

Artigo

Comparação entre soldagem ascendente e descendente no processo MAG para obtenção de melhores propriedades na junta soldada

Paulo César do Rosário Fernandes ^[1], Josivan Lopes de Morais Júnior ^[2] e Francisco Edson Nogueira Fraga ^[3]

^[1] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; paulo.fernandes@alunos.ufersa.edu.br

^[2] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; josivan.junior70498@alunos.ufersa.edu.br

^[3] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; nfraga@ufersa.edu.br

Recebido: 30/03/2022;

Aceito: 12/06/2022;

Publicado: 30/06/2022.

Resumo: As principais vantagens da soldagem MIG/MAG comparada à soldagem com eletrodos revestidos são: alta taxa de deposição e de fator de ocupação do soldador, grande versatilidade quanto ao tipo de material e espessuras aplicáveis, não existência de fluxos de soldagem e, conseqüentemente, ausência de operações de remoção de escória, de limpeza e exigência de menor habilidade do soldador. Na posição plana quando o sentido de soldagem é puxando pode-se observar que quando o ângulo de inclinação cresce a penetração diminui e a largura do cordão aumenta. Já na soldagem empurrando, quando o ângulo de inclinação aumenta, a penetração e reforço crescem e a largura do cordão diminui. Este trabalho foi elaborado com a finalidade de averiguar se a variação no sentido de soldagem, realizada no processo MAG, tem influência na resistência mecânica da junta. Assim, foram conduzidos experimentos para avaliar a influência do sentido ascendente e descendente de soldagem, bem como a influência da corrente de soldagem sobre esses. Os corpos de prova foram avaliados por inspeção visual, ensaios de tração e ensaios de dureza. Os resultados de tração possibilitaram constatar que em todas as condições testadas o metal de solda teve resistência superior ao metal de base. Já os ensaios de dureza permitiram demonstrar que, para as condições experimentadas, o sentido de soldagem não interfere na resistência mecânica da junta, independente dos valores de corrente testados.

Palavras-chave: Soldagem MAG; Resistência Mecânica; Vertical Descendente.

Abstract: The main advantages of MIG/MAG welding compared to welding with coated electrodes are: high deposition rate and high welder occupancy factor, great versatility in terms of the type of material and applicable thicknesses, no welding fluxes and, consequently, no of slag removal and cleaning operations and requirement of lesser welder skill. For flat position when the welding direction is pulling it, we can observe that when the angle of inclination increases the penetration decreases and the width of the bead increases, in the welding by pushing when the angle of inclination increases the penetration and reinforcement increases and the width of the bead decreases. This work was carried out with the aim of studying whether the variation in the welding direction (up and down) performed in the MAG process has an influence on the mechanical strength of the joint. Therefore, experiments were carried out to evaluate the influence of the ascending and descending direction of welding, as well as the influence of the welding current on them. The specimens were evaluated by visual inspection, tensile tests and hardness tests. The tensile results made it possible to verify that in all the conditions tested, the weld metal had superior resistance to the base metal. The hardness tests showed that, for the conditions tested, the welding direction does not interfere with the mechanical strength of the jute, regardless of the current values tested.

Key-words: MAG Welding; Mechanical Resistance; Descending Vertical.

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem MIG/MAG está presente em praticamente todas as áreas da indústria metalmeccânica, por ser um processo que tem vasta aplicação, podendo ser empregado tanto para fabricação, quanto para manutenção de estruturas e peças mecânicas.

Além de ser um processo que permite se obter um alto nível de produtividade, devido a sua grande taxa de deposição do metal de solda, ele também se mostra vantajoso pois apresenta cordões de solda com ótima geometria sem a geração de escoria. Geralmente as posições de soldagem mais utilizadas são: plana, vertical ascendente e descendente [1].

A principal limitação da soldagem MIG/MAG é a sua maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação do arco de soldagem, que influenciam diretamente na qualidade do cordão de solda depositado, além da necessidade de um ajuste rigoroso de parâmetros na obtenção de um determinado conjunto de características para o cordão de solda. A determinação destes parâmetros é dificultada pela forte interdependência destes e por sua influência no resultado da operação [1]. Este trabalho foi elaborado com a finalidade de esclarecer se a soldagem no sentido ascendente e descendente no processo MAG apresentam a mesma resistência mecânica da junta soldada.

Neste trabalho tem como foco em estudar o sentido de soldagem vertical ascendente e descendente, realizando ensaios em corpos de prova para analisar a influência de alguns parâmetros de soldagem ao surgimento de defeitos nos cordões de solda. Ao final foi possível constatar que não houve variação de resistência mecânica da junta para o sentido ascendente ou descendente independente das correntes usadas nos ensaios.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

O presente trabalho tem o intuito investigar se o sentido de soldagem (ascendente ou descendente) tem influência sobre a resistência mecânica das juntas, como também a aparição de defeitos visuais da junta soldada. Para este estudo foram realizados experimentos testando dois níveis de corrente diferentes.

