



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**AVALIAÇÃO DE POTENCIALIDADES DO PROCESSO DE SOLDAGEM
MIG/MAG COM ARAMES ELETRODO ULTRAFINOS**

Alessandro Augusto Olimpio Ferreira Vittorino
11221EMC007

ORIENTADOR: Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov

UBERLÂNDIA-MG
JANEIRO 2018

ALESSANDRO AUGUSTO OLIMPIO FERREIRA VITTORINO

**AVALIAÇÃO DE POTENCIALIDADES DO PROCESSO DE SOLDAGEM
MIG/MAG COM ARAMES ELETRODO ULTRAFINOS**

Monografia apresentada a
Faculdade de Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Uberlândia
como requisito para a obtenção de
créditos na disciplina
Projeto de Fim de Curso II -
FEMEC42100

Orientador: Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov
Universidade Federal de Uberlândia.

Prof. Dr. Douglas Bezerra, de Araújo
Universidade Federal de Uberlândia.

Me. Andrii Mishchenko
Universidade Federal de Uberlândia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que sempre se manteve ao meu lado, inclusive me motivando e dando forças para continuar cursando Engenharia Mecânica, e não desistir nas dificuldades encontradas ao longo do curso.

Ao meu orientador Volodymyr Ponomarov, por todo o conhecimento transmitido, pela paciência, atenção, disponibilidade e por acreditar em mim desde o período de Iniciação Científica.

Aos meus familiares, em especial ao meu pai e avó, por terem me ajudado sempre, me dando o apoio necessário e influenciado a continuar na busca dos meus sonhos e que eu posso ir sempre mais longe.

A minha namorada Leticia pela paciência, dedicação, ajuda, pelo amor e por estar sempre ao meu lado independentemente da situação e dificuldades.

As pessoas que me auxiliaram nos laboratórios, me auxiliando sempre que necessário na realização dos experimentos

A instituição da FEMEC e seus professores, por toda estrutura física e de ensino que me ajudaram a ser uma pessoa mais madura, instruída e responsável, ao longo desses anos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. ASPECTOS TEÓRICOS	2
3.1. Introdução Histórica	2
3.2. Classificação dos Processos de Soldagem	3
3.3. Processo MIG/MAG (GMAW)	4
3.3.1. Fonte de Energia	6
3.3.2. Transferência Metálica	6
4. EQUIPAMENTOS E METOLOGIA INSTRUMENTAL	9
4.1. Materiais e equipamentos utilizados	9
4.1.1. Consumíveis	9
4.1.2. Equipamentos	12
4.2. Metodologia experimental	18
4.2.1. Parâmetros operacionais da soldagem	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1. Resultados das Tabelas	24
5.2. Resultados das Amostras	28
5.3. Dificuldades do Processo	32
5.4. Vantagens do Processo	34
6. CONCLUSÕES	36
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Evolução dos Processos de Soldagem. ¹⁸	3
Figura 2 - Classificação dos principais Processos de Soldagem. (Fonte: Autor).....	4
Figura 3-Esquema do processo de soldagem MIG/MAG. ¹⁰	5
Figura 4- Esquema da tocha de soldagem. ¹⁰	5
Figura 5-Modos de transferência do metal de solda. ²	7
Figura 6 – Correntes de Transição em função do diâmetro do eletrodo.....	8
Figura 7-Arame Eletrodo utilizado nos testes.	9
Figura 8- Gás de proteção utilizado neste trabalho.	10
Figura 9- Manômetro utilizado no Laboratório.....	11
Figura 10- Altura do nariz dos perfis do Caso 2.....	12
Figura 11-Ângulo de chanfro.	12
Figura 12-Fonte de Soldagem Multiprocesso Inversal 450.....	13
Figura 13-Cabeçote de alimentação STA-20.....	14
Figura 14 -Tocha com cabo mais longo.	15
Figura 15-Tocha com o cabo mais curto.	15
Figura 16-Botão ON/OFF.....	16
Figura 17-Amperímetro alicate utilizado nos testes.	16
Figura 18 – Microscópio Utilizado para a captura das imagens das Macrografias.....	17
Figura 19- Equipamentos de proteção utilizados nos testes.....	17
Figura 20- Cordões obtidos na primeira fase de testes (Caso 1).....	18
Figura 21- Ponteamento realizado com eletrodo revestido.....	19
Figura 22- Cordões de solda do Caso 2.....	19
Figura 23- Cordões de solda realizados na posição vertical descendente (superior) -23A e cordões de solda realizados na posição plana (inferior) – 23B.	20
Figura 24- Corte longitudinal dos cordões dos dois primeiros casos.....	21
Figura 25- Corte transversal dos cordões.....	21
Figura 26- Amostras embutidas em resina.....	21
Figura 27- Solução Nital 10% m/v.....	22
Figura 28- Soldagem vertical descendente com arames ultrafinos.	23
Figura 29-Ampliação da Figura 23B, mostrando cordão cobrindo todo o vão.	27
Figura 30- Amostra 1.....	28
Figura 31- Amostra 1 (Zoom).....	28

Figura 32 - Amostra 2.....	29
Figura 33-Amostra 2 (Zoom)	29
Figura 34-Amostra 3.....	30
Figura 35-Amostra 3 (Zoom)	30
Figura 36-Amostra 4.....	31
Figura 37-Amostra 4 (Zoom)	31
Figura 38-Amostra 5.....	32
Figura 39-Ondulação do cordão de solda durante o passe de raiz.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Testes preliminares 1	24
Tabela 2-Testes Preliminares 2.....	25
Tabela 3- Testes Preliminares 3.....	25
Tabela 4- Caso 1	26
Tabela 5-Segundo Caso	27
Tabela 6- Caso 3	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

MIG/MAG- Metal Inert Gas / Metal Active Gas.

CO₂ - Dióxido de carbono

Ar- Argônio

LAPROSOLDA- Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Processos de Soldagem

ISO- International Organization for Standardization

HNO₃- Ácido nítrico

C.C - Corrente Contínua

C-C- Modo de Transferência Metálica em Curto-Circuito

ZAC - Zona Afetada pelo Calor

RESUMO

O presente trabalho discorre sobre a utilização da técnica de soldagem MIG/MAG com arames eletrodo ultrafinos (diâmetros inferiores a 0,8 mm), incluindo passes de raiz por Modo de transferência Spray nas posições de soldagem plana e vertical descendente, evidenciando seus pontos positivos e negativos. Foram realizados testes preliminares para se avaliar os parâmetros de soldagem adequados para se alcançar a forma de transferência metálica desejada, e para se observar os aspectos qualitativos do processo. Além destes testes, foram realizados experimentos definitivos, no intuito de se testar a viabilidade do processo, onde foram preparadas amostras selecionadas, e analisadas via microscópio. Por fim, foram realizados cordões em chapas finas de espessura de 3,5 mm obtendo resultados favoráveis para posteriores estudos, devido ao seu relativo potencial e melhor estabilidade em relação a chapas mais espessas.

PALAVRAS-CHAVE: Arames Ultrafinos, Transferência Spray, Soldagem em Chapas Finas

ABSTRACT

The present work describes the use of the MIG / MAG welding technique with ultrafine electrode wires (diameters less than 0.8 mm), including root pass by spray transfer mode in the flat and vertical down welding positions, showing their positive and negative points. Preliminary tests were performed to evaluate appropriate welding parameters to achieve the desired metallic transfer, and to observe the qualitative aspects of the process. In addition to these tests, were performed definitive experiments in order to test the viability of the process where selected samples were prepared and analyzed under a microscope. Finally, welding of thin sheets of thickness 3,5 mm were performed. These last tests showed promising results (robustness of the process) compared to thicker plates welding, thus justifying further studies.

KEYWORDS: Ultrafine Electrode Wires, Spray Transfer, Thin Plate Welding

1. INTRODUÇÃO

A soldagem é o processo de união metálica mais utilizado, devido a sua versatilidade, sua fácil aplicabilidade e boa relação custo/benefício. Dentre os principais processos deste método de união, se destaca aquele que utiliza um arco elétrico com uma proteção gasosa, conhecido no Brasil como processo GMAW, do inglês Gas Metal Arc Welding, ou processo MIG/MAG, do inglês Metal Inert Gas / Metal Active Gas, se referindo aos gases de proteção como inertes e ativos (ou misturas deles), respectivamente. O acrônimo GMAW é mais usado nos EUA, ao passo que MIG/MAG na Europa.

Este processo possui grande produtividade, devido a fatores como a elevada taxa de deposição de metal, conseqüentemente, velocidades de soldagem maiores, e a possibilidade de automatização do processo, além de outros fatores que serão explanados posteriormente.

Um importante parâmetro que influencia principalmente na taxa de deposição, estabilidade e qualidade da soldagem é o modo como o metal se desloca da ponta do arame para a poça de soldagem, em outras palavras, como ocorre a transferência metálica deste. Esta pode ser, basicamente, de três maneiras: em curto-circuito, globular e goticular (ou spray), sendo que esta última será abordada neste trabalho, devido as suas vantagens como arco mais estável, poucos respingos e cordões mais regulares.

Na busca por produtividade, os fabricantes visam a máxima capacidade do processo, em outras palavras, deseja-se equilibrar altas velocidades de soldagem e maior produção, sendo comum para atingi-las, a utilização, no processo GMAW, de arames mais grossos de 1,0 mm e 1,2 mm de diâmetro, permitindo que o processo além de viável, tenha uma boa relação custo/benefício, devido a seu grande rendimento nestas condições.

