.

Figura 4 – Processo TIG com adição de metal.



Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

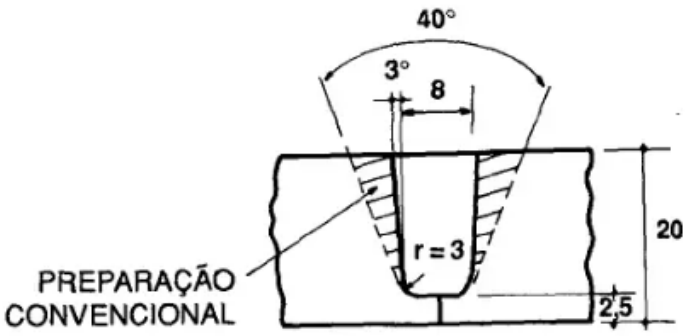
2.6 Variantes do processo

Na soldagem TIG, há também o processo com cabeça orbital, que é realizada por um equipamento que faz um movimento orbital em torno do material soldado, muito utilizado na soldagem de tubos ou canos. Além de uma ótima opção em objetos de difícil alcance, essa variante traz como principais vantagens a ótima qualidade e precisão, uma maior produtividade e redução de custo, além de ter uma maior segurança e redução de erros.

Outra variante é o TIG com chanfro estreito (*narrow-gap*), um método que, segundo Wainer, Brandi, Mello (2004), as principais vantagens dessa técnica estão em diminuir a quantidade de metal depositado, a quantidade de passe e a zona afetada pelo calor; além disso, provoca menor distorção quando comparada com uma junta em V.

Esse método é ilustrado na figura 5.

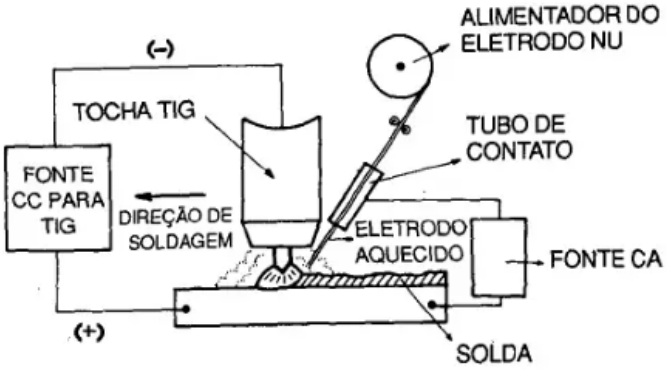
Figura 5 – Processo TIG com chanfro estreito.



Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

Além disso, há o processo com eletrodo nu (*hot wire*) com a finalidade de conquistar elevada taxa de deposição, sendo os valores atingidos comparáveis com a taxa de deposição dos processos MIG. O eletrodo é aquecido por uma corrente alternada e de tensão constante, para que os efeitos de sopro magnético sejam atenuados. Na figura 6 pode-se observar o funcionamento do processo TIG com eletrodo nu.

Figura 6 – Processo TIG com eletrodo nu.

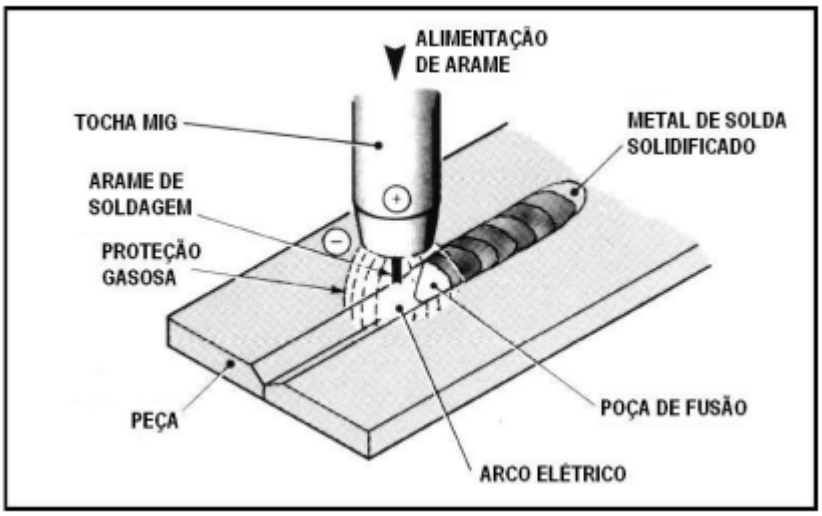


Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

2.7 Soldagem MIG

Para Fortes, Vaz (2005), na soldagem MIG/MAG um arco elétrico é realizado entre a peça e um eletrodo em formato de arame. O arco funde continuamente o arame à medida que este é alimentado à poça de fusão. O metal de solda é protegido da atmosfera pelo fluxo de um gás (ou mistura de gases) inerte ou ativo. A figura 7 mostra este processo.

Figura 7 - Processo de Soldagem MIG/MAG



Fonte: Fortes, Vaz (2005).

De acordo com Fortes (2005), este processo funciona em corrente contínua e geralmente com o arame no pólo positivo. Essa configuração é chamada de polaridade reversa. Também possui a polaridade direta, mas como há pouca eficiência em realizar a transferência do metal fundido do arame de solda para a peça, não é tão utilizado quanto outras técnicas.

Utiliza-se geralmente correntes de soldagem de 50A até mais que 600A e tensões de soldagem entre 15V e 32V.

O método de soldagem MIG/MAG é aplicado em todos os metais comercialmente importantes como os alumínios, aços, cobre, aços inoxidáveis etc. Materiais com espessura acima de 0,76mm podem ser soldados basicamente em todas as posições.