2.2 Objetivos Específicos

A meta deste trabalho é estudar a influência do sentido de soldagem na resistência mecânica das juntas soldadas no processo MAG, o estudo foi feito da seguinte forma:

- Realizar revisão bibliográfica do processo de soldagem MIG/MAG com propósito de compreender a relação dos parâmetros de soldagem e a ocorrência de defeitos de soldagem;
- Determinar se as posições de soldagem ascendente e descendente, mantidos os parâmetros velocidade de soldagem e tensão, tem influência na resistência mecânica do cordão de solda, para isso foram feitos ensaios de tração;
- Determinar se a corrente de soldagem tem alguma interação com a relação do sentido de soldagem (ascendente ou descendente) sobre a resistência da junta, para isto foram feitos ensaios de dureza do metal de base e do metal de solda.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Soldagem MIG/MAG

O processo de soldagem MIG/MAG tecnicamente chamado de GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), caracteriza-se pela formação de um arco elétrico entre a peça a ser soldada e um consumível em forma de arame eletrodo, o arco elétrico funde o arame de forma contínua à medida que o arame alimenta a poça de fusão protegida por uma mistura de gases ativos ou inertes [2]. Esse processo de soldagem é uma das mais utilizadas na indústria devido à alta taxa de fusão, o que significa, para a indústria, uma maior produção [3]

Devido a evolução tecnológica dos últimos tempos pode-se observar que este processo está se tornando popular, pois ele permite soldagem em praticamente todos os metais comercialmente explorados, metais que tenham espessuras maiores que 0,75mm podem ser soldados em praticamente todas as posições [1].

Pode-se destacar algumas das principais vantagens desse processo de soldagem que levam o mesmo a ser um dos preferidos em indústrias de fabricação metalmeccânicas:

- A soldagem pode ser executada em todas as posições
- Não há geração de escorias
- Apresenta uma elevada taxa de deposição de metal de solda
- Geralmente o tempo de execução de uma solda e bem menor se comparado a outro tal como processo eletrodo revestido [2].

3.1.2 parâmetros que influenciam na soldagem

Quando a distância entre a ponta do eletrodo e a peça aumenta para uma dada tensão e velocidade de alimentação reguladas, há uma redução da corrente no circuito [1]. A taxa de fusão do arame muda automaticamente para restaurar o comprimento original do arco, pois foi configurado, em um momento anterior à solda, a velocidade de alimentação do arame, e portanto, se há uma variação de corrente (que depende da velocidade de deposição do arame), deve haver uma variação nessa velocidade de deposição do arame. Como resultado, alterações permanentes no comprimento do arco são efetuadas ajustando-se a tensão de saída da fonte. A velocidade de alimentação do arame que o operador seleciona antes da soldagem determina a corrente de soldagem [1]. Os quatro parâmetros que mais tem influência para obtenção de uma boa soldagem estão relacionados a seguir:

Corrente de soldagem: Mais conhecido como amperagem de saída da fonte este parâmetro está diretamente relacionado com a distância bico de contato peça (DBCP), ou seja, quando se varia o DBCP (aumento ou diminuição de arame na poça de fusão) a corrente varia no mesmo sentido [1]. Também pode-se obter variação de corrente se aumentar ou diminuir a espessura do arame, levando-se também em consideração que cada tipo de arame (aço, alumínio etc.) tem suas características próprias de fusão do arame então cada um terá uma faixa de corrente diferente na soldagem [4].

DBCP: Composta da extensão livre do eletrodo (distância do bico de contato ao arco) e do comprimento do arco, a distância bico de contato-peça (DBCP) afeta o modo de transferência metálica, principalmente pela alteração da quantidade de aquecimento ôhmico ocorrendo no eletrodo [1]. Quando a distância do eletrodo for muito grande temos um excesso de metal de solda sendo depositado com baixo calor do arco, podendo gerar baixa penetração e um cordão de solda com uma geometria desfavorável. Uma distância de eletrodo muito grande também pode tornar o arco elétrico menos estável, se aconselha que na soldagem por curto-circuito o operador mantenha uma distância do eletrodo e a peça entre 20 e 25 mm [1].

Tensão de soldagem: o ajuste de tensão de soldagem controla diretamente o comprimento do arco elétrico, mantendo-se uma certa faixa de tensão para se obter uma boa estabilidade do arco elétrico. A soldagem por curto-circuito requer tensões consideradas baixas, observa-se que quando se aumenta a corrente de soldagem e a taxa de fusão do arame, a tensão de soldagem também vai ser aumentada para se manter uma boa estabilidade [4]. A tensão de soldagem é usada para controlar a forma do cordão de solda. Quando a tensão do arco (ou o comprimento do arco) aumenta, a altura do cordão de solda diminui e sua largura aumenta. Nesse caso o tamanho total do cordão de solda permanece constante. Somente a forma ou o contorno do cordão é modificado. Aumentando-se a largura do cordão de solda, seu topo torna-se mais achatado e o metal de solda "molha" os materiais de base mais eficientemente, melhorando a fusão do metal de base [2].