Devido ao grande uso do processo MIG/MAG com arames de calibre maior que 1,0 mm, boa parte da pesquisa científica se fez em torno da utilização destes arames, assim são poucas as publicações que se referem a aplicação de arames menos espessos, menores que 0,8 mm, estes chamados de ultrafinos, e os estudos são ainda mais escassos quando se tratam da aplicação destes no chão de fábrica.

Além disso é interessante ressaltar que apesar da grande produtividade do processo MIG/MAG, a viabilidade do uso destes arames em posições de soldagem que não seja plana, como a vertical e sobrecabeça, se torna menor conforme o aumento de corrente. As posições se encontram relacionadas intimamente com a maneira que o metal se deposita e com o tamanho

da poça de fusão, de maneira que a medida que a corrente aumenta, a poça de fusão tem a tendência de sair do controle na soldagem fora de posição.

Assim, pensando na utilização do processo MIG/MAG fora de posição, ou seja, de maneira vertical e sobrecabeça, e no pequeno número de estudos realizados com arames ultrafinos, este trabalho avaliou as possibilidades do uso de arames ultrafinos (0,6 mm e 0,8 mm) com transferência spray nas posições supracitadas e se estes são viáveis no campo industrial.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo explicar sobre aplicações de soldagem MIG/MAG com transferência metálica tipo Spray, obtida por arames de diâmetro menores que 0,8 mm chamados de ultrafinos, considerando suas possíveis posições de soldagem, tais como plana e fora de posição.

3. ASPECTOS TEÓRICOS

3.1. Introdução Histórica

Os processos de união de soldagem, na atualidade, possuem uma gama de aplicações que permitem a construção de estruturas metálicas diversas, embarcações, aviões, inúmeros usos na indústria automobilística, petrolífera, civil. Mas para isso, houve um grande desenvolvimento de inúmeras formas de união ao longo de milhares de anos, desde a antiguidade onde se utilizavam processos ainda rústicos de soldagem por forjamento, mais recentemente, no final do século XIX, houve a primeira patente de um processo de soldagem a arco utilizando um eletrodo de carvão e, principalmente na metade do século passado, motivado principalmente pela segunda guerra mundial, as aplicações e formas de soldagem tiveram um grande crescimento. A Figura 1 ilustra o maior desenvolvimento, pesquisa nos processos a partir do surgimento do arco elétrico e do teste com o eletrodo de carbono no século XIX, e em especial na metade do século XX.

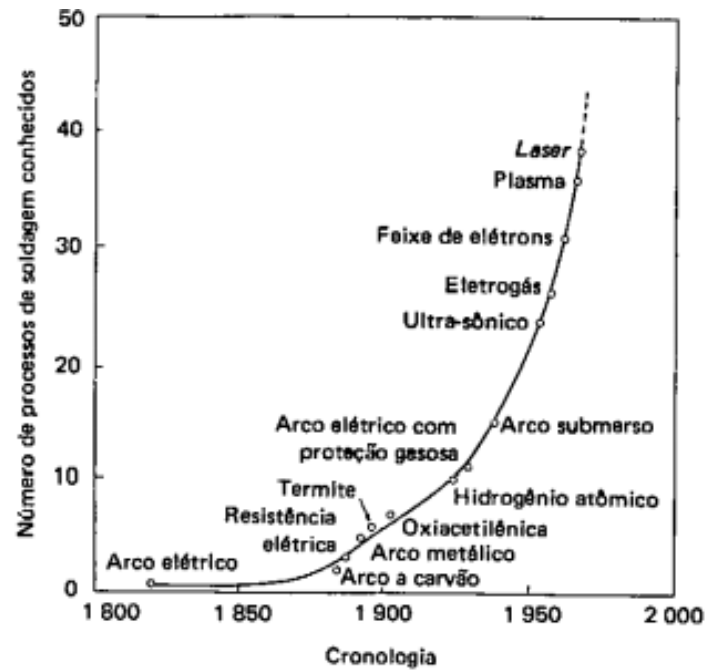


Figura 1-Evolução dos Processos de Soldagem. ¹⁸

3.2. Classificação dos Processos de Soldagem

Com o passar dos anos o avanço da tecnologia acompanhou também a soldagem, de forma que hoje existem mais de 50 processos de soldagem cada um com suas variedades, aplicações, vantagens e desvantagens, sendo que alguns processos possuem elementos comuns e outros não, surgindo então, para melhor entendê-los, a possibilidade de classificação. Existem várias formas de classificação dos processos de soldagem, mas para simplificar serão mostrados na Figura 2 os principais.

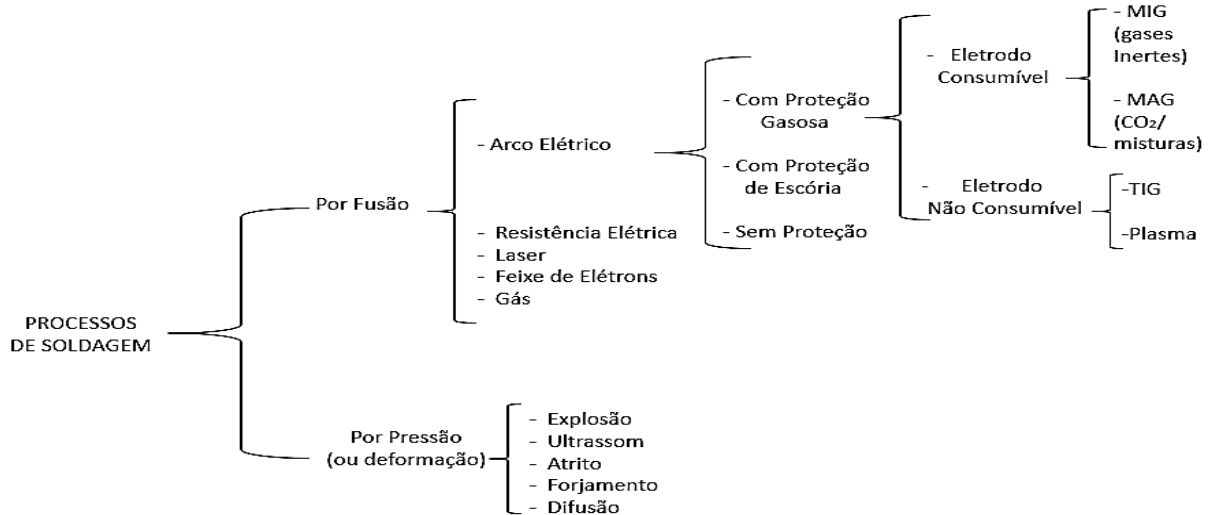


Figura 2 - Classificação dos principais Processos de Soldagem. (Fonte: Autor)

Apesar de não existir uma classificação universal dos mais de 50 processos de soldagem, é comum se encontrar as duas divisões acima, que são baseadas no processo físico. Em síntese os processos de soldagem podem ser por pressão ou por fusão. Menos empregados que os processos baseados na fusão de material, a Soldagem por Pressão funciona unindo, pressionando e aquecendo as partes sem, contudo, mudança de estado físico, caracterizando então um processo em estado sólido. Com uma versatilidade maior, o processo que se utiliza de energia química ou elétrica para promover a fusão, em especial os processos que se utilizam de um arco elétrico com proteção gasosa são os mais empregados atualmente, devido a sua melhor relação custo/benefício em relação aos outros processos. Neste trabalho será abordada a versão da soldagem baseada no arco elétrico que é mais utilizada no meio industrial: MIG/MAG.

3.3. Processo MIG/MAG (GMAW)

Com o surgimento nos anos 1920, este se baseia em um processo de união por calor, oriundo de um arco elétrico que existe entre uma peça (com polaridade negativa) e um arame-eletrodo consumível (com polaridade positiva), ambos protegidos por uma atmosfera gasosa, que pode ser composta de gases inertes, como Argônio, Hélio (MIG), ou por gases ativos como CO₂ e/ou misturas de gases (MAG). Este conjunto faz com que o processo seja um dos mais versáteis, permitindo soldagem em todas as posições, podendo também ser automático ou semiautomático, onde o operador controla a alimentação de arame, esse conjunto de vantagens,

permite altas taxas de deposição sendo um processo bastante produtivo e sem formação de escória. A representação esquemática dos equipamentos básicos do processo pode ser observada na Figura 3.

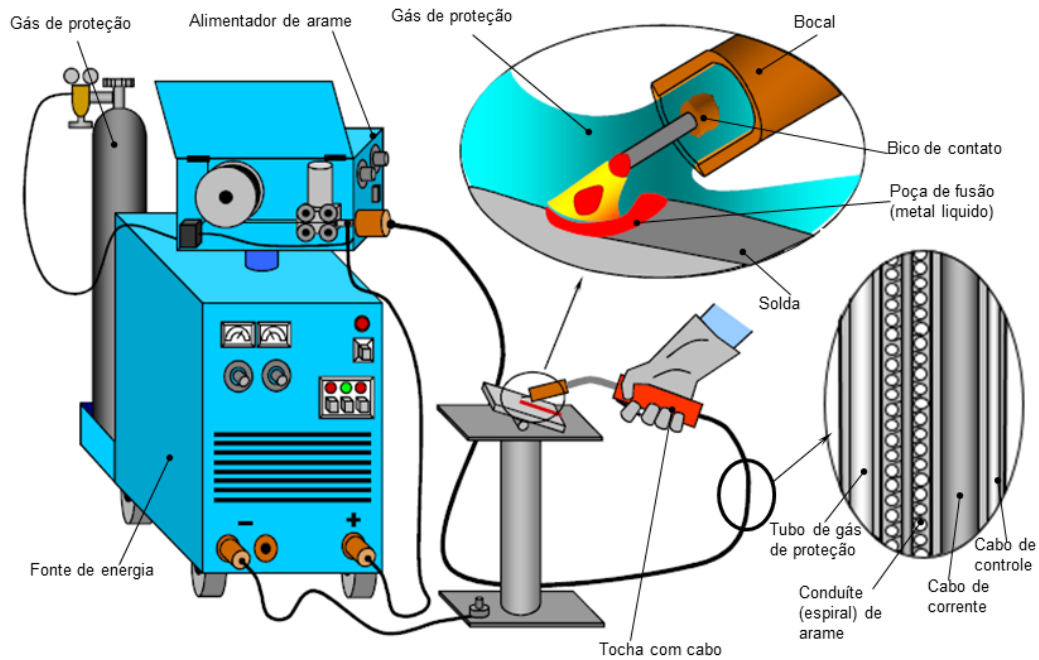


Figura 3-Esquema do processo de soldagem MIG/MAG. ¹⁰

Acima é possível se ver uma fonte geradora, um alimentador de arame e o reservatório de gás conectados em uma tocha, que abre um arco com a peça e forma uma poça de fusão dando início ao cordão de solda, esquema representado pela Figura 4 abaixo.