As vantagens deste processo são:

- Não precisa ficar removendo escória;
- Não há restrição de posição de soldagem;
- Menor distorção das peças;
- Altas velocidades de soldagem;
- Alta taxa de saída do metal de solda;
- Comparado com o eletrodo revestido, é duas vezes mais rápido o tempo total de execução de solda;
- Sem risco de perda de pontas, ao contrário do eletrodo revestido.

Na tabela 4 é mostrado as características, vantagens, desvantagens e equipamentos utilizados pelo processo MIG/MAG.

Tabela 4 – Características do processo MIG/MAG.

<table>
<tr><td>Tipo de operação
- manual ou automática</td><td rowspan="2">Equipamentos
Gerador, retificador
Pistola
Cilindro de gases
Unidade de alimentação do eletrodo nu</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Características do processo
Taxa de deposição: 1 a 15 kg/h
Espessuras soldadas: 3mm mínima na soldagem semi-automática e 1,5 mm na soldagem automática
Posição de soldagem: todas
Tipo de junta: Todas
Diluição 10 a 30%
Faixa de corrente: 60 a 500 A</td></tr>
<tr><td>Custo do equipamento
5 a 10 vezes o custo do equipamento de eletrodo revestido</td></tr>
<tr><td>Consumíveis
Eletrodo nu 0,5 a 1,6 mm
Bocal
Gases: Argônio, hélio, CO_2 e misturas (argônio + CO_2, argônio + oxigênio)</td></tr>
<tr><td>Vantagens
Taxa de deposição elevada
Poucas operações de acabamento
Solda com baixo teor de hidrogênio
Facilidade de execução da soldagem</td><td>Limitações
Velocidade de resfriamento elevada com possibilidade de trincas
Dificuldade na soldagem em locais de difícil acesso</td></tr>
<tr><td colspan="2">Segurança:
Proteção ocular
Proteção da pele para evitar queimaduras pela radiação ultravioleta e projeções metálicas</td></tr>
</table>

Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

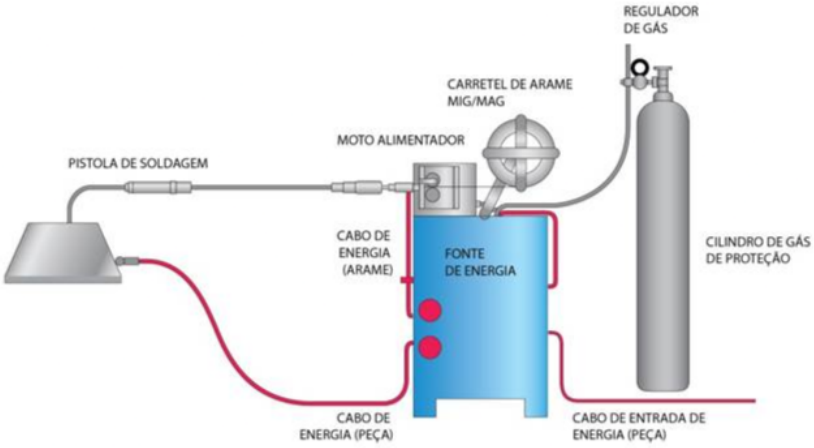
Sobre o processo de soldagem MIG/MAG entende-se que:

> O processo de soldagem MIG/MAG, por ser um processo que utiliza eletrodo consumível, é caracterizado pela transferência de metal para a poça de fusão através do arco. Esta transferência ocorre por meio de gotas de metal fundido geradas na ponta do arame-eletrodo (com diferentes tempos de crescimento, dimensões e frequências de destacamento) e é influenciada, dentre outros fatores, pelo material e diâmetro do eletrodo, pelo gás de proteção, pela intensidade e polaridade da corrente de soldagem, pelo comprimento do arco e pela pressão ambiente. (SCOTTI, PONOMAREV, 2008, p.121).

2.8 Equipamentos

Os equipamentos básicos para a soldagem MIG/MAG são mostrados na figura 8.

Figura 8 – Equipamentos básicos de soldagem MIG.

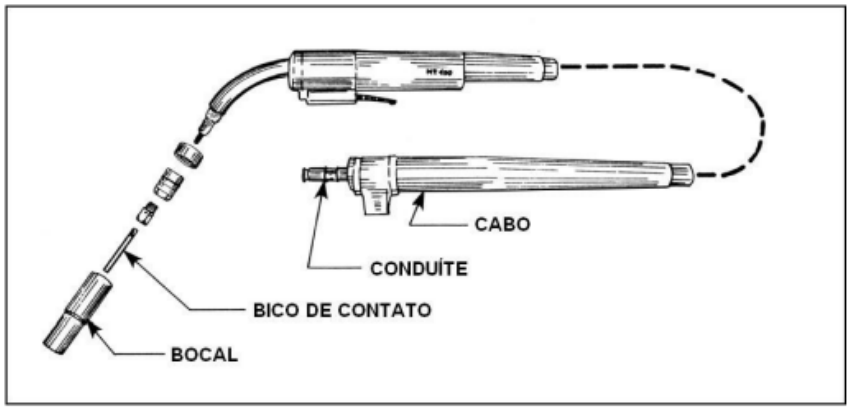


Fonte: Ferraz (2013).

Tochas de soldagem e acessórios: Para Fortes, Vaz (2005) a tocha guia o arame e o gás de proteção para a região de soldagem. Ela também leva a energia de soldagem até o arame. Foram desenvolvidos diversos tipos de tochas para possibilitar o potencial máximo deste tipo de solda nos mais variados tipos de aplicações.

A figura 9 mostra uma tocha utilizada em soldas MIG/MAG.

Figura 9 – Tocha MIG/MAG.