Velocidade de soldagem: É a relação entre o caminho percorrido ao longo da peça e o tempo gasto para percorrê-lo. Normalmente é expresso em cm/min ou mm/min. Podemos destacar três regras principais para velocidade de soldagem:[2]

- Quando a espessura da peça aumentar a velocidade de soldagem vai diminuir
- Para uma dada espessura de peça e junta, quando a corrente de soldagem aumentar, a velocidade de soldagem também aumenta
- Maiores velocidades de soldagem são alcançadas quando se usa a técnica de empurrar [2].

O tamanho do cordão de solda também pode ser modificado variando-se a velocidade de soldagem. O tamanho do cordão de solda e a velocidade de soldagem são inversamente relacionados. Uma diminuição na velocidade de soldagem, resultará num aumento da largura e da altura do cordão de solda e vice-versa [2].

Sentido de soldagem;

A inclinação da peça ou da tocha durante a soldagem pode afetar o formato do cordão de solda. A maioria das soldas é feita na posição plana. Entretanto, algumas vezes é necessário ou desejável soldar com a peça levemente inclinada para que a tocha avance em declive ou aclive. Por exemplo, em uma soldagem de alta velocidade de chapas de aço de 6 mm de espessura, consegue-se uma solda melhor quando a peça está inclinada de 15 a 18° em declive, com aumento da penetração em relação à soldagem plana. O ângulo de inclinação deve ser reduzido com o aumento da espessura para aumentar a penetração [6].

Na soldagem puxando a poça tende a escoar e pré-aquecer o metal de base, particularmente na superfície. Isto produz uma zona de fusão de forma irregular. Quando o ângulo de inclinação cresce, forma-se uma depressão no meio da solda, a penetração decresce e a largura do cordão cresce [6].

Soldagem empurrando afeta o contorno da poça de fusão e a superfície da solda. A força da gravidade faz a poça ficar defasada para trás em relação ao eletrodo e as laterais da poça de fusão se deslocam para o meio do cordão. Quando o ângulo de inclinação cresce, o reforço e a penetração crescem e a largura decresce. O ângulo limite para a soldagem em aclive com correntes até 800 A está por volta de 6°, ou uma inclinação de 10%. Se forem usadas correntes maiores, o ângulo deve diminuir. Inclinações superiores a 6° tornam a solda incontrolável [6].

3.1.3 Principais Técnicas de Soldagem

No processo MIG/MAG as técnicas de soldagem mais utilizadas na posição plana são as de puxar e empurrar, as duas tem como princípio de base a maneira como a tocha é mantida em relação ao cordão de solda. Na técnica puxando a tocha é posicionada de tal modo que o arame seja alimentado no sentido oposto ao do deslocamento do arco. O arame é adicionado ao metal de solda já depositado. Na técnica empurrando a tocha é posicionada de tal modo que o arame seja alimentado no mesmo sentido do deslocamento do arco [2].

Na posição vertical as técnicas mais utilizadas são as de progressão ascendente e descendente, em ambos os casos o arco deve ser mantido na borda da poça de fusão para assegurar uma penetração completa da solda [2].

3.1.4 Defeito de Solda

Falta de penetração: Pode-se encontrar esse tipo de defeito nos seguintes casos [2]:

- Quando o cordão de solda não penetra completamente na espessura do metal base
- Quando dois cordões de solda opostos não se interpenetram
- Quando o cordão de solda não penetra na garganta de uma junta de ângulo.

A corrente de soldagem é o parâmetro que tem maior efeito na penetração, normalmente quando não se tem uma boa penetração é por causa de se usar corrente de soldagem muito baixa. Também se tem outras prováveis causas como velocidade muito baixa de soldagem, e ângulo incorreto da tocha [1].

Falta de fusão: acontece quando não se tem a fusão entre os metais de solda e de base. A causa mais comum desse defeito pode ser uma técnica de soldagem deficiente, ou uma poça de fusão muito larga (velocidade de soldagem muito baixa), ou o metal de solda passou na frente do arco elétrico [7].

Mordedura: defeito que tem aparência de um entalhe no metal de base ao longo das bordas do cordão de solda. Pode ocorrer devido ao uso de parâmetros de soldagem inadequados, tais como velocidade de soldagem e a tensão do arco [5].

Trincas: não são encontradas com frequência mais quando aparecem podem ser de dois tipos, trincas a frio e a quente. Trincas a frio são aquelas que aparecem quando a secção reta do cordão de solda e muito pequeno para suportar as tensões atuantes, já as trincas a quente são as que ocorrem quando o cordão de solda está entre as temperaturas de fusão e de solidificação [2].

3.2 Aço ASTM A36

De acordo com a norma ASTM A36 [8], a composição química do aço ASTM A36 pode ser dividida em três tipos: Formas (Shapes); Chapas de largura maior que 380mm; Barras e chapas com largura maior que 380mm. Neste trabalho foi utilizado chapa de aço, onde os teores máximos de cada elemento são dados a seguir:

1. Carbono: 0,26% (máx.);
2. Fósforo: 0,04% (máx.);
3. Enxofre: 0,03% (máx.);
4. Silício: 0,40% (máx.);
5. Cobre: 0,20% (mín., quando especificado).