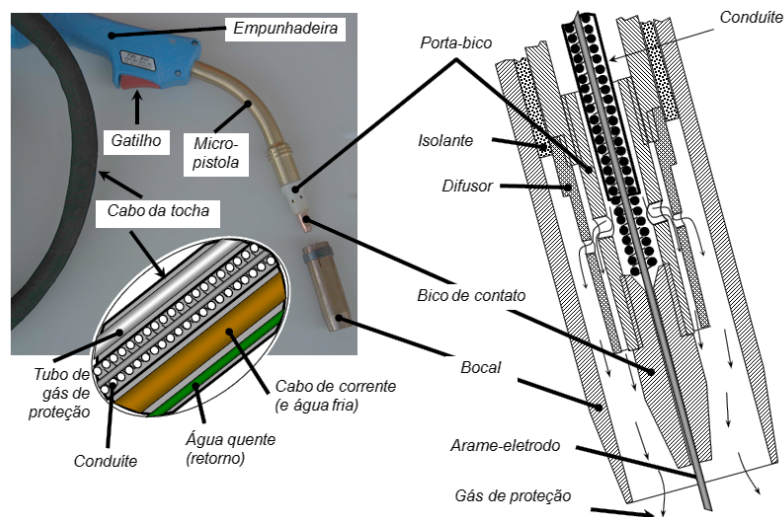


Figura 4- Esquema da tocha de soldagem. ¹⁰

A tocha de soldagem (detalhada acima), possui a função de direcionar o fluxo do gás de proteção, o arame consumível e, quando necessário o fluido refrigerante que circula sobre a tocha, seus principais componentes são o bico de contato de cobre condutor, bocal que orienta o fluxo, o conduíte que direciona o arame, todos conectados ao cabo de soldagem.

3.3.1. Fonte de Energia

O processo MIG/MAG utiliza, na maioria das vezes, de fontes de corrente contínua (C.C) com a característica estática da fonte de tensão constante, estas proporcionam uma tensão de arco constante e determinam o comprimento do arco, ou seja a tensão entre a extremidade do arame e a peça. Este sistema permite que, caso exista uma mudança repentina da tensão do arco ou da velocidade de alimentação, a fonte altera proporcionalmente o valor da corrente (e assim variando a taxa de fusão), conforme o comprimento do arco. Logo, alterações do comprimento de arco dependem do ajuste da tensão de entrada na fonte. Além disso, é válido ressaltar que alterações da velocidade de alimentação de arame implicará em variações da corrente de soldagem.

O difícil controle dos parâmetros acima é um dos problemas do processo, pois estes influenciam na qualidade final das uniões, que pode ser dotada de muitos defeitos que geram pontos de fragilização, além de respingos.

Além de corrente contínua, em casos especiais como será visto em breve, a fonte pode ser ajustada para o tipo de corrente pulsada o que permite soldar chapas de pequena espessura e soldagem vertical, utilizando uma transferência que gera poucos respingos, a qual será abordada no tópico abaixo, e que se denomina transferência spray.

3.3.2. Transferência Metálica

A soldagem MIG/MAG possui três formas de transferência metálica, ou seja, técnicas que descrevem a maneira pela qual o metal é transferido do arame para a poça de fusão, cada qual com suas características, sendo eles: curto-circuito, globular e aerossol ou spray, que podem ser representadas pelo desenho esquemático da Figura 5.

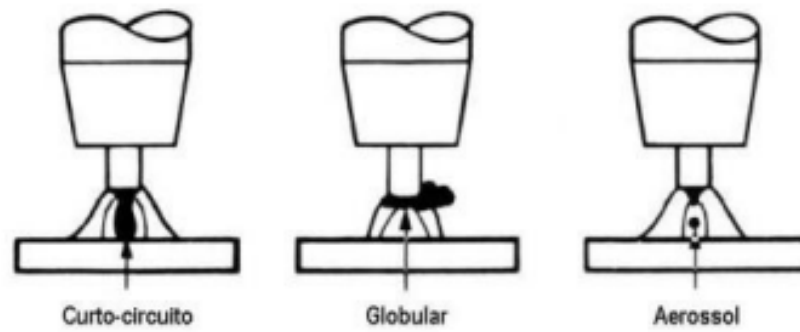


Figura 5-Modos de transferência do metal de solda.²

Estas formas ou modos de transferência possuem fatores que determinam como ocorrerá a transferência de metal que são a corrente de soldagem, o diâmetro do arame, o comprimento do arco (tensão), as características da fonte e o gás de proteção.

A transferência por curto-circuito ocorre com baixos valores de corrente e tensão e acontece quando um curto-circuito elétrico é estabelecido, quando o metal fundido na ponta do arame toca a poça de fusão. Essa técnica de soldagem é particularmente útil na união de materiais de pequena espessura em qualquer posição, materiais de grande espessura nas posições vertical e sobre cabeça, e quando se deseja reduzir a deformação da junta soldada, mas também possui o inconveniente de possuir um arco mais instável podendo gerar muitos respingos.

Com valores intermediários de tensão e corrente chegando a uma situação onde o diâmetro médio das gotas é maior que o do arame, sendo que esta deposita sobre o metal de base por ação da gravidade. Como neste processo temos gotas grandes e pode haver muitos respingos, normalmente o processo é pouco usado e se restringe à posição plana pelo fato da força gravitacional ser dominante, de maneira que para soldagem fora de posição a gota pode não atingir a poça de fusão adequadamente.

A medida em que se aumentam os valores de tensão e corrente, o diâmetro médio das gotas diminui e temos uma mudança do modo de transferência metálica para a transferência Spray (chamada também Goticular ou Aerossol), esta faixa de transição chama-se corrente de transição, e varia de material e do diâmetro do eletrodo, assim como do tipo do gás de proteção. Quanto maior o diâmetro do eletrodo, maior será a corrente, assim como a adição de CO₂ ao argônio, por exemplo, aumenta o valor da corrente. A partir desta tem-se o modo tipo spray. Neste caso, pequenas gotas de metal fundido são desprendidas da ponta do arame e projetadas por forças eletromagnéticas em direção à poça de fusão. As gotas que saem do arame são muito pequenas, proporcionando boa estabilidade ao arco, poucos respingos além de cordões regulares. Contudo esta técnica tem um melhor desempenho com misturas de gases adequadas

normalmente compostas de gases inertes ou em misturas ricas com estes, visto que gases ativos como o CO₂, aumentam a corrente de transição, até que acima do 25% de CO₂ a transferência spray não alcançável.

O processo se torna vantajoso devido a qualidade das uniões, poucos respingos e altas taxas de deposição, o que é um bom fator para a produtividade, no entanto, este tipo de transferência deve ser utilizado usualmente na posição plana, em razão da dificuldade em controlar a poça de fusão. Ademais, a aplicação desse modo de transferência para chapas finas é dificultada pelo fato de que a transferência por aerossol, necessita de altas correntes de soldagem. Uma alternativa para se realizar soldagem spray em chapas finas ou posição além da plana é a utilização da corrente pulsada. Esta permite uma variação da transferência por "spray", mais estável e uniforme, e que pode ser utilizada também em outras posições, além da plana, e permite que se obtenha a transferência tipo spray para baixos valores de corrente. Conseguem-se esta transferência com a alternância de valores alto e baixo da corrente sob uma frequência determinada. O nível baixo, que é a corrente de base, sustenta o arco aberto, mas não tem energia suficiente para formar a gota na ponta do arame; o nível alto, que é a corrente de pico, tem uma intensidade maior que a corrente de transição, necessária para ocorrer a transferência por "spray". Durante cada pulso, uma ou mais gotas são formadas e transferidas. A frequência e a intensidade do pulso controlam o nível de energia do arco, e conseqüentemente a velocidade com que o arame é fundido, sendo este, contudo um processo mais caro devido a necessidade de fontes especiais que possam efetuar esse controle.

Este trabalho pretende alcançar este tipo de transferência e sua utilização em chapas finas e para a soldagem fora de posição, como vertical, reduzindo o diâmetro do arame eletrodo. Como a Figura 6 permite entender, quanto menor a espessura do arame menor será a corrente de transição, permitindo uniões com as vantagens que a técnica permite com um custo menor.