Fonte: Fortes, Vaz (2005).

Alimentador de arame: A principal função é puxar o arame do carretel e alimentá-lo ao arco.

O gás de proteção, a fonte de soldagem e a água são enviados à tocha pela caixa de controle.

Fonte de Soldagem: Quase todas as soldas com o processo MIG/MAG são feitas com polaridade inversa (CC+). O pólo positivo é conectado à tocha, enquanto o negativo é conectado à peça. Fortes, Vaz (2005, p.15).

A velocidade do arame e a corrente são controladas pelo controle de soldagem e o ajuste básico é no comprimento do arco, que é ajustado pela tensão de soldagem.

2.9 Variáveis do processo

Conforme a norma ASME, seção IX, edição de 1983, as variáveis são as seguintes:

Qualificação do procedimento: metal base; metal de adição; tratamento térmico após soldagem; pré aquecimento; tipo de gás de proteção; tipo de junta; posição de soldagem; características elétricas; e técnica de soldagem.

Dessas, apenas as três primeiras são essenciais, já as outras são classificadas como não essenciais. Entretanto, o preaquecimento e o tipo de gás, dependendo da aplicação, podem ser considerados essenciais.

Além de classificar o procedimento, a qualificação do soldador também é levada em consideração, junto a: tipo de junta; metal-base; metal de adição; posição da soldagem; tipo de gás de proteção; e características elétricas.

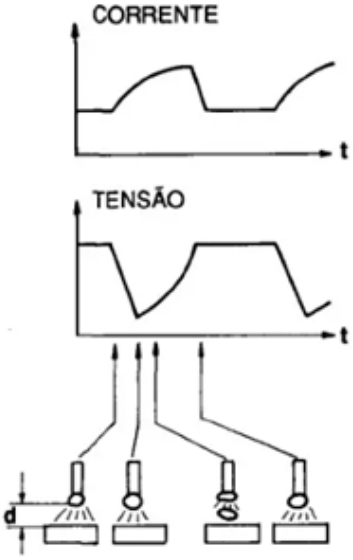
2.10 Características elétricas de transferência

Para Wainer, Brandi, Mello (2004), existem quatro tipos de transferência metálica no processo MIG/MAG: globular, por curto-circuito, por pulverização axial e rotacional, e por arco pulsado.

Transferência globular – especialmente utilizada para os gases de proteção CO_2 e hélio, ocorre em baixas densidades de corrente. Pelo fato de a gota formada na ponta do eletrodo ter um diâmetro maior que esse, há a dificuldade de soldar fora de posição. A quantidade de calor designada na peça tem um valor intermediário quando comparado a outros modos de transferência.

O funcionamento da transferência globular pode ser visualizado na figura 10.

Figura 10 – Processo MIG por transferência globular, indicando a variação da tensão e corrente de soldagem durante o método.

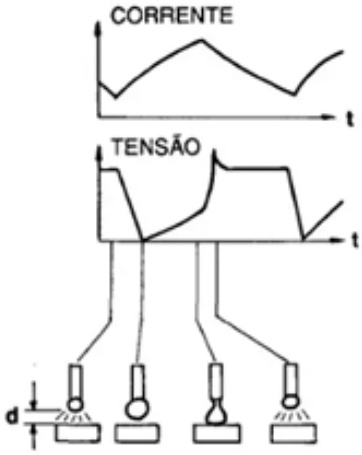


Fonte: Wainer, Brandi, Mello, (2004).

Transferência por curto-circuito – aplicados em eletrodos com diâmetro menor que o convencional (0,8 a 1,2mm), para valores mais baixos de corrente que a transferência globular e para qualquer tipo de gás de proteção.

Na figura 11 visualiza-se o funcionamento da transferência por curto-circuito.

Figura 11 – Esquema da transferência metálica por curto-circuito.



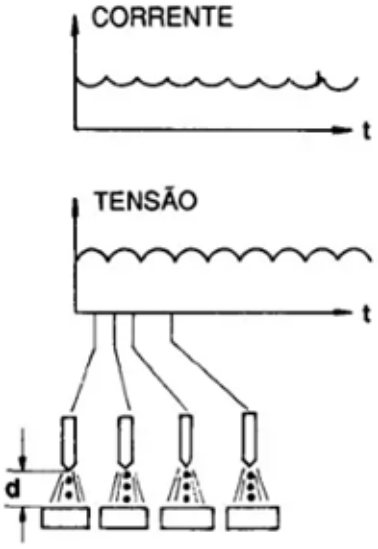
Fonte: Wainer, Brandi, Mello, (2004).

Transferência por pulverização - Utilizada em elevadas densidades de correntes, além da utilização de gás de proteção contendo argônio ou misturas com grandes quantidades desse. O funcionamento desta transferência pode ser visualizado na figura 12.

Conforme Wainer, Brandi, Mello (2004), a gota que se forma na ponta do eletrodo nu tem o diâmetro menor que o próprio eletrodo e é axialmente direcionada. A quantidade de calor colocada na peça para a solda é bastante elevada, sendo esse modo de transferência adequado para soldar chapas grossas.

A penetração é elevada, e solda-se as chapas nas posições plana e horizontal.

Figura 12 – Processo MIG usando transferência por pulverização.



Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

Transferência por arco pulsado – a transferência é realizada por meio da pulverização axial. Nesse processo, gera-se dois níveis de corrente.