Sua densidade é de 7,85 g/cm³ e seu limite de escoamento é de 250MPa, aproximadamente, já o limite de tração ultrapassa os 400 MPa, chegando até 550 MPa. E sua dureza varia entre 130 e 150 HB.

3.3 Arame Tubular ER70S-6

O catálogo da SUMIG [9] oferece as descrições técnicas desse arame tubular para solda, com as seguintes características:

1. Carbono: 0,15% (máx.);
2. Silício: 0,80% (máx.);
3. Manganês: 1,85% (máx.).

3.4 Zona Afetada pelo Calor (ZAC)

O processo de soldagem, seja ele por arco elétrico, oxi-combustível ou laser, irá apresentar a ZAC (ou ZTA – Zona Termicamente Afetada), local que não ocorre fundição do material, apesar de também atingir temperaturas elevadas [6]. É a área onde está mais propensa a falhas e trincas, justamente pelas transformações microscópicas que ocorrem naquela zona que alteram as propriedades do material, transformações essas que estão ligadas a inúmeros fatores tais como velocidade de resfriamento, condutibilidade térmica do material de base, etc. Essas falhas e trincas ocorrem, pois, devido ao crescimento de grão, que reduz a ductilidade aumenta a temperabilidade do metal de base [6], fazendo com que seja possível a formação de microestrutura martensítica (extremamente frágil), caso o resfriamento seja rápido,

além de tensões térmicas que podem haver.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 *Elaboração das Juntas Soldadas*

Foi feito a comparação entre as soldagens ascendente e descendente com o processo MAG, para isso utilizou-se como metal de base chapas com as dimensões mínimas de 200mmX100mm e espessura de ¼ de polegada de aço carbono A36, como visto na Figura 1, que é o aço mais utilizado na indústria. Para o metal de adição utilizou-se o 70S6 de 1mm de espessura.

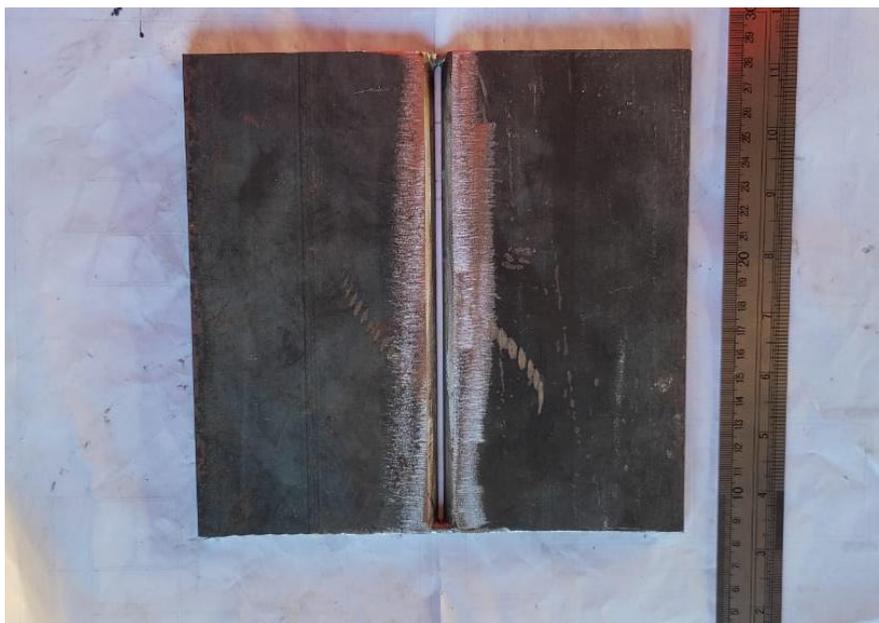


Figura 1. Junta antes de ser soldada. (Autoria própria)

4.2 *Inspeção Visual*

O ensaio visual na chapa de teste é necessário para a qualificação do procedimento de soldagem [10]. Como critério de aprovação será adotado as normas contidas em [10], as juntas soldadas foram limpas com auxílio de escova rotativa e vistoriados com a finalidade de se verificar o surgimento de alguma trinca, porosidade ou falta de penetração, se identificado alguns destes defeitos a junta seria reprovada e não seria retirados nenhum CP dela para teste. Foi reprovado a junta que apresentasse tanto um reforço como raízes excessivas (superior a 3mm), já que a transição entre o metal-base e reforço, denominada pé da solda, é considerada uma descontinuidade de forma, o que pode originar uma concentração de tensões [11].