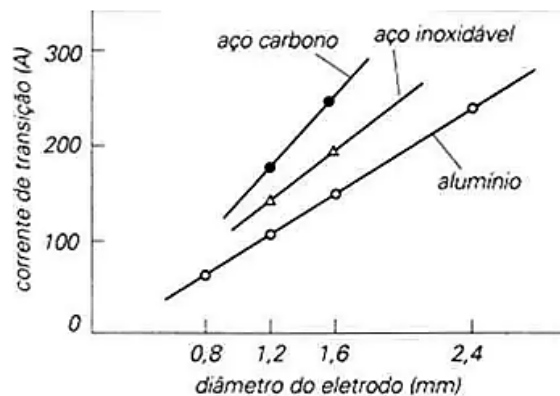


Figura 6 – Correntes de Transição em função do diâmetro do eletrodo

4. EQUIPAMENTOS E METOLOGIA INSTRUMENTAL

Esta seção apresenta a descrição e especificação dos materiais, equipamentos e a metodologia experimental utilizados neste trabalho.

4.1. Materiais e equipamentos utilizados

4.1.1. Consumíveis

Arame eletrodo

Na fase experimental deste trabalho foi utilizado um arame maciço da classe AWS A5.18 ER70S-6, conforme norma AWS – A 5.18 ER70S-6, como pode ser verificado na Figura 7.



Figura 7-Arame Eletrodo utilizado nos testes.

Para a execução do experimento foi adotado um consumível com diâmetro de 0.60 mm para que fosse possível verificar as possibilidades do modo transferência spray com arames ultrafinos, que não possui grande uso no meio industrial, se restringindo a reparos em automóveis.

Gás de proteção e Manômetro

O gás de proteção empregado neste trabalho foi a mistura de 93,6% Argônio (Ar) + 6,4% Gás Carbônico (CO₂) disponibilizado pelo LAPROSOLDA, como verificado na Figura 8.



Figura 8- Gás de proteção utilizado neste trabalho.

Com esta pequena adição de gás carbônico ao argônio temos uma melhoria na estabilidade do arco elétrico, contudo um aumento na corrente de transição. O manômetro utilizado é apresentado na Figura 9.



Figura 9- Manômetro utilizado no Laboratório.

Metal base

Para o metal base foram selecionadas chapas e barras de aço carbono de espessura relativamente grossa de dimensões 300 x 180 x 10 mm (Caso 1), 300 x 50 x 10 mm (Caso 2), que foram unidos de forma a constituírem **juntas em V** para preenchimento com passe de raiz, obedecendo os parâmetros de acordo com a norma ISO 9692-1,⁵ que prescreve que a altura do nariz ou face da raiz (parte da face do chanfro adjacente à raiz da junta soldada) seja de até 3 mm, e que a abertura da raiz seja menor que 3 mm e abertura até de 60°. Foi adotado uma face de raiz de 2 mm (Figura 10), abertura de 3 mm e chanfro menor que 60°, mensurado com um transferidor, conforme Figura 11. Foram também usadas as chapas finas de 300 x 50 x 3,5 mm para os testes denominados Caso 3.

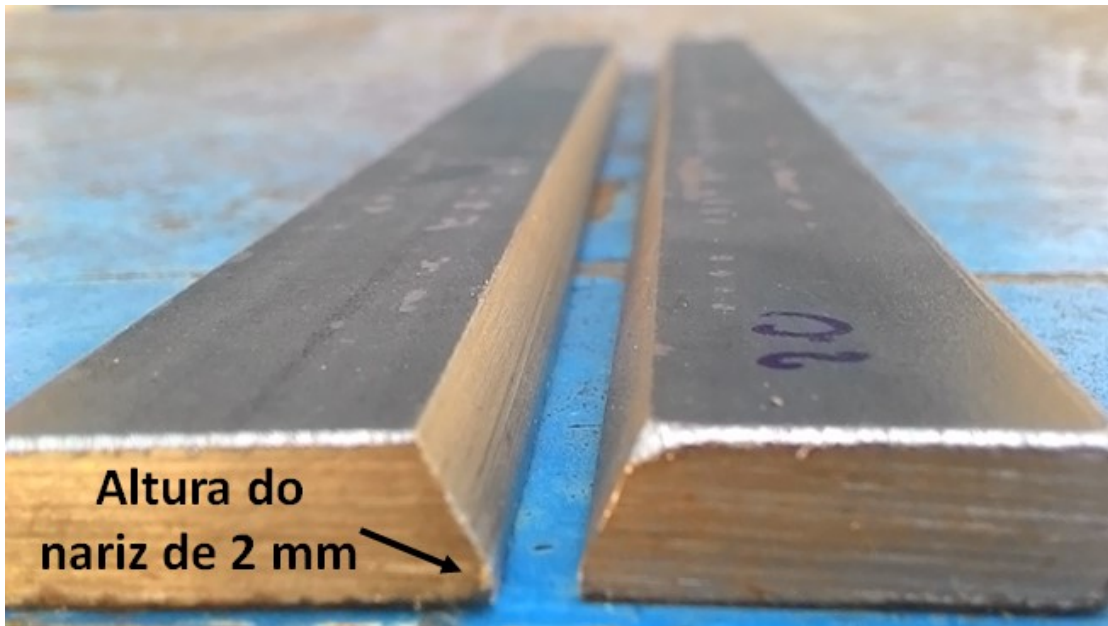


Figura 10- Altura do nariz dos perfis do Caso 2

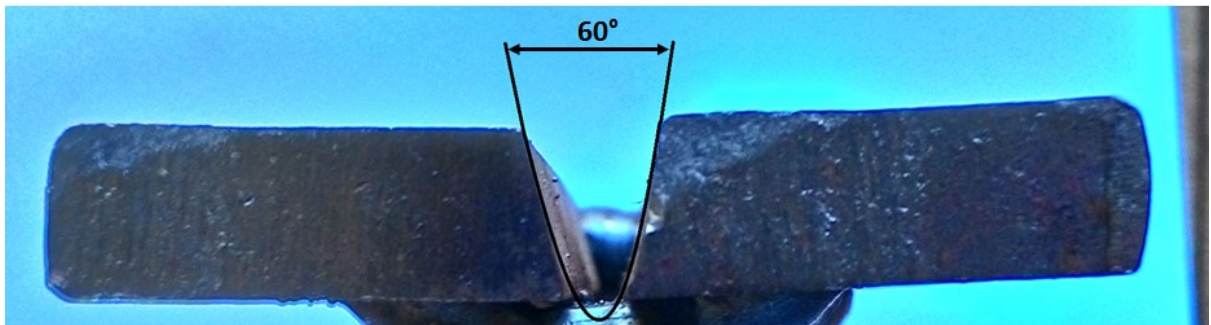


Figura 11-Ângulo de chanfro.

4.1.2. Equipamentos

A bancada de ensaio para a realização deste trabalho experimental foi composta pelos seguintes equipamentos:

- Fonte de soldagem;
- Sistema de alimentação do arame (cabeçote);
- Tocha de soldagem;
- Controle remoto (botão On/Off) de alimentação de arame;
- Amperímetro;
- Microscópio Ótico.
- Equipamentos de Proteção.

Os equipamentos citados acima são descritos a seguir.

Fonte de energia

Na Figura 14 é possível avaliar a fonte utilizada neste trabalho.



Figura 12-Fonte de Soldagem Multiprocesso Inversal 450.

Dados técnicos encontrados no manual da fabricante:

Tipo: Fonte de Soldagem Multiprocesso Inversal 450

Modelo: 450

Fabricante: IMC - Soldagem

Corrente Nominal: 280 A

Corrente Máxima: 450 A

Tensão de alimentação: 200, 380 ou 440 V, trifásico

Tensão em vazio: 68 V

Potência nominal: 13 kVA

Tipos de corrente: Contínua ou alternada (Constante ou pulsada)

Dimensões: 0,5 x 0,6 x 1,2 m

Peso: 170 kg

Circuito de arrefecimento: 3,5 litros de água destilada

Fator de Potência 0,95

Corrente a 100% Fc 280 A / 35 V

Sistema de alimentação do arame (cabeçote)

A Figura 15 mostra o cabeçote utilizado no trabalho.

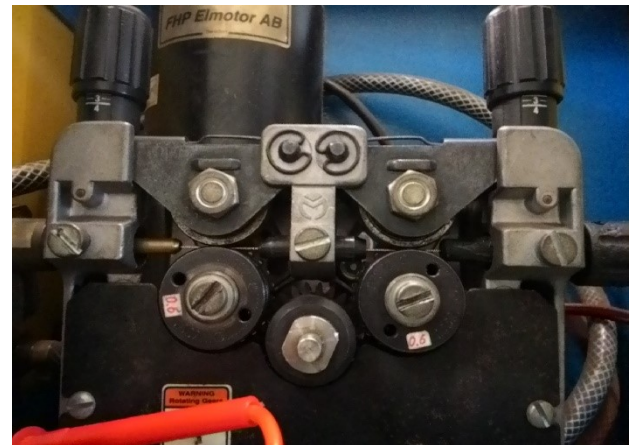


Figura 13-Cabeçote de alimentação STA-20.

Dados técnicos:

Modelo: STA-20;

Velocidade máxima de avanço do arame: 20,7 m/min;

Fabricante: IMC;

Rolete de tração com rasgo 0,6 mm.

Tochas de Soldagem



Figura 14 -Tocha com cabo mais longo.



Figura 15-Tocha com o cabo mais curto.

Foram utilizados nos testes dois tipos de tochas, tocha da Figura 14 com cabo mais longo e com alimentação regulada por um controle remoto (botão On/Off), e tocha da Figura 15 que é um tipo especial que possui um cabo mais curto que resolveu o problema de enrolamento do arame no cabeçote devido as altas velocidades.

Controle remoto (botão On/Off) de alimentação de arame

Para a regulagem de alimentação do arame foi utilizado um botão ON/OFF da Figura 16.



Figura 16-Botão ON/OFF

Amperímetro

O amperímetro utilizado para aferir as medições de corrente é do tipo Alicate Amperímetro Digital HIKARI modelo HA 3320, conforme Figura 17.