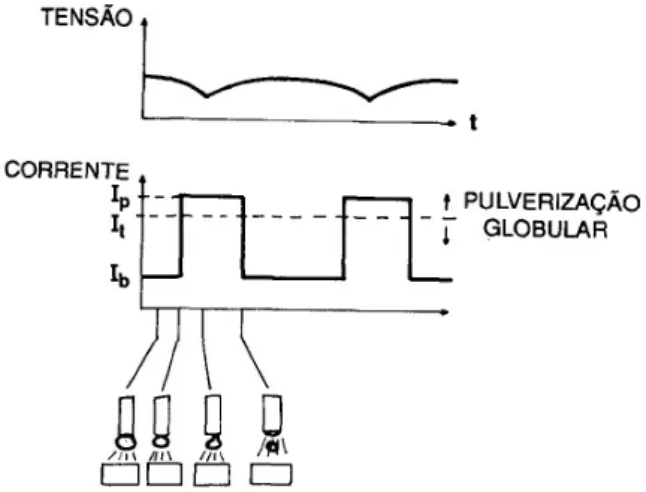
Para Wainer, Brandi, Mello (2004, p. 106)

> No primeiro, a corrente de base (Ib) é tão baixa que não há transferência, mas somente o início da fusão do arame. No segundo, a corrente de pico (Ip) é superior à corrente de transição globular/pulverização (It), ocasionando a transferência de uma

única gota. Com isso consegue-se uma transferência com característica de pulverização, porém com uma corrente média bem menor.

O processo de transferência por arco pulsado é indicado na figura 13.

Figura 13 – Transferência por arco pulsado.



Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

2.11 Gás de Proteção

De acordo com Fortes, Vaz (2005) o ar atmosférico é retirado da região de soldagem por um gás de proteção com a finalidade de manter a poça de fusão longe de contaminações. A contaminação é causada principalmente pelo nitrogênio (N2), oxigênio (O2) e vapor d'água (H2O) presentes na atmosfera.

O tipo de gás influencia no modo de transferência e nos formatos do arco e do cordão. Essa proteção pode ser feita com gases inertes (argônio, hélio ou suas misturas) ou de gases ativos (Solda MAG).

A tabela 5 compara a diferença entre o hélio e o argônio puro na soldagem MIG.

Tabela 5 – Comparação entre hélio e argônio (puros).

Característica	Argônio	Hélio
Condutividade térmica	Baixa	Elevada
Tensão do arco	Menor	Maior
Calor gerado no arco	Menor	Maior
Aplicações	Chapas finas; metais de baixa condutividade térmica	Chapas grossas; metais de elevada condutividade térmica
Penetração central	Maior que nas laterais	Menor
Largura do cordão	Mais estreito	Mais largo

Transferência metálica	Todos os tipos	Globular ou curto-circuito
Estabilidade do arco	boa	Instável
Velocidade de soldagem	Menor	Maior
Efeito de limpeza na soldagem de alumínio e suas ligas	Maior	Menor
Custo/volume de gás	Menor	Maior
Peso em relação ao ar	38% a mais	14% do ar

Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

A tabela 6 indica os tipos de gases, comportamento químico e as aplicações típicas no processo MIG/MAG

Tabela 6 – Tipos de Gases de Proteção Usados em MIG/MAG.

Gás de proteção	Comportamento químico	Aplicações típicas
Argônio (A)	inerte	todas as ligas, exceto aços
Hélio (He)	inerte	alumínio, magnésio e cobre; para maiores espessuras e reduzir a porosidade
A+(20 - 80%) Hélio	inerte	alumínio, magnésio e cobre; para maiores espessuras e reduzir a porosidade; tem melhor ação que 100% He
A+(1 - 2%) oxigênio	levemente oxidante	aços inoxidáveis e aços ligados
A+(3 - 5%) oxigênio	oxidante	aço-carbono e alguns aços de baixa liga
CO_2	oxidante	aço-carbono e alguns aços de baixa liga
A+(20 - 50%)CO_2	oxidante	aço-carbono (transferência por curto-circuito)
A+10%CO_2+5%oxigênio	oxidante	aços-carbonos (Europa)
CO_2+20%oxigênio	oxidante	aços-carbonos (Japão)
90% He+7,5%A+2,5%O_2	levemente oxidante	aços inoxidáveis para boa resistência à corrosão (transferência por curto-circuito)

(50 - 70%)He+(25-35%)A+ (4 - 5%) CO_2	oxidante	aços de baixa liga para boa tenacidade (transferência por curto-circuito)

Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

O argônio é cerca de 10 vezes mais pesado que o hélio e tem uma melhor proteção quando comparado com a mesma vazão do hélio.

Misturas gasosas: As misturas de gases inertes têm como objetivo obter características intermediárias entre as mostradas na tabela 6, já que a adição de hélio ao argônio melhora o contorno do cordão. Porém deve ser destacado que caso o teor de hélio for maior que 50%, não se obtém transferência por pulverização axial. (WAINER, BRANDI, MELLO, 2004).

2.12 Técnicas de soldagem MIG/MAG

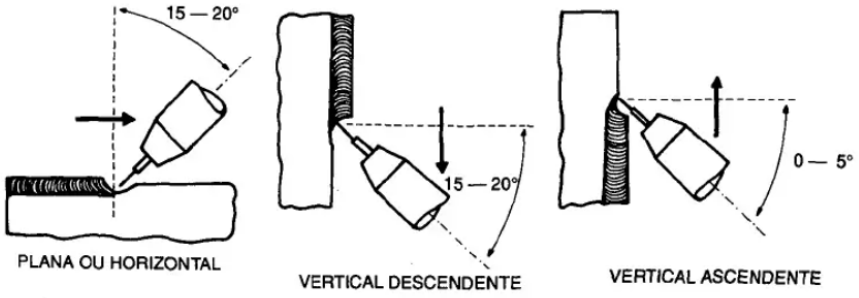
Wainer, Brandi, Mello (2004) citam que há duas técnicas de soldagem, a linear para a frente e a para trás. Na soldagem linear para frente, há uma maior penetração do metal e um cordão mais baixo e mais largo. Na soldagem linear para trás, a penetração é aumentada ainda mais e o cordão fica mais convexo e mais estreito, o arco acaba ficando mais estável diminuindo consideravelmente a quantidade de respingos de metal.