4.3 *Ensaio de Tração*

O ensaio foi realizado no laboratório de ensaios mecânicos da UFERSA, com a ajuda de um técnico responsável pela máquina, que é uma EMIC com capacidade de até 100kN. No que diz respeito ao corpo de prova, como pode ser visto na Figura 2 e 3, é uma chapa, portanto, não possui as dimensões nem a geometria de um copo de prova padrão, mas é possível utilizar as garras da máquina para corpos de provas em formato de chapas, de modo que não ocorra deslizamento.

Para cada condição de soldagem (ascendente e descendente) foram testadas duas correntes diferentes, ou seja, variou-se a corrente de soldagem mais mantendo a velocidade e a tensão para se obter os parâmetros ideais para cada condição que mitigara os defeitos de soldagem. As juntas foram soldadas manualmente por soldador nível 3 com certificação no processo MAG, foram realizadas quatro condições de soldagem diferentes que deram um total de 12 pares de chapas (corpos de prova) distribuídos da seguinte maneira na Tabela 1:

Tabela 1: Parâmetros adotados para cada condição de soldagem. (Autoria própria)

<i>condição</i>	<i>Corrente(A)</i>	<i>Tensão(V)</i>	<i>Velocidade De Alimentação (m/min)</i>	<i>Mistura Gasosa</i>	<i>Vazão(L /min)</i>	<i>Sentido de soldagem</i>	<i>Metal de adição</i>
1	92	15,6	4	25% Argônio 75% CO2	9	Vertical ascendente	70S6
2	92	15,6	4	25% Argônio 75% CO2	9	Vertical descendente	70S6
3	108	18,8	4	25% Argônio 75% CO2	9	Vertical Ascendente	70S6
4	108	16,8	4	25% Argônio 75% CO2	9	Vertical descendente	70S6

O corpo de prova foi escovado para se retirar qualquer impureza e ferrugem existente na superfície das chapas, logo após foi usado disco de desbaste para biselar as chapas com um ângulo de bisel de 45° e nariz de bisel com 2mm [10], também foi retirado a carepa de laminação da chapa das regiões adjacentes onde foi feita a soldagem. Em seguida, foi feita a montagem do corpo de prova onde foi obedecido uma abertura de raiz de aproximadamente 2,5mm para se obter uma boa condição de penetração de raiz sem que haja excesso de reforço ou falta de penetração dela garantindo uma boa resistência mecânica da junta soldada, todos esses padrões foram estabelecidos pelas normas de soldagem contidos em [10].

Após a soldagem das chapas, foram realizadas inspeções visuais de cada cordão, para identificar possíveis defeitos de soldagem, como porosidades ou trincas visualmente identificadas, se constatados alguns desses defeitos a junta seria reprovada. Em seguida as chapas foram usinadas para retirar amostras dos corpos de prova que foram usados nos ensaios de tração, também foi retirado amostras das juntas soldadas para ensaios de dureza. Cada chapa de teste foi retirado 3 tiras de teste medindo aproximadamente 25mm de largura com 6,35mm de espessura. As amostras foram retiradas propositalmente dos corpos de prova de regiões específicas, sendo uma do centro das chapas, a seguir vemos a Figura 2 que ilustra a região de retirada dos CPS:



Figura 2. junta soldada antes do corte (Autoria Própria) Figura 3. Junta depois do corte (Autoria Propria)

A Tabela 2 mostra os valores de propriedades mecânicas do metal de base retirados da literatura que foram utilizados como base de comparação dos resultados obtidos dos ensaios :

Tabela 2: Valores de propriedades mecânicas do metal de base.[12]

<i>material</i>	<i>Tensão de escoamento(MP)</i>	<i>Limite de resistência(MP)</i>	<i>% alongamento</i>
Aço A36	250	400	30

Os valores da Tabela 2 são usados para interpretação do gráfico tensão x deformação visto mais adiante.

4.4 Ensaio de Dureza

O Ensaio de Dureza Rockwell é o tipo de ensaio de dureza mais aplicado na indústria, isso por conta da sua facilidade de utilização, entre outros motivos. Os parâmetros para utilização da máquina de ensaio estão padronizados pela ISO 6508-01 [13]. Para o ensaio de dureza foram retiradas amostras da parte central das juntas soldadas, como visto na Figura 4 e 5. Elas foram usinadas com auxílio de uma fresa de bancada para se ter dimensões paralelas e planas, garantindo assim que a carga aplicada pela máquina de teste, seja vertical, isso nos garante resultados mais confiáveis e com menores erros. Além disso os corpos de prova bem elaborados também evitam possíveis acidentes que podem danificar a máquina de teste.

Como não se tinha a noção do nível de dureza das amostras se iniciou os testes na escala Rockwell A usando o penetrador de diamante com carga inicial de 60kgf, onde se chegou a não leitura de dureza pois o material medido era muito dúctil para se medir na escala inicialmente usada. Logo depois se trocou o penetrador pelo de esfera de aço especial e carga de 100kgf, na qual foi possível se fazer as medições. Foram feitas 3 endentações (marcações) no metal de solda e mais 3 no metal de base, onde a máquina faz a leitura de quanto foi penetrado no material e consequentemente retorna um valor de dureza para ele.

