



Análise da influência dos parâmetros de soldagem no processo a arco submerso

Marília Aires Bezerra ^[1], João Vitor da Silva Negreiros ^[2], Jomar Meireles Barros ^[3],
Divanira Ferreira Maia ^[4], Marcos Mesquita da Silva ^[5]

[1] mariliaaires764@gmail.com. [2] jvnssuperlegal@gmail.com. [3] jomar.barros@ifpb.edu.br. [4] divaniram@yahoo.com.br.

[5] marcos.silva@ifpb.edu.br. Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Campus Campina Grande, Curso Técnico em Petróleo e Gás.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a análise da influência dos parâmetros de soldagem na geometria dos cordões de solda quando aplicados ao processo ao arco submerso. Especificamente, o projeto realizou: a construção de um suporte para a tocha de soldagem e reservatório de fluxo, e também a análise da geometria do cordão de solda em função dos parâmetros de soldagem. Para alcançar tais objetivos foi realizada a criação de um protótipo de suporte para a tocha de soldagem em software CAD e, em seguida, sua fabricação por meio da usinagem, a preparação do metal de base e a definição dos parâmetros de soldagem, a partir daí, foi dado início às soldagens. Os resultados mostraram que os suportes proporcionaram um bom desempenho para a realização das soldagens e as geometrias dos cordões apresentaram diferença em sua estrutura quanto à ocorrência de porosidade em alguns cordões, tendo forte relação com a tensão e o tipo de fluxo empregado. A distância do bico de contato à peça (DBCP) mostrou a tendência de diminuir a corrente quando a mesma aumentou. Além disso, a corrente e a energia de soldagem apresentaram comportamento semelhante quando de suas influências sobre a geometria dos cordões de solda. Ou seja, quando a corrente e a energia de soldagem aumentaram a altura diminuiu e a largura aumentou.

Palavras-chave: Soldagem ao arco submerso. Parâmetros de soldagem. Geometria do cordão de solda..

ABSTRACT

This work aimed to analyze the influence of welding parameters on weld bead geometry when applied to the submerged arc process. Specifically, the project carried out: the construction of a welding torch support and flow reservoir, as well as the analysis of the weld bead geometry as a function of the welding parameters. To achieve these objectives, a prototype support for the welding torch in CAD software was created and then fabricated by machining, preparation of the base metal and definition of welding parameters. From then on, welding began. The results showed that the supports provided a good performance for the welding and the geometries of the beads showed a difference in their structure regarding the occurrence of porosity in some beads, having a strong relationship with the stress and the type of flux employed. The contact tip to work distance (CTWD) showed a tendency to decrease current when it increased. In addition, welding current and welding energy showed similar behavior when influencing weld bead geometry. That is, when the current and welding energy increased the height decreased and the width increased.

Keywords: *Submerged arc welding. Welding parameters. Weld bead geometry.*

1 Introdução

A soldagem já está presente em nossas atividades há mais de 100 anos, mas a partir da 2ª Guerra Mundial é que a atividade se popularizou e ganhou importância em diversos aspectos da sociedade. Esta atividade tão importante é definida como a união de metais ou ametais de diferentes maneiras, tais como, soldagem a arco submerso, soldagem de alta intensidade, por resistência entre outras diversas formas (ABS, 2009; WAINER, 1992).

Os processos de soldagem podem ser divididos em dois grupos: processos por fusão e processos por pressão (deformação). Este último consiste em deformar as superfícies de contato permitindo a aproximação dos átomos a distâncias muito pequenas. As peças podem ser aquecidas localmente de modo a facilitar a deformação das superfícies de contato. Já o primeiro grupo se baseia na aplicação localizada de calor na região de união até a fusão do metal de base com o metal de adição (quando este é utilizado), destruindo as superfícies de contato e produzindo a união pela solidificação do metal fundido (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2017).