Figura 17-Amperímetro alicate utilizado nos testes.

Microscópio Ótico

Para realizar a captura das macrografias, foi utilizado o microscópio que consta na Figura 18 da marca Olympus modelo SZ61.

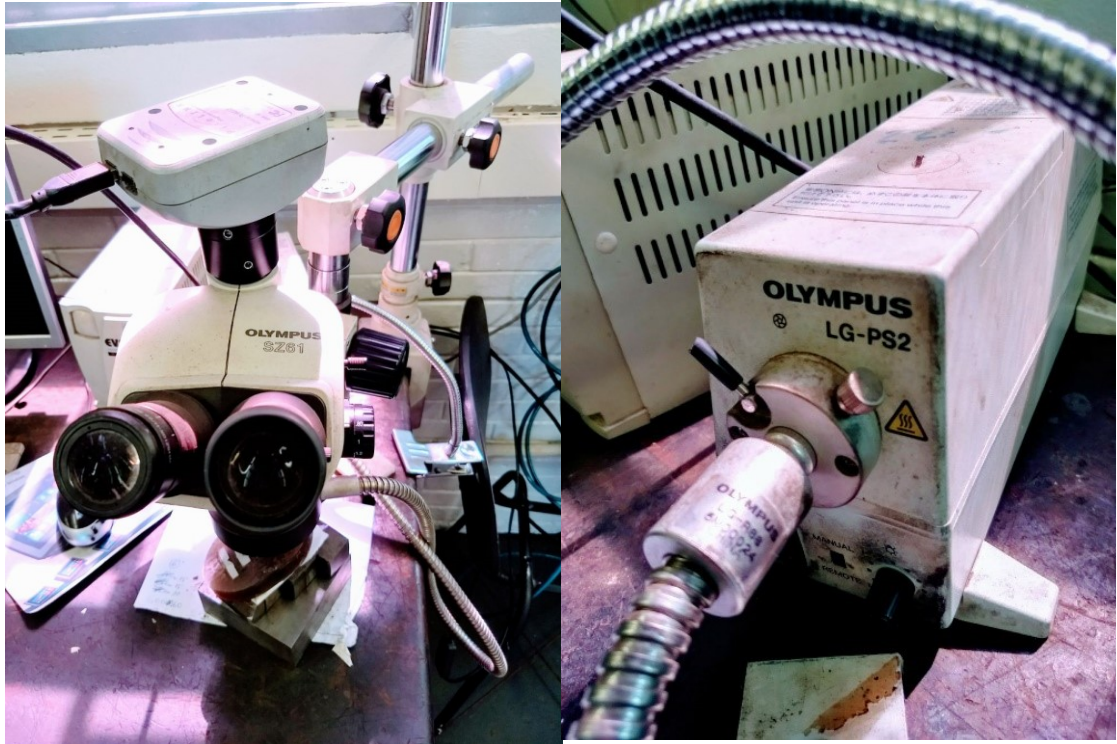


Figura 18 – Microscópio Utilizado para a captura das imagens das Macrografias

Equipamentos de Proteção

Foram utilizados os devidos equipamentos de proteção antes de efetuarem os experimentos, conforme Figura 19.



Figura 19- Equipamentos de proteção utilizados nos testes

4.2. Metodologia experimental

Neste tópico é apresentada a metodologia experimental empregada para a determinação dos parâmetros de soldagem utilizados no processo de soldagem MAG.

4.2.1. Parâmetros operacionais da soldagem

Para se obter os parâmetros adequados para se chegar no modo de transferência spray, foram feitos testes preliminares em cinco amostras, onde identificou-se sua forma de transferência conforme a variação de tensão de entrada, velocidade de alimentação e vazão de gás. Após 31 testes chegou-se à conclusão que a faixa de parâmetros que mais se aproximam de uma soldagem spray são:

Tensão de arco: 30 V

Velocidade de Alimentação: 20 m/min

Vazão de Gás: 17 L/min

Na primeira fase de testes (Caso 1), realizou-se sete cordões de solda com os parâmetros acima, conforme Figura 20, sendo que aqueles numerados por 1 e 2 na posição plana e as demais na posição vertical descendente.

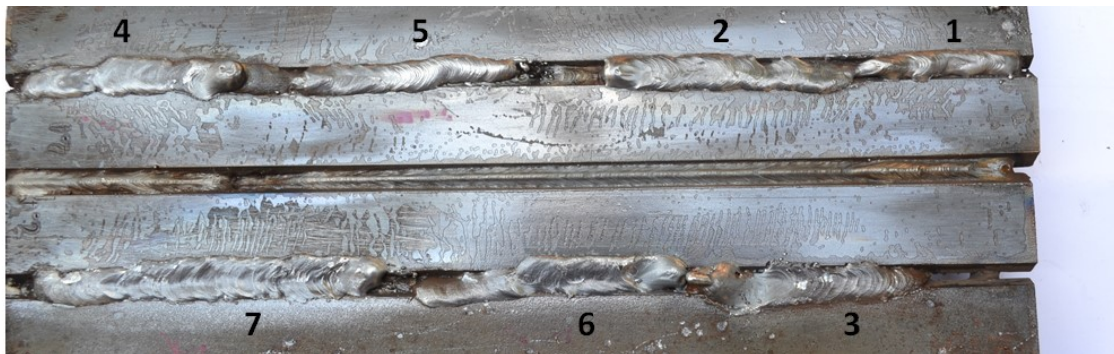


Figura 20- Cordões obtidos na primeira fase de testes (Caso 1)

Depois de realizar os experimentos acima, foram selecionadas duas placas de teste de aço carbono de 300 x 50 x 3,5 mm com altura de nariz de 2 mm, que foram unidas em três pontos (extremidades e centro) por eletrodo revestido conforme Figura 21.



Figura 21- Ponteamento realizado com eletrodo revestido

Através dos primeiros testes, notou-se a dificuldade de se realizar passes de raiz com transferência spray nas amostras. Sendo assim o passe de raiz foi realizado por curto circuito, com uma tensão 18 V e após o mesmo executou-se três cordões de solda na posição plana, com tensão de arco de 30 V, vazão de gás de 17 L/min e velocidade de alimentação de 20 m/min. Estes testes foram denominados como o Caso 2 e podem ser visualizadas abaixo (Figura22).

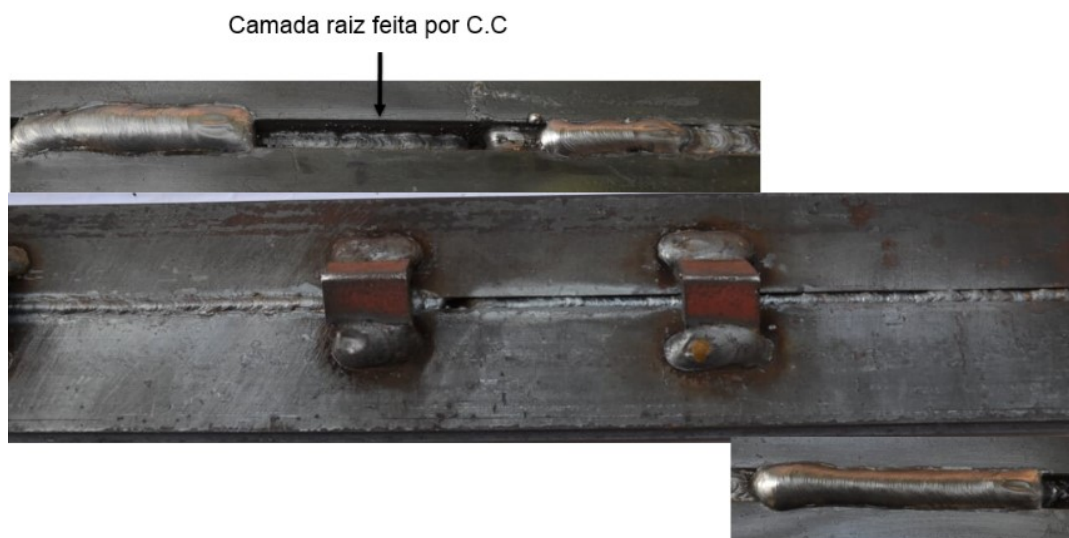


Figura 22- Cordões de solda do Caso 2

Por último foram realizados experimentos do Caso 3 em placas de teste menos espessas de dimensões: 300 x 50 x 3,5 mm, que foram ponteadas em três pontos (nas extremidades e no meio). Foram realizados três cordões de solda (Figura 23A): na posição vertical descendente com tensão de aro de 30 V, vazão de gás de 17 L/min e velocidade de alimentação de 20 m/min. Com os mesmos valores de tensão e vazão, mas com velocidade do arame de 19 m/min foram efetuados os cordões também na posição plana (Figura 23B), placa de teste inferior).



Figura 23- Cordões de solda realizados na posição vertical descendente (superior) - 23A e cordões de solda realizados na posição plana (inferior) – 23B.

Executados os três casos descritos acima, foram efetuados cortes dos cordões dos dois primeiros casos com serra fita, conforme Figuras 24 e 25. Em seguida, foi realizado o embutimento das amostras (Figura 26) em resina para facilitar o processo de lixamento e posterior ataque químico com Nital 10% para análise macrográfica das amostras.