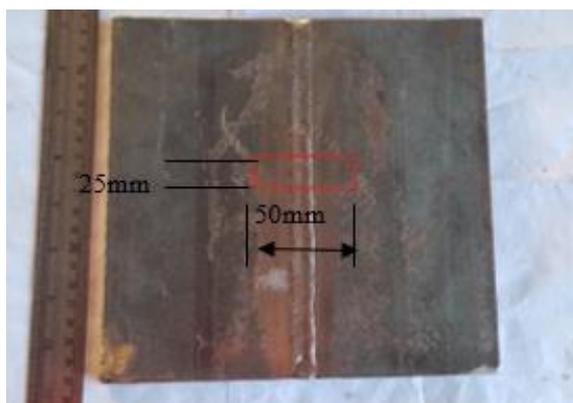


Figura 4: Local de retirada da amostra (Autoria Própria) Figura 5: Amostra a ser ensaiada. (Autoria Própria)

5. RESULTADOS

A inspeção visual e os testes de tração e dureza permitiram obter os seguintes resultados:

5.1 Inspeção visual

O ensaio visual foi realizado em toda a extensão da chapa como objetivo de se detectar algum defeito significativo. Não foram detectadas, tanto na face como na raiz, falhas como: garganta insuficiente, mordedura, dobra, perna insuficiente, porosidade, inclusão de escórias, falta de fusão, trincas, entre outras. Portanto todas as chapas foram visualmente aprovadas.

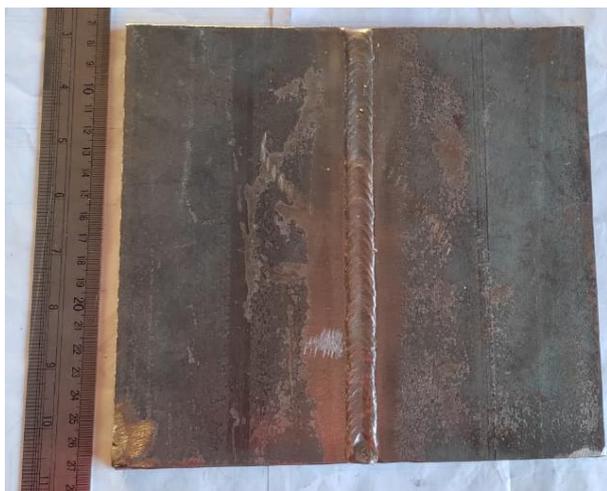


Figura 6. Inspeção visual do cordão de solda (Autoria Própria)

Figura 7. Inspeção da raiz de solda do CP (Autoria Própria)

As Figuras 6 e 7 observa-se as duas faces do CP comprovando a inexistência de defeitos que comprometam a o cordão de solda.

5.2 Ensaio de tração

O ensaio de tração foi realizado com o intuito de saber se tal material apresenta uma resistência adequada ao uso ao qual for destinado. O experimento tem o objetivo de analisar, se a resistência mecânica da solda pode sofrer interferência se a posição de soldagem variar.

Foram testados corpos de prova onde para cada um se recolheu os dados necessários para a plotagem e análise do gráfico tensão x deformação. Para cada condição de soldagem foram retirados valores médios de escoamento, ductilidade e limite de resistência do material testado (aço A36).

A Figura 8 mostra o comportamento dos corpos de prova testados, pode-se observar que a ruptura ocorre no metal de base, dentro do comprimento útil adotado que é de 100mm. Esse comportamento foi observado em todos os corpos de prova testados.



Figura 8. Corpos de prova após ensaio. (Autoria Própria)

De posse dos valores médios dos resultados dos testes pode-se fazer a consulta em Tabelas da literatura contidos em [12], para se comparar se o comportamento da solda e do material sofreram alterações que fogem dos valores esperados. Na Tabela 3 a seguir tem-se os valores médios obtidos dos ensaios:

Tabela 3: Resultados após ensaios de tração. (autoria própria)

<i>Valores médios obtidos dos ensaios de tração</i>			
<i>condição</i>	Escoamento (MP)	Limite resistência (MP)	ductilidade
1	262,87	409,48	20%
2	261,42	417,20	22%
3	288,26	404,15	23%

4	285,89	408,89	20,8%
média	274,61	409,93	21,45%

Ao se comparar os valores obtidos e os de referência literária contidos em [14] é visto que são valores próximos (considerando os valores de referência como valores mínimos admitidos). Para a tensão de escoamento, a variação em relação a média das médias das condições, tem-se um aumento de aproximadamente 9,8%, já para limite de resistência, é visto o aumento de aproximadamente 2,4% e para ductilidade observou-se redução de 28,5% de porcentagem de alongamento. Como todos os corpos de prova romperam no metal de base e não no metal de solda ou em suas imediações (ZAC), o ensaio de tração não foi capaz de medir as propriedades mecânicas como escoamento e limite de resistência do metal de solda da junta soldada. A microestrutura do local e as propriedades de qualquer ponto ao longo do cordão de solda são determinadas pelo ciclo térmico sofrido no ponto em questão [14], muito provavelmente a resistência do metal de solda (MS) ficou superior à do material base (MB), isso é devido à baixa energia de soldagem usada no processo que conseqüentemente produziu uma ZAC menor e com maior dureza que o MB. Contando que a energia de soldagem durante o processo de soldagem não seja muito elevada, a resistência mecânica da junta não é significativamente alterada. Entretanto, com o aumento da energia de soldagem, a ZAC aumenta consideravelmente e promove a redução da resistência mecânica da junta soldada [14].