O ângulo entre a pistola e a peça a ser soldada varia conforme o tipo de transferência metálica, se é curto-circuito ou pulverização, técnica de soldagem e os ajustes nas pistolas.

A transferência por curto-circuito permite a soldagem em diversas posições.

A Figura 14 mostra os ângulos entre a peça e a pistola de soldagem.

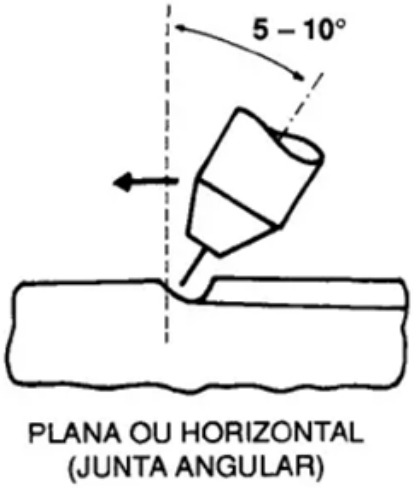
Figura 14 – Ângulo entre a pistola e a peça na transferência por curto-circuito.



Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

A transferência por pulverização só é possível realizar a soldagem na posição plana ou junta angular na horizontal, mostrado na figura 15.

Figura 15 – Ângulo entre a pistola e a peça na transferência por pulverização.



Fonte: Wainer, Brandi, Mello (2004).

3. METODOLOGIA

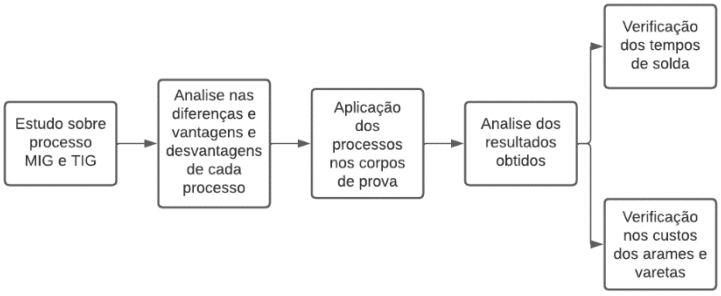
Neste trabalho utilizou-se dados disponibilizados pela maior fundição das Américas, estes dados foram obtidos com especialistas da área e atuantes das funções de soldagem e caldeiraria.

Foram capturadas imagens dos equipamentos utilizados, eletrodos e tipos de gases utilizados em cada técnica de soldagem. Coletou-se custos destes equipamentos, os tempos de cada tipo de soldagem em uma chapa de aço 1020, capacitação e nível de experiência do funcionário.

Para obter as imagens e os custos, pediu-se para os profissionais que atuam na área obter com suprimentos quanto estavam pagando pelos arames e varetas e as imagens o técnico da área cedeu um horário para soldar com MIG e TIG e assim fazer a filmagem.

A figura 16 exemplifica como funcionou o processo de pesquisa do trabalho até o resultado.

Figura 16 – Fluxograma das etapas do trabalho.



Fonte: Os autores (2023).

O técnico explicou qual o nível de experiência era necessário para realizar cada tipo de solda.

Estas informações têm a finalidade de comparar as soldas TIG e MIG, com o intuito de visualizar o melhor custo-benefício e entender em quais tipos de situações uma técnica se sobressai em relação a outra.

Todos os testes foram feitos em Aço 1020. Foi soldado uma chapa com 300mm de comprimento e espessura de 3/16” bem no centro de outra chapa de mesmo tamanho com um cordão de solda de filete.

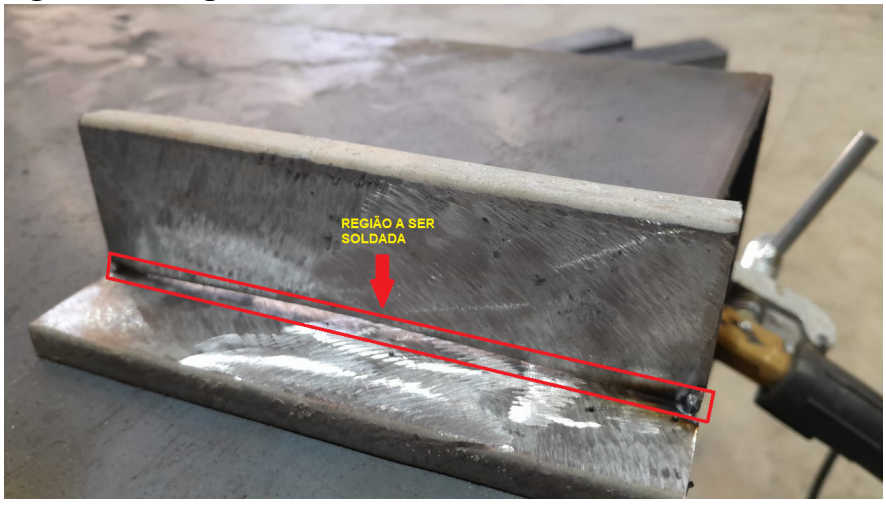
A figura 17 mostra as chapas a serem soldadas.

Figura 17 – Corpos de prova.

Fonte: Os autores (2023).

A região onde receberá o cordão de solda para cronometrar o tempo, tanto para solda MIG quanto para TIG é indicado na figura 18.