Figura 24- Corte longitudinal dos cordões dos dois primeiros casos

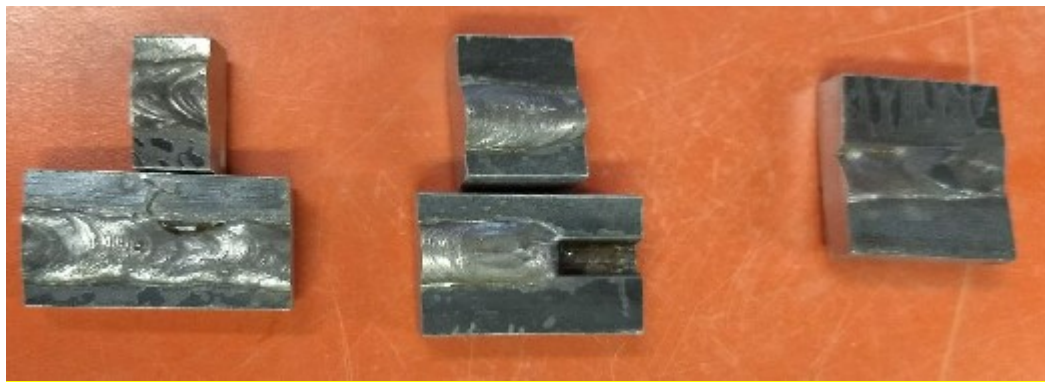


Figura 25- Corte transversal dos cordões



Figura 26- Amostras embutidas em resina

Macrografia

A macrografia consiste no exame do aspecto de uma superfície plana seccionada das amostras, devidamente lixadas e atacadas por reagente adequado. Por seu intermédio tem-se uma ideia de conjunto referente à homogeneidade do material, à distribuição e natureza de falhas, impurezas, particularidades da formação da união, etc. O lixamento teve início com a lixa de granulação Mesh número 80, em direção perpendicular aos riscos já existentes, passando-se sucessivamente para lixas de granulação mais fina até chegar à lixa número 1000.

Posteriormente as amostras foram secadas com ar comprimido, e sofreram ataques com o reagente Nital 10% (Figura 27), constituído por 50 mL de uma solução etanólica contendo 5,5 mL de HNO_3 65%. Como as amostras possuem tamanhos diferentes, os ataques foram feitos um por um (amostras de tamanhos diferentes reagem em tempos diferentes), usando hastes flexíveis de algodão molhadas em Nital 10%, as amostras foram atacadas, lavadas, secadas com ar comprimido para parar a reação química e depois realizou-se a captura das imagens com o microscópio Olympus modelo SZ61, após a primeira captura, o processo se repete para as demais quatro amostras.



Figura 27- Solução Nital 10% m/v

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de se efetuarem os testes definitivos, conforme mencionado anteriormente realizou-se 31 testes para se verificar quais os parâmetros de soldagem seriam adequados para alcançar o modo de transferência tipo spray e sobre a viabilidade deste para passes de raiz nas posições plana e vertical descendente (Figura 28). Os resultados destes e dos três casos já explanados, serão abordados a seguir.



Figura 28- Soldagem vertical descendente com arames ultrafinos.

5.1. Resultados das Tabelas

As seis tabelas possuem os parâmetros mensurados e observados ao longo dos cordões de solda referentes aos primeiros testes e primeiros casos. Serão descritos abaixo, as primeiras três, onde através de testes foi possível ter-se um contato inicial com a técnica específica com arames ultrafinos.

A primeira tabela (Tabela 1) ilustra a dificuldade inicial de se encontrar os valores adequados para se atingir o escopo, no que se refere a transferência spray. Após dez testes, um inclusive com um arco mais longo, não se obteve sucesso, chegando-se no máximo a um arco instável com 28 V e 17 m/min, onde pode-se concluir que o aumento da tensão e principalmente da velocidade de alimentação seriam necessários para a transferência aerossol.

Tabela 1-Testes preliminares 1

Nome	Voltagem do Arco (V)	Corrente (A)	Velocidade do Arame (m/min)	Vazão de gás (L/min)	Tipo de Transf. Metálica	Posição de Soldagem
1	17	43	5	9	C-C (perfeito)	Plana
2	19	45	5	9	C-C (Gota grande)	Plana
3	19	60	7	10	C-C (Gota pequena)	Plana
4	28	93	13	13	Transição	Plana
5	30	100	16	13	Spray (Instável)	Plana
6	30	110	17	13	Spray (Instável)	Plana
7*	30	130	17	13	Spray (Instável)	Vertical Descendente
8	28	130	17	13	Spray (Instável)	Vertical Descendente
9	28	107	17	13	Spray (Instável)	Vertical Descendente
10	28	97	17	13	Spray (Instável)	Plana

*Teste realizado com Arco Longo.

Após os experimentos acima, aumentou-se a voltagem de entrada para 30V e a velocidade de alimentação para 17,5 m/min, o arco elétrico desta forma, conseguiu adquirir maior estabilidade, mas não o suficiente a permitir a realização de passes de raiz nas amostras,

tendo certa dificuldade com este procedimento mesmo com curto circuito (cordão I). Os parâmetros utilizados deste teste podem ser conferidos na Tabela 2

Tabela 2-Testes Preliminares 2

Nome	Voltagem do Arco (V)	Corrente (A)	Velocidade do Arame (m/min)	Vazão de gás (L/min)	Tipo de Transf. Metálica	Posição de Soldagem
A	30	114	17,5	15	Spray	Plana
B	30	130	17,5	15	Spray	Vertical Descendente
C	30	117	17,5	15	Spray	Plana
D	30	125	17,5	15	Spray	Vertical Descendente
E	30	120	17,5	15	Spray	Plana
F	30	113	17,5	15	Spray	Plana
G	30	135	17,5	15	Spray	Vertical Descendente
H	30	150	17,5	15	Spray	Vertical Descendente
I	30	125	17,5	15	C-C	Plana

Encerrando os testes, foram realizadas alterações dos parâmetros medidos, para observar-se o comportamento da transferência metálica do arame ultrafino. Conforme Tabela 3, e assim como visto inicialmente, o processo necessita de altas velocidades de alimentação de arame, tensão e vazão de gás de proteção em torno de 15 L/min. No que se refere a velocidade elevada (no limite da máquina) esta se tornou um grande problema, pois o próprio alimentador conectado a um cabo convencional não dava estabilidade na alimentação, fazendo com que o arame, muitas vezes, se chocasse com a saída do cabeçote e enrolasse dentro desse, travando todo o sistema.

Tabela 3- Testes Preliminares 3

Nome	Voltagem do Arco (V)	Corrente (A)	Velocidade do Arame (m/min)	Vazão de gás (L/min)	Tipo de Transf. Metálica	Posição de Soldagem
1'	17	46	5	10	C-C (perfeito)	Plana
2'	19	52	5	10	C-C (gota grande)	Plana
3'	27	102	13	10	Globular/C-C	Plana
4'	30	100	17,5	15	Globular/C-C	Plana
5'	30	110	18	15	Globular/C-C	Plana
6'	30	111	19	15	Globular/C-C	Plana

7'	30	112	20	15	Globular/C-C	Plana
8'	30	115	20,7	15	Globular/C-C	Plana
9'	30	126	20,7	15	Spray	Plana
10'	30	140	20,7	15	Spray	Vertical Descendente
11'	30	114	20,7	15	Spray	Plana
12'	30	135	20,7	15	Spray	Vertical Descendente

A realização dos testes e dos últimos experimentos permitiu que fosse possível ver as dificuldades, problemas da utilização do modo de transferência spray com arames finos, tal como suas vantagens, assim como não foi possível conseguir passes de raiz nos testes 1,2 e 3, para os casos 1 e 2 tentou-se alternativas para que o arco pudesse realizar o procedimento de forma mais estável, visto que, anteriormente, o arco se alternava de borda em borda, não permitindo penetração adequada do metal na junção em V, e fundindo de fato apenas em uma borda ou outra.

No primeiro caso, foi realizado o passe de raiz com C-C, e em seguida foram efetuados cordões por cima, seus resultados podem ser visualizados abaixo (Tabela 4) e seus detalhes serão melhor explanados na análise das macrografias das amostras 3 e 4.

Tabela 4- Caso 1

Nome	Voltagem do Arco (V)	Corrente (A)	Velocidade do Arame (m/min)	Vazão de gás (L/min)	Tipo de Transf. Metálica	Posição de Soldagem
1	30	114	20	17	Spray	Plana
2	30	113	20	17	Spray	Plana
3*	-	-	-	-	-	-
4	30	134	20	17	Spray	Vertical Descendente
5	30	140	20	17	Spray	Vertical Descendente
6**	18	160	6	17	Spray	Vertical Descendente
7**	20	160	66	17	Spray	Vertical Descendente

*Queima do Bico de Contato

** Com Tecimento

Tabela 5-Segundo Caso

Nome	Voltagem do Arco (V)	Corrente (A)	Velocidade do Arame (m/min)	Vazão de gás (L/min)	Tipo de Transf. Metálica	Posição de Soldagem
1	30	115	20	17	Spray	Plana
2	30	110	20	17	Spray	Plana
3	30	140	20	17	Spray	Vertical Descendente

No Caso 2 (Tabela 6), tentou-se soldar com um arco mais curto, de forma a obter-se melhor controle e estabilizar o arco spray, mas de forma geral ambos os experimentos não solucionaram os problemas de estabilidade, além de falta de fusão. É válido ressaltar também que o Caso 2 foi realizado com passe de raiz com modo de transferência Curto Circuito antes da solda com arames ultrafinos.

Tabela 6- Caso 3

Nome	Voltagem do Arco (V)	Corrente (A)	Velocidade do Arame (m/min)	Vazão de gás (L/min)	Tipo de Transf. Metálica	Posição de Soldagem
1	30	115	19	17	Spray	Plana
2	30	110	19	17	Spray	Plana
3	30	140	20	17	Spray	Vertical Descendente

O Caso 3 foi realizado em chapas mais finas que as demais (3,5 mm), e os seus resultados, obtidos na Tabela 3, foram os mais concisos. Diferente dos anteriores, foi possível realizar passes de raiz tanto na posição plana como vertical descendente, por mais que exija maior aprofundamento para confirmar a afirmativa, o aspecto dos cordões e do arco mais estáveis permitem ver esse processo como promissor para futuros estudos.