Dentre os vários processos de soldagem por fusão, o processo de soldagem SAW se destaca por apresentar vantagens como a sua elevada taxa de deposição, sua mecanização, proporcionando uma obtenção de cordões de solda com maior probabilidade de homogeneidade, requisitos bastante desejados em operações de soldagem. Entretanto, este processo normalmente utiliza elevadas energias ou aportes térmicos e, conseqüentemente, altas diluições, aspecto indesejável durante soldagens de metais de base de pequenas espessuras e aplicações de revestimentos contra corrosão e/ou abrasão. Como equacionar e resolver esse problema? Para a solução desse problema é necessário a realização de pesquisas/estudos voltados para a análise de variáveis, e a combinação delas, que influenciam nas propriedades de soldas obtidas pelo processo SAW.

Para amenizar os impactos metalúrgicos inerentes ao processo SAW, devido o emprego de elevados aportes térmicos, é preciso se utilizar de técnicas que reduzam esse aporte, ou seja, a energia de soldagem, tendo assim menores distorções e penetração. Várias técnicas utilizadas em outros processos de soldagem apresentam um potencial de aplicação para o processo SAW. Essas técnicas consistem em: alterar o tipo de corrente, (convencional, pulsada, alternada), inverter

a polaridade da corrente, bem como aumentar o *stickout*, provocando maior dispersão de energia por efeito Joule, aumentando a taxa de fusão do arame-eletrodo e, conseqüentemente, diminuindo a penetração. É possível citar ainda a soldagem com múltiplos arcos, adição de arame quente e a aplicação de revestimentos através de fitas. Além disso, os parâmetros de soldagem podem influenciar o comportamento de diversos fatores tais como os níveis de tensões residuais, de diluição, o teor de Fe e o nível de dureza no metal de solda.

Assim, tornam-se necessárias pesquisas voltadas para o estudo de parâmetros, ou combinação deles, que influenciam na qualidade da soldagem SAW, gerando melhores propriedades mecânicas.

O trabalho teve como objetivos analisar a influência dos parâmetros de soldagem quando da realização do processo a arco submerso, além de confeccionar um suporte/garra para a tocha de soldagem e reservatório de fluxo, analisando também a geometria do cordão de solda obtido pela soldagem SAW.

2 Referencial teórico

A soldagem é um processo que visa a união localizada de materiais, similares ou não, de forma permanente, baseada na ação de forças em escala atômica semelhantes às existentes no interior do material e é a forma mais importante de união permanente de peças usadas industrialmente. Existem basicamente dois grandes grupos de processos de soldagem. O primeiro se baseia no uso de calor, aquecimento e fusão parcial das partes a serem unidas, e é denominado processo de soldagem por fusão. O segundo se baseia na deformação localizada das partes a serem unidas, que pode ser auxiliada pelo aquecimento dessas até uma temperatura inferior à temperatura de fusão, conhecido como processo de soldagem por pressão ou processo de soldagem no estado sólido (WAINER, 1992; MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2017)

Os processos de soldagem por fusão são os mais utilizados na indústria. Como exemplos, tem-se: Soldagem a Arco com Eletrodos Revestidos (*Shielded Metal Arc Welding – SMAW*); Soldagem a Arco com Eletrodo de Tungstênio e Proteção Gasosa (*Gas Tungsten Arc Welding – GTAW*); Soldagem a Arco com Proteção Gasosa (*Gas Metal Arc Welding – GMAW*); Soldagem a Arco com Arame Tubular (*Flux Cored Arc Welding – FCAW*); Soldagem ao Arco Submerso

(*Submerged Arc Welding*), e outros (SILVA, 2009, SILVA *et al.*, 2019).

A escolha do processo de soldagem mais adequado para a aplicação de um revestimento depende de diversos fatores, tais como, versatilidade, custo, fator operacional (tempo de soldagem/ tempo total), habilidade do operador, energia de soldagem, diluição (%), taxa de deposição (kg/h), tamanho da peça, posição de soldagem, tipo de liga para revestimento, dentre outros (WAINER, 1992).

O processo de Soldagem ao Arco Submerso (SAW) consiste em um arame (eletrodo) nu, continuamente alimentado, o qual produz o arco elétrico com a peça, formando assim a poça de fusão, sendo ambos recobertos por uma camada de fluxo granular visível, que protege o metal contra a contaminação atmosférica e possui outras funções metalúrgicas. Portanto, o arco permanece “submerso” – dispensando o operador de usar equipamentos de proteção contra radiação. (MACHADO, 1996; (SILVA *et al.*, 2018).