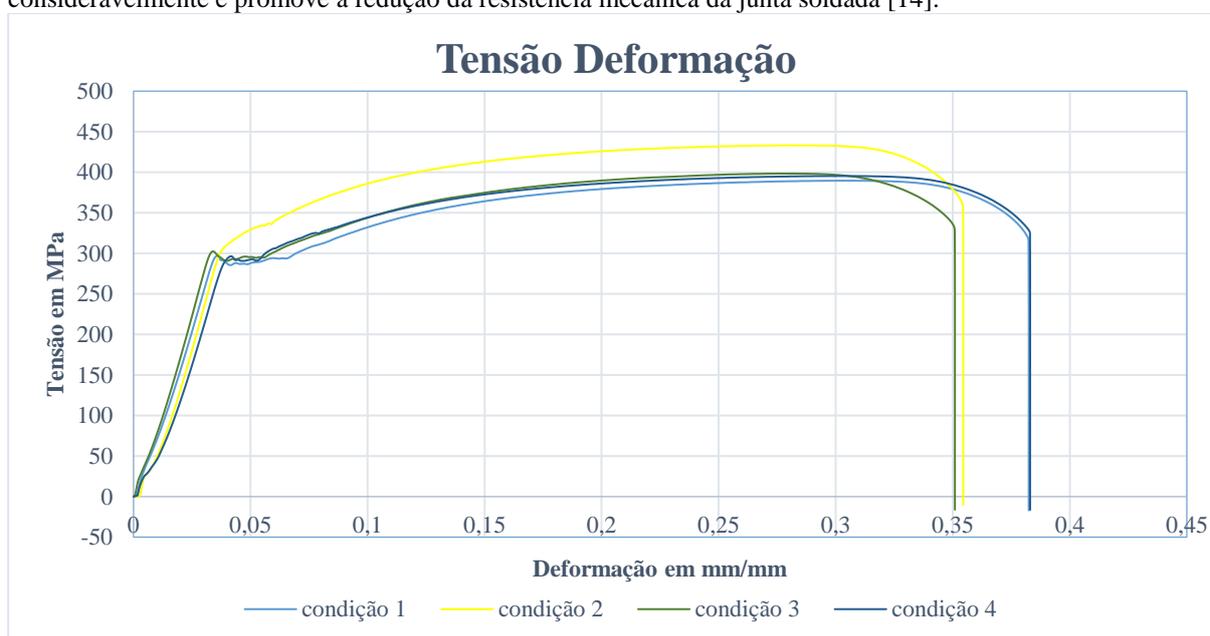


Gráfico 1. Gráficos tensão x deformação das quatro condições testadas (Autoria Própria)

No Gráfico 1, apresenta as curvas contendo os valores obtidos nos ensaios de tração, em que se pode observar todos os valores de tensão e deformação possíveis, a região elástica está delimitada até o valor limite de proporcionalidade, que nos Gráficos correspondem em média aproximadamente igual a 296 MPa, logo a seguir começa a deformar plasticamente entrando na região onde sua deformação é permanente, este valor está localizado aproximadamente em média 286MPa. A seguir pode-se observar que o material começa a deformar plasticamente, isso ocorre quando a tensão atinge o valor médio de 293MPa e vai até atingir o valor máximo de tensão do Gráfico onde este valor já é o valor de falha do material que é aproximadamente de 389 MPa em média.

5.3 Ensaio de Dureza

Considerando que os ensaios de tração não foram suficientes para inferir as propriedades da junta soldada (metal de solda), uma vez que todos os corpos de prova romperam na região do metal de base, adotou-se, portanto, a realização de ensaios de dureza a fim de avaliar a influência dos parâmetros ensaiados sobre a dureza no metal de solda e na ZAC, comparativamente com a dureza do metal de base.