Figura 29-Ampliação da Figura 23B, mostrando cordão cobrindo todo o vão.

5.2.Resultados das Amostras

Foram mostradas nove imagens referentes as cinco amostras dos Casos 1 e 2 (o último caso, Caso 3, não foi analisado por macrografia devido ao fato que este experimento foi realizado há pouco tempo referente a escrita deste trabalho, não sendo possível prepará-lo para captura via microscópio) uma foto de cada amostra, e quatro imagens ampliadas (sem ataque químico) detalhando algum defeito do cordão de solda.

Na Figura 30 é possível ver, detalhadamente, a Zona Afetada pelo Calor - ZAC do cordão, e que o metal base não diluiu bem com o cordão de solda, sendo observável o chanfro em V da amostra do Caso 1. A Figura 31 é uma ampliação de um poro encontrado na mesma.



Figura 30- Amostra 1



Figura 31- Amostra 1 (Zoom)

Na Figura 32 temos a seção seguinte a anterior, sendo possível ver a ZAC e a falta de fusão do cordão amplificada na Figura 33.

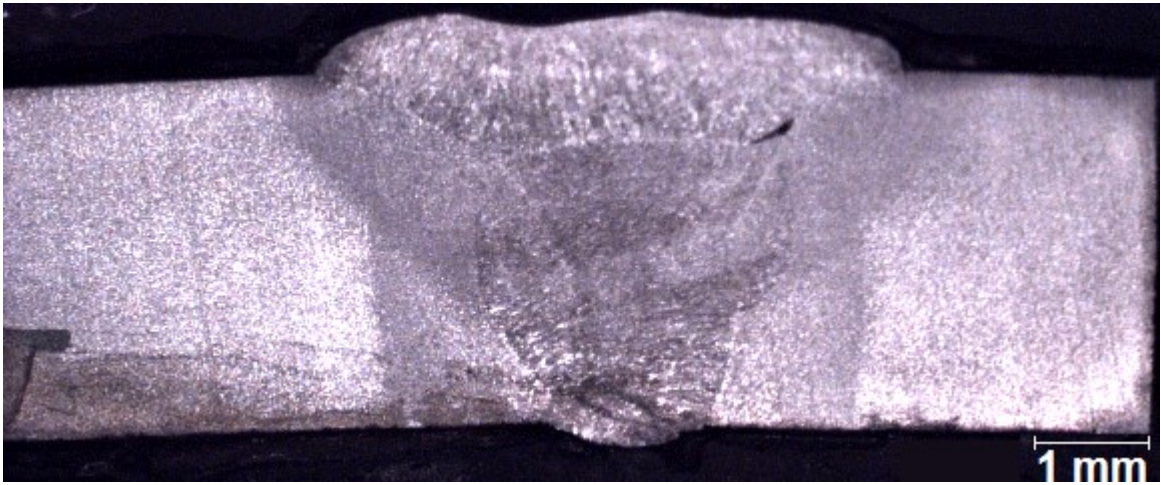


Figura 32 - Amostra 2



Figura 33-Amostra 2 (Zoom)

Enquanto as figuras acima se referem ao Caso 1, nas Figuras de 34 até 37, temos amostras do Caso 2, e nelas é possível visualizar a falta de fusão das uniões, uma falha bem característica para o processo com um baixo aporte térmico.

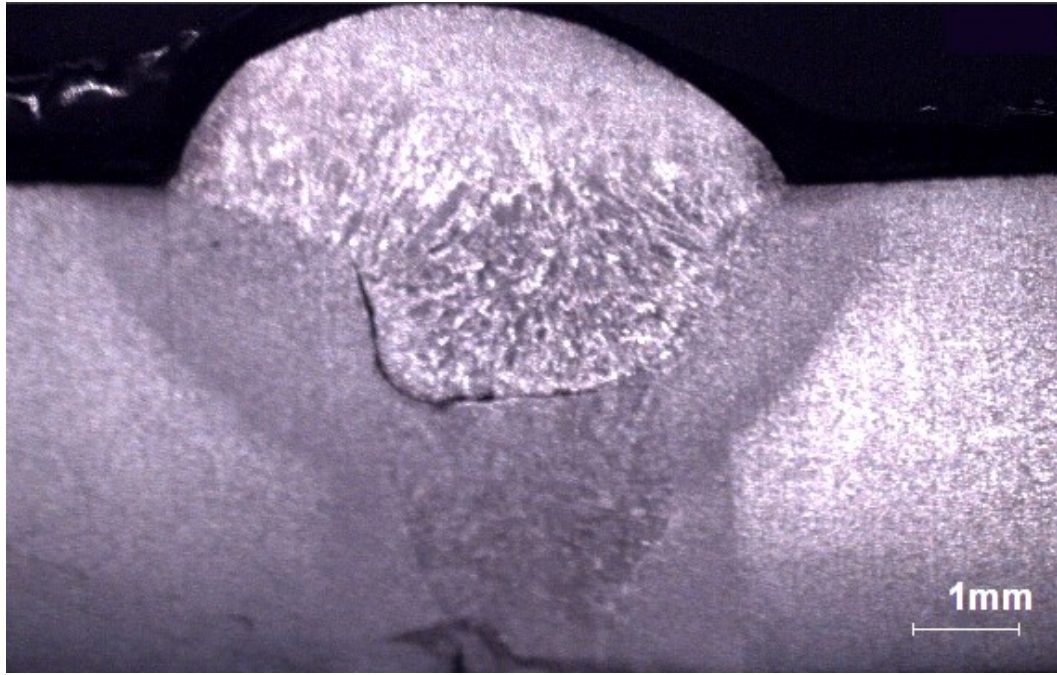


Figura 34-Amostra 3



Figura 35-Amostra 3 (Zoom)



Figura 36-Amostra 4



Figura 37-Amostra 4 (Zoom)

Por último, voltando ao Caso 1, temos a Figura 38 evidenciando a falta de fusão completa nas bordas do chanfro em uma soldagem vertical de chapas por soldagem Spray com arames ultrafinos.

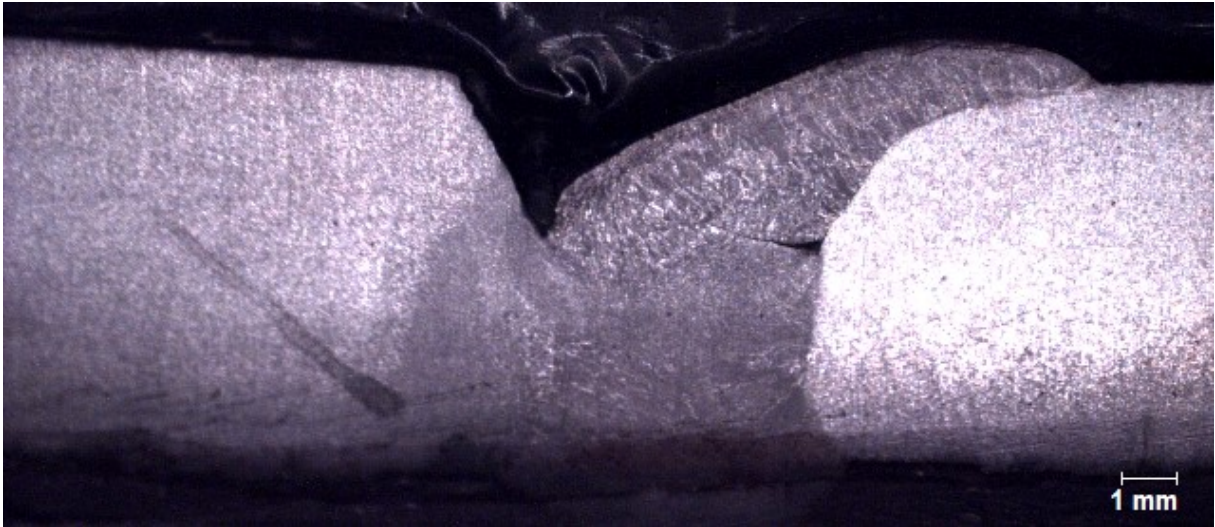


Figura 38-Amostra 5

Após serem feitas as análises detalhadas acima, serão enunciados os aspectos positivos e negativos do processo, e em seguida as conclusões baseadas no trabalho.

5.3. Dificuldades do Processo

Começando com os pontos negativos do processo, estes serão pontuados abaixo e detalhados na sequência. Os principais são:

- Necessidade de alta velocidade de alimentação de arame;
- Risco do arame enrolar;
- Inviabilidade de passe de raiz em chapas grossas;
- Falta de Fusão da solda com o metal base.

Necessidade de alta velocidade de alimentação de arame

Devido ao seu diâmetro pequeno, os arames ultrafinos necessitam, para manter a taxa de deposição do metal, altas velocidades de alimentação para se chegar na transferência aerossol. Como é possível constatar nas tabelas dos testes, só foi possível chegar em arcos mais estáveis em velocidades bem altas, chegando no limite do sistema do cabeçote, que se restringe a 20,7 m/min, este fator acaba sendo decisivo no próximo problema.

Risco do arame enrolar

Como consequência do primeiro, mas que deve ser descrita a parte como um grande inconveniente do processo, a necessidade de altas velocidades de alimentação do processo, praticamente no limite da máquina resultou em um arame que tende a se chocar com a saída do alimentador e enrolar sobre ele, travando o sistema de alimentação e ainda fundindo o arame na ponta do bico, necessitando de pausas para desmontar as roldanas do cabeçote, retirar a extremidade fundida e retomar o processo.