Figura 18 – Região onde será feito o cordão de solda.



Fonte: Os autores (2023).

Equipamentos utilizados para soldagem TIG:

- Fonte de Energia;
- Cabo de aterramento;
- Tocha de Soldagem;
- Tanque de Gás de Proteção (Argônio Puro);
- Vareta de Aço Carbono (Ø 2,40mm).

Estes equipamentos podem ser visualizados na figura 19.

Variáveis Utilizadas:

- Corrente Contínua (CC);
- Gás de Proteção – Argônio Puro;
- Corrente Inicial – 80A;
- Corrente de Soldagem – 105A;
- Modo de Operação – 1;
- Rampa de Subida – 0,5 seg;
- Rampa de Descida – 0,1seg;
- Vareta de Aço Carbono (Ø 2,40mm).

Figura 19 – Equipamentos Utilizados TIG.

Fonte: Os autores (2023).

Equipamentos utilizados para soldagem MIG/MAG:

- Fonte de Energia;
- Cabo de aterramento;
- Pistola de Soldagem;
- Alimentador de Arame;
- Tanque de Gás de Proteção;
- Arame Cobreado (Ø 1,20mm).

Os equipamentos usados para soldar os corpos de provas são mostrados na figura 20.

Variáveis Utilizadas:

- Corrente Contínua (CC);
- Gás de Proteção – 25% Dióxido de Carbono, 75% Argônio;
- Corrente de Soldagem – 110 A;
- Velocidade de Alimentação Eletrodo (m/min) – 1,2;
- Tensão – 26 V;
- Arame Cobreado (Ø 1,20mm).

Figura 20 – Equipamentos Utilizados Soldagem MIG/MAG.

Fonte: Os autores (2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 7 menciona os preços de quatro eletrodos muito utilizados na solda MIG/MAG e TIG.

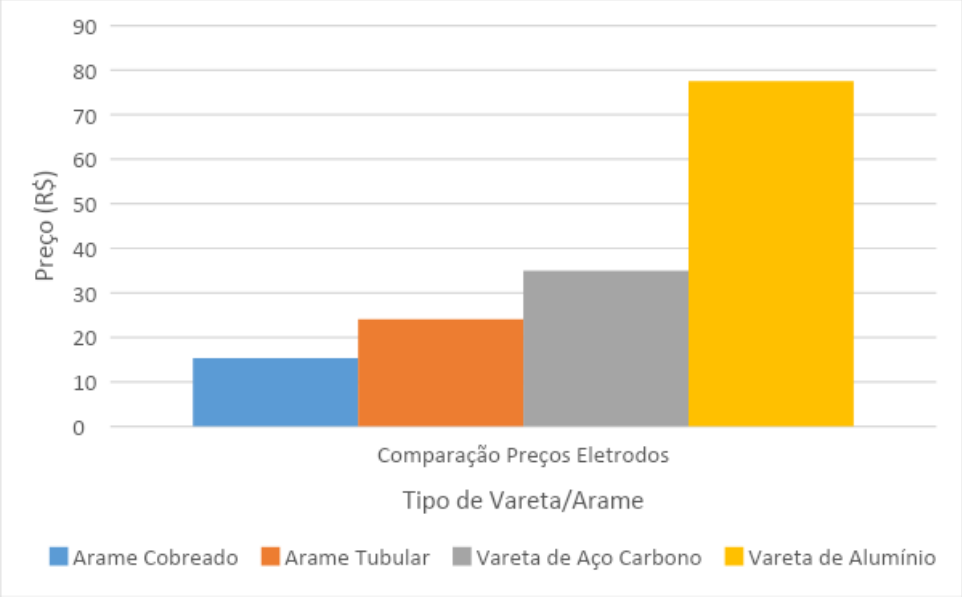
Tabela 7 – Comparação de Preços Arames/Vareta.

Tipo Vareta	Ø	Tipo Solda	Preço/Kg
Arame Cobreado	1,20mm	MIG/MAG	R$15,38
Arame Tubular	1,20mm	MIG/MAG	R$24,10
Vareta Aço Carbono	2,40mm	TIG	R$34,98
Vareta Alumínio	2,40mm	TIG	R$77,54

Fonte: Os autores (2023).

Pode-se ver o quão mais caro são as varetas do método TIG comparado com os arames de solda MIG/MAG através do gráfico 1.

Gráfico 1 – Comparação de Preços Varetas/Arames Soldas MIG/MAG e TIG



Fonte: Os autores (2023).

Observando a tabela e o gráfico acima percebe-se que o preço da vareta de aço carbono é 127% mais alto que o arame cobreado e 45% mais alto que o arame tubular. O preço da vareta de Alumínio é 121,66% mais alto que a vareta de aço carbono.

Portanto a solda MIG/MAG acaba tendo vantagem em relação ao preço comparado a outra técnica. Porém a técnica TIG é mais utilizada em materiais mais nobres e que necessitam de alta qualidade, a outra é mais para aços comuns e, isso explica a diferença de preço.

A tabela 8 abaixo compara os tempos para realizar o cordão de solda e unir as duas chapas de 3/16”.

Tabela 8 – Comparação de Tempo de Solda.

Tipo de Solda	Material	Tempo de Solda	Gás
MIG/MAG	Chapa 3/16”x300mm	1min.33seg.	25%Dióxido de Carbono 75% Argônio
TIG	Chapa 3/16”x300mm	1min.45seg.	Argônio Puro

Fonte: Os autores (2023).

Ambas as soldas comparadas na tabela 8 acima foram realizadas com pistolas manuais e soldadas pela mesma pessoa. Pela tabela acima nota-se que a solda MIG/MAG foi mais rápida em relação a TIG com uma diferença de tempo de 12 segundos, como era de se esperar. Porém isso pode ter várias causas, como a experiência do operador, tipo de cordão e posição de soldagem.