Figura 9. CP's Após os testes (Autoria Própria)

Os corpos de prova foram testados como observado na Figura 8, fazendo-se 3 endentações no metal de base e 3 no metal de solda como observado na Figura 9. Em seguida foi calculado as médias e desvios padrão que serão relacionados na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4: Valores médios de Dureza e desvio padrão obtidos (Autoria própria)

<i>condição</i>	<i>METAL DE BASE(HRB)</i>	<i>METAL DE SOLDA(HRB)</i>
1	71,8 e (1.01)	81,9 e (1.27)
2	71,0 e (0.71)	85,3 e (3.71)
3	70,2 e (1.48)	83,9 e (0.50)
4	72,2 e (0.44)	83,2 e (1.75)

Comparando-se a segunda coluna com a terceira coluna da Tabela 4, pode-se observar que a dureza média do MB ficou diferente da dureza média do MS, sendo a dureza do MS maior que a dureza do MB, o que de fato era esperado. Todavia, pode-se observar na terceira coluna da Tabela 4 que também não houve diferença significativa de dureza do MS entre as diferentes condições ensaiadas. Com isso, pode-se afirmar que as condições ensaiadas neste trabalho – variação da corrente de soldagem entre 92A e 108A e comparação entre soldagem ascendente e descendente, não causaram alterações significativas na dureza da junta soldada.

6. CONCLUSÃO

Os ensaios de tração revelaram que, para os parâmetros comparados aqui (corrente e sentido de soldagem), o limite de resistência do metal de solda foi superior ao do metal de base, uma vez que nenhum corpo de prova rompeu no metal de solda. Nenhum corpo de prova rompeu na zona termicamente afetada, o que sugere que os aportes térmicos sofridos pelos corpos de prova durante a etapa de soldagem não foram suficientes para alterar significativamente as propriedades mecânicas dessa região da junta soldada. Os resultados obtidos com os testes de dureza indicaram que a variação de sentido de soldagem (ascendente ou descendente) não causaram variação significativa na dureza do metal de solda das juntas testadas. Os resultados obtidos com os testes de dureza indicaram ainda que a variação dos níveis de corrente testados, também não causaram variação significativa no metal de solda das juntas soldadas.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Ensaios Mecânicos da UFERSA pelos recursos necessários para realização dos ensaios neste trabalho.

À empresa NEW ENERGY TECH, por disponibilizar todo o material para os corpos de prova e soldagem.

REFERÊNCIAS

- [1] **SCOTTI, Ámerico e PONOMAREV, Vladimir.** *Soldagem MIG/MAG. Melhor Entendimento, Melhor Desempenho.* são paulo : Artliber, 2008.
- [2] **FORTES, Cleber e TURANI, Cláudio.** Apostila de Soldagem MIG/MAG. [Online] 25 de 01 de 2005. [Citado em: 04 de 11 de 2020.]
- [3] **M. Suban, J. Tušek,** Dependence of melting rate in MIG/MAG welding on the type of shielding gas used, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 119, Issues 1–3, 2001, Pages 185-192, ISSN 0924-0136, [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)00940-2](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00940-2).
- [4] **COSTA, Thonson Ferreira, FILHO, Edmundo Benedetti e VILARINHO, Louriel Oliveira.** Avaliação de Processos MIG/MAG curto-circuito convencional e controlado para a soldagem de dutos de aço carbono em passe único. *Soldagem & Inspeção.* [Online] 13 de 07 de 2012. [Citado em: 20 de 12 de 2020.] <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-92242012000400010>.
- [5] **MARADEI, Gabriel e Liskévych, Olga.** Um critério para determinar a regulagem da tensão em soldagem MIG/MAG por curto-circuito. [Online] junho de 2011. [Citado em: 2 de 12 de 2020.] https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-92242011000200002&script=sci_arttext&tlng=pt.
- [6] **MARQUES, Paulo Villani e MODESI, Paulo José.** *SOLDAGEM FUNDAMENTOS E TECNOLOGIA.* RIO DE JANEIRO : ELSEVIER, 2017.
- [7] **MARKUS, Herbert Erno.** Variação da Geometria do Cordão de Solda em juntas T. [Online] 2014. [Citado em: 14 de 11 de 2020.] <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/2214/TCC%20%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [8] **ASTM A36 / 36M.** Standard Specification for Carbon Structural Steel: Annual Book of ASTM Standards. USA: [s.n.]. 2008. 4p.
- [9] **Catálogo SUMIG Arame Tubular de Aço Carbono ER70S-6, 2022.** Caxias do Sul
- [10] **OLIVEIRA, Helder Silveira Costa.** Elaboração de procedimento de soldagem e análise de desempenho de soldadores. [Online] agosto de 2012. [Citado em: 20 de agosto de 2021.] <https://nmc.webnode.com.br/files/200000100-a5ba3a601e/TRABALHO%20DE%20CONCLUS%C3%83O%20DE%20CURSO.pdf>.
- [11] **JR, William D Callister.** *fundamentos da ciencia dos materiais.* s.l. : grupo gen, 2019.
- [12] **CHARLES, Russell Hibbeler.** *resistencia dos materiais.* 7. ed. são paulo : Pearson Prentice Hall, 2010.
- [13] **ISO 6508-1 2005 Metallic materials—Rockwell hardness test: part 1.** Test method (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T) (Geneva, Switzerland: ISO)
- [14] **DALCIN, Rafael Luciano.** Efeitos Da Energia de Soldagem e Consumíveis Sobre a resistência á Flexão de juntas "T" Soldadas em perfis tubulares. [Online] 2016. <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/141104/000991856.pdf?sequence=1>.