Contudo foi possível sanar esse problema no laboratório, utilizando uma tocha especial com cabo mais curto (Figura 14) reduzindo o espaço percorrido pelo arame até a poça de fusão. Mesmo assim isso se tornaria um problema no meio industrial que necessitaria de uma tocha diferente e um manuseio limitado pelo cabo mais curto.

Inviabilidade de passe de raiz em chapas grossas

Conforme é possível visualizar na imagem abaixo, notou-se uma dificuldade de se controlar a direção do arco elétrico, este tende a se movimentar de modo a não permitir que seja fundido o metal em ambas as bordas, tendendo ora para um lado ora para o outro, sendo este problema na macrografia da amostra 5 (Figura 40), onde é possível ver uma das bordas do perfil sem metal algum depositado sobre ela. Assim isso acaba inviabilizando a total deposição na cavidade do perfil, não sendo possível, conseqüentemente, a realização de passes de raiz.



Figura 39-Ondulação do cordão de solda durante o passe de raiz.

Falta de Fusão da solda com o metal base

Pelas macrografias foi possível ver que o metal de solda apenas se apoiou sobre o metal base, sem haver uma fusão de fato, ou seja, a diluição do metal depositado no metal base foi insuficiente, gerando os defeitos característicos de falta de fusão (Figuras 31,33,35 e 37). Uma explicação encontrada para isso foi o fato de que, como as correntes existentes no processo tipo Spray de arames ultrafinos são relativamente baixas, tem se uma energia menor no processo, visto que as correntes convencionais chegam a serem superiores a 180/200 A, logo para chapas espessas o metal fundido não possui energia suficiente para melhor se fundir com o metal base, ocorrendo uma menor diluição.

5.4.Vantagens do Processo

Apesar de possuir alguns pontos negativos, a utilização deste processo possui qualidades que também serão pontuadas abaixo e detalhadas na sequência, sendo:

- Possibilidade de soldar fora de posição com a transferência do tipo spray;
- Cordões de boa qualidade
- Ausência de Respingos
- Possibilidade em outras aplicações

Possibilidade de soldar fora de posição com a transferência do tipo spray

Um dos objetivos do trabalho foi verificar os valores de corrente para se alcançar a transferência spray e avaliar a viabilidade de soldar com a transferência spray fora de posição. Conforme é possível se confirmar pelas tabelas, obteve-se a transferência por spray com correntes baixas em torno de 120 A (Tabela 3), valor 57,5% menor que os valores de corrente de transição encontrados usualmente para aço carbono para arames de 1,0 mm (ver Figura 6). Tal fato permite a utilização de soldagem com transferência aerossol sem a necessidade de corrente pulsada, ou dos altos valores de tensão e corrente para se alcançar este modo através de C.C. Uma corrente de transição baixa o bastante viabiliza a soldagem fora de posição mesmo com a transferência do tipo spray.

Cordões de boa qualidade

O fato de se utilizar o Modo de Transferência Spray reflete em cordões, quando bem parametrizados em chapas menos espessas, de formato e molhabilidade (do metal em estado líquido na fusão) regulares. Isso se torna uma vantagem, quando se têm a necessidade de uniões com bom acabamento, exigências cada vez mais comuns seja para trabalhos acadêmicos como para a indústria em geral.

Ausência de Respingos

Com um arco mais estável, e gotas de metal que se transferem para a poça de fusão com um diâmetro médio bastante pequeno, quando comparados aos processos de transferência Globular e C-C, a soldagem com arames ultrafinos com Spray, conforme pode ser visto nas figuras dos cordões, não gera respingos, fator interessante tanto para a segurança do soldador em contato próximo de metal líquido a altíssimas temperaturas, como para o aspecto da união melhor acabada.

Possibilidade em outras aplicações

A menor difusão do metal da solda não descarta este processo por completo, pelo contrário, abre margem para estudos para seu uso em revestimentos. Área de estudo bastante ampla, esta parte do campo de Materiais, trabalha com materiais aderidos pouco diluídos com seu metal base (substrato) de forma a permitir ganhos alterando suas propriedades óticas, elétricas, tribológicas, sendo esta aplicação passível de estudos para seu uso em revestimentos, com a vantagem de que devido a menor energia do processo implica em uma zona menos afetada que os processos de soldagem convencionais usados para confeccionar revestimentos.

6. CONCLUSÕES

Com este trabalho foi possível realizar experimentos com arames ultrafinos, estes pouco descritos na literatura, que talvez pelas dificuldades do processo não possuam tantos estudos, mas que possuem relativo potencial. Uma das conclusões que pode-se aferir, é que a utilização destes arames, implica em problemas no manuseio e limitações dos equipamentos, principalmente em velocidade de alimentação, além também do fato da sua inviabilidade em passes de raiz para chapas grossas. Contudo, com a parametrização adequada, permite se ter arcos com transferência metálica tipo spray com correntes duas vezes menores que o convencional para arames de 1,2 mm, com C-C, de boa qualidade e acabamento, e que merecem estudos posteriores para se melhor descrever esse campo da soldagem ainda não bem estudado.

Foram encontradas várias dificuldades ao longo deste trabalho, que favoreceram um grande aprendizado, estas que com persistência, orientação e estudo, puderam ser solucionadas. A necessidade de resolver problemas é comum no exercício da profissão de Engenharia Mecânica, sendo este TCC um grande incentivador a buscar conhecer mais a soldagem, e saber lidar com a vivência prática de engenheiro.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APOSTILA de Soldagem MIG/MAG ESAB. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev1_apostilasoldagemmigmag_nova.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2018.

2. Apostila ESAB. Apostila Regras para Segurança em soldagem, goivagem e corte ao arco elétrico. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/apostila_seguranca_na_soldagem_rev1.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2018.

3. CRUZ JUNIOR, LUIZ PAULO DA SILVA; CABRAL, TÁRCIO DOS SANTOS. ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE SOLDAGEM MIG PARA O PREENCHIMENTO DE CAVIDADES PELA TÉCNICA DE CAMADAS SUCESSIVAS. 2008. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA) - Centro Tecnológico, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, Belém, 2008. Disponível em: <http://www.lcam.ufpa.br/attachments/article/13/TCC_tarcio%20tcc.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2018.

4. ESAB Brasil. Um século de desenvolvimento em soldagem e corte. **Revista Solução**, Contagem-MG, 2005. Disponível em: <http://www3.esab.com.br/Revista_Solucao_200505.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2018.

5. INTERNATIONAL ISO. STANDARD 9692-1. First edition 2003-12. Welding and allied processes — Recommendations for joint preparation — Part 1: Manual metal-arc welding, gas-shielded metal-arc welding, gas welding, TIG welding and beam welding of steels. Reference number. ISO 9692-1:2003.

6. MANUAL DE INSTRUÇÕES INVERSAL 450/600. Disponível em: <[http://www.imc-soldagem.com.br/images/documentos/manuais/inversal_450-600_manual_instrucoes_2ed_\(1998\).pdf](http://www.imc-soldagem.com.br/images/documentos/manuais/inversal_450-600_manual_instrucoes_2ed_(1998).pdf)>. Acesso em: 16 jan. 2018.

7. MANUAL DE INSTRUÇÕES STA-20. Disponível em: < [http://www.imc-soldagem.com.br/images/documentos/manuais/sta-20_manual_instrucoes_\(2006\).pdf](http://www.imc-soldagem.com.br/images/documentos/manuais/sta-20_manual_instrucoes_(2006).pdf)>. Acesso em: 16 jan. 2018.
8. MARQUES, P. V., MODENESI, P. J., BRACARENSE, A. Q., Soldagem Fundamentos e Tecnologia, Belo Horizonte, Editora UFMG, 2007.
9. OKUMURA, T., TANIGUCHI, C. Engenharia de Soldagem e Aplicações. São Paulo, LTC. 1982.
10. PONOMAROV, Volodymyr. Material didático do professor: Aula processo GMAW-FCAW-Parte 1.
11. PROCESSO MIG/MAG - MODOS DE TRANSFERÊNCIA. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/175-processo-mig-mag-modos-de-tranferencias.html>>. Acesso em: 12 jan. 2018.
12. PROCESSO de Soldagem: MIG/MAG (GMAW). Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_mig_mag_gmaw.cfm>. Acesso em: 12 jan. 2018.
13. Resumo do Sistema Internacional de Unidades. Disponível em: < http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pdf/Resumo_SI.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2018.
14. SCOTTI, Américo; PONOMAROV, Vladimir. Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho. São Paulo: Artliber, 2008.
15. SILVA, E. F., SCOTTI, Américo. Influência do Processo MIG/MAG na Qualidade da Energia Elétrica Fornecida pelas Concessionárias. **Conference: XXXVII Congresso Nacional de Soldagem - Consolda 2011**, At Natal- RN, v. 1, 2011.

16. SODERSTROM, E. J., MENDEZ, F. P. Metal Transfer during GMAW with Thin Electrodes and Ar-CO₂ Shielding Gas Mixtures. **WELDING RESEARCH**, v. 87. p. 10, 2008.

17. Terminologia da Soldagem. Disponível em: <<http://wwwo.metalica.com.br/terminologia-da-soldagem> >. Acesso em: 15 jan. 2018.

18. Terminologia da Soldagem. Disponível em: <<http://www.infooldsa.com.br/artigos/inspecao-de-soldagem-procedimentos/340-terminologia-da-soldagem.html> >. Acesso em: 15 jan. 2018.

19. WAINER, E., BRANDI, S. e MELLO, F. D.H., Soldagem: Processos e Metalurgia. São Paulo, Edgard Blücher, 1992.