A técnica TIG é mais utilizada em tubulações, por não precisar ficar limpando a região e retirando a escória pós solda. Porém não é em qualquer ocasião que se pode utilizar este processo, se estiver em um ambiente aberto com muito vento ou chuva por exemplo, não seria

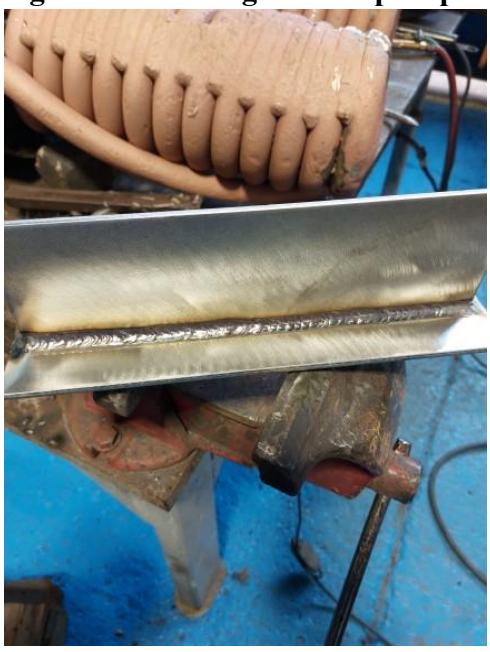
possível soldar com esta técnica, deve ser feita em ambiente fechado e controlado, onde não haja interferência do ambiente.

Com a solda MIG/MAG a preparação para soldagem foi mais simples, pois não precisou limpar o material nem de ter cuidado com o ambiente ao redor. Isso acabou sendo uma vantagem para esta técnica.

Para soldar a chapa de metal pelo processo TIG foi necessário primeiramente limpar a região a receber solda, pois não pode haver sujeira, poeira etc. Para isso passou-se uma esmerilhadeira na chapa para deixar bem liso e limpo, em seguida foi feito a solda, um cordão de 300mm para unir duas chapas, foi feito solda somente em um lado da chapa para cada técnica.

As figuras 21 e 22 mostram o resultado de um cordão de solda feito com o processo TIG.

Figura 21 – Soldagem feita pelo processo TIG.



Fonte: Os autores (2023).

Figura 22 – Soldagem feita pelo processo TIG.

Fonte: Os autores (2023).

Para realizar este tipo de solda é necessário um profissional com mais experiência do que a solda MIG/MAG.

O soldador teve dificuldade em configurar o equipamento até chegar nos resultados das figuras 21 e 22. Acabou com alguns corpos de prova sendo perfurados pelo cordão de solda.

A figura 23 mostra um corpo de prova com uma perfuração em função do soldador ter dificuldades de configurar o equipamento.

Figura 23 – Corpo de prova com perfuração

Fonte: Os autores (2023).

O processo de solda MIG/MAG é simples e prático, amplamente utilizado pelos profissionais, geralmente a técnica TIG é realizada por colaboradores com mais de 5 anos de experiência, enquanto a outra pode-se realizar com o profissional ainda em experiência.

Ao contrário da TIG, o processo MIG/MAG consegue-se utilizar em qualquer ambiente basicamente, não precisa de limpeza na peça nem de ambiente controlado, que não seja sujo, ventando, chuva etc. Porém é uma solda que precisa ficar passando escova para retirar sujeira e dar um acabamento melhor.

Na figura 24 e 25 podemos ver bem a situação do processo realizado por MIG/MAG.

Figura 24 – Chapa sendo Soldada pelo Processo MIG/MAG.

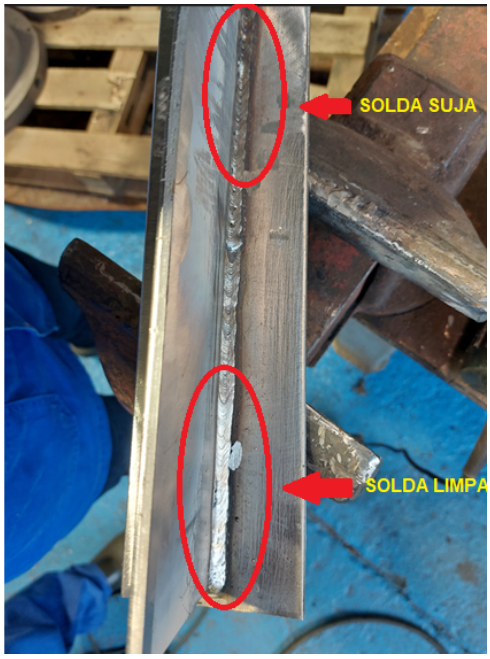
Fonte: Os autores (2023).

Figura 25 – Chapa Soldada pelo Processo MIG/MAG.

Fonte: Os autores (2023).

Pode-se visualizar o cordão de solda MIG após o acabamento com escova de aço na figura 26, percebendo-se que a solda ficou sem a tonalidade escurecida na região tratada.

Figura 26 – Solda MIG/MAG.



Fonte: Os autores (2023).

Para realizar as soldas com a técnica MIG o soldador não teve muitos problemas em configurar o equipamento de soldagem, foi bem mais fácil do que o outro método.

Para melhor comparação visualmente das duas técnicas, foi realizado a comparação lado a lado das figuras 22 e figura 26. A figura 22 foi feita a soldagem com o método TIG e a figura 26 com o processo MIG.

Figura 22 – Chapas unidas com solda TIG.

Fonte: Os autores (2023).

Figura 26 – Chapas unidas com solda MIG.

Fonte: Os autores (2023).

Com a comparação das imagens acima ambas as técnicas acabam sendo bem parecidas visualmente. Porém, para a solda MIG, foi necessário passar uma escova de aço para dar

acabamento no cordão. Ao contrário do método TIG, pois após o soldador terminar o cordão com a solda TIG, esta já estava acabada e de excelente qualidade.

Nas figuras 27 e 28 abaixo, observa-se outra comparação lado a lado dos cordões de soldas feitos pelos processos MIG e TIG. A figura 27 é um cordão de solda MIG e a figura 28 é um cordão de solda TIG em um tubo.

Figura 27 – Solda feita pelo processo MIG.

Fonte: Os autores (2023).

Figura 28 – Solda com processo TIG.

Fonte: Os autores (2023)

Observa-se que a solda TIG tem um acabamento de excelente qualidade, ao contrário da MIG.

5. CONCLUSÕES

Tendo em vista os aspectos observados, ao comparar os tipos de soldas MIG/MAG e TIG, para este tipo de situação e corpos de prova, conclui-se que a solda MIG possui mais vantagens em relação à outra, pois acaba sendo mais barato, não há necessidade de tanta experiência do profissional, possui um tempo menor de soldagem e o acabamento do cordão de solda acabou sendo bem parecido em comparação com a TIG.

O método TIG é melhor para realizar soldagens mais técnicas e é mais utilizado em materiais de ligas nobres, é pouco usado em aço comum.

O processo MIG/MAG é mais utilizado por ser mais versátil, com maior produtividade, facilidade de se realizar a técnica e pelo custo. Todavia não possui tanta qualidade quanto a TIG, necessita-se de ficar passando escova para limpar a região.

O ideal seria juntar o melhor dos dois mundos, uma solda que possuísse tanta qualidade quanto a TIG, porém que não houvesse restrições de soldagem igual a MIG/MAG e com um custo mais acessível.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos em primeiro lugar a Deus, que fez com que nossos objetivos fossem alcançados em todos esses anos de curso, por permitir que tivéssemos saúde e determinação para não desistir do curso e da realização deste trabalho.

Aos nossos amigos e familiares que nos deram total apoio e ajuda e contribuíram demais para a finalização deste TCC.

Por fim, somos gratos aos professores e orientadores por terem desempenhado a função com tanta dedicação, por nos ensinarem e contribuírem para o nosso aprendizado.

A instituição de ensino Unisociesc que foi essencial a todo o processo de formação e que nos proporcionou aprimorar nossos conhecimentos e qualificar nosso desenvolvimento pessoal e profissional.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, Thiago Lino. **Estudo do Uso de Atmosfera de Proteção Interna em Tubos de Aço Inoxidável AISI 304L no Processo de Soldagem TIG**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Santa Catarina, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1162/Thiago%20Lino%20Borges_TCCFAB_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.>. Acesso em: 13 jan. 2023.

BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Processo de soldagem TIG – GTAW**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2000. Disponível em: <http://www.asmtreinamentos.com.br/downloads/soldador/arquivo40.pdf>. Acesso em: 23 set. 2022.

FERRAZ, Júlio. **Solda TIG, MIG/MAG e Eletrodo Revestido.** Gerdau Brasil, 2013. Disponível em < https://www.profissionaldoaco.com.br/materia/soldas-tig-migmag-e-eletrodo-revestido>. Acesso em: 07 jan. 2023.

JÚNIOR, Raul Gohr. **Novos Métodos de Controle da Soldagem MIG/MAG.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. Disponível em: < https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83283/198517.pdf?sequence=1>. Acesso em: 23 set. 2022.

MODENESI, Paulo J., MARQUES, Paulo V., SANTOS, Dagoberto B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. Disponível em: < https://portalidea.com.br/cursos/auxiliar-de-servicos-gerais-metalurgicos-apostila04.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

MODENESI, Paulo J., MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem I: Introdução aos Processos de Soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2000. Disponível em: < http://www.asmtreinamentos.com.br/downloads/soldador/arquivo84.pdf>. Acesso em: 01 out. 2022.

NOGUEIRA, Romário Maurício Urbanetto. **Viabilidade do Cordão de Solda nos Processos de Soldagem MIG/MAG e Arame Tubular**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/169307/336497.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 jan. 2023.

PEIXOTO, Arildomá Lobato. **Soldagem**. [S.l.]: Instituto Federal do Paraná, 2013. Disponível em: < https://www.infolivros.org/pdfview/1094-soldagem-arildoma-lobato-peixoto/>. Acesso em: 19 nov. 2022.

RIBEIRO, Júlio César Bento. **Análise de Técnicas para a Soldagem TIG Automatizada.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2012. Disponível em: < https://core.ac.uk/download/pdf/30381301.pdf>. Acesso em: 21 set. 2022.

SOUZA, Daniel, et al. **Influência da Tensão de Soldagem e do Gás de Proteção Sobre a Correlação entre Indutância e Regularidade da Transferência metálica na soldagem MIG/MAG por Curto-Circuito.** Universidade Federal de Uberlândia, 2011. Disponível em: < https://www.scielo.br/j/si/a/wtmsPnj7w6ct3LtqfFbkygK/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 23 set. 2022.

WAINER, Emílio, BRANDI, Sérgio Duarte, MELLO, Fábio Décourt Homem de. **Soldagem: Processos e Metalurgia**. [S.l.]: Edgard Blucher Ltda, 2004. Disponível em: <https://www.academia.edu/11499301/Soldagem_processos_e_metalurgia_Wainer_Brandi>. Acesso em: 20 nov. 2022.