Quando o equipamento de soldagem é ajustado para operação, vários fatos ocorrem em uma rápida sequência:

- Um arco elétrico é estabelecido quando a corrente flui entre o arame e a peça;
- O dispositivo de alimentação do arame começa a empurrar o arame a uma velocidade de alimentação controlada;
- O carro inicia seu deslocamento ao longo do cordão de solda (manual ou automaticamente);
- O fluxo para soldagem por arco submerso é alimentado através do tubo do silo e distribui-se continuamente sobre o cordão de solda por uma pequena distância à frente da região de soldagem.

O enorme calor desenvolvido pela passagem da corrente de soldagem através da zona de soldagem funde a extremidade do arame e as bordas adjacentes das peças de trabalho, criando uma poça de metal fundido. Esta poça está em um estado líquido bem fluido e é turbulenta. Por essas razões, qualquer escória ou quaisquer bolhas de gás são prontamente varridas para a superfície. O fluxo para soldagem por arco submerso protege completamente a região de soldagem do contato com a atmosfera. Uma pequena quantidade de fluxo se funde. Essa porção fundida tem várias funções: ela cobre completamente a superfície da solda, evitando a contaminação do metal de solda

por gases atmosféricos; dissolve, e, portanto, elimina as impurezas que se separam do metal fundido e fluem em sua superfície. Além disso, o fluxo pode ser um agente de adição de certos elementos de liga. A combinação de todos esses fatores resulta em uma solda íntegra, limpa e homogênea.

À medida que o cordão de solda é constituído, a parte fundida do fluxo se resfria e endurece, formando um material duro e vítreo, que protege a solda até seu resfriamento, sendo normal seu completo destacamento da solda.

Desde que adequadamente executadas, as soldas por arco submerso não apresentam fagulhas, tornando desnecessários equipamentos de proteção contra a radiação. Não há respingos a serem removidos. (FORTES, 2004)

Esse processo é muito usado na soldagem de estruturas de aço, na fabricação de tubulações e de deposição de camadas de revestimentos tanto na fabricação como na recuperação de peças desgastadas. Trabalha frequentemente com correntes de soldagem elevadas, que podem ser superiores a 1000 A, o que pode levar a taxas de deposição de até 45 kg/h. Sua maior utilização é na forma mecanizada ou automática, existindo equipamentos para soldagem semiautomática. (MODENESI e MARQUES, 2007).

Como qualquer processo de soldagem, o processo a arco submerso apresenta vantagens e desvantagens.

Vantagens:

- Elevada velocidade de soldagem;
- Maiores taxas de deposição;
- Boa integridade do metal de solda;
- Ausência de respingos e fumos;
- Processo de fácil uso;
- Melhor ambiente de soldagem e segurança para o operador;
- Permite alto grau de automação.

Desvantagens:

- Limitado a posições de soldagem plana e horizontal em ângulo;
- Necessário retirar escória entre passes.

Esse tipo de soldagem possui uma vasta gama de aplicações, dentre as quais é possível destacar:

- Soldagem em aços-carbono e ligados;
- Soldagem em níquel e suas ligas;

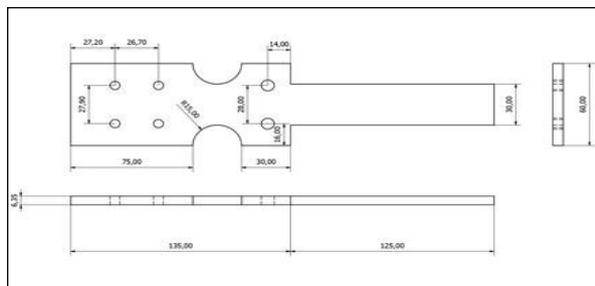
- Soldagem de membros estruturais e tubos de grande diâmetro;
- Soldagem em fabricação de peças pesadas de aço (navios, etc.); e
- Revestimento, manutenção e reparo.

3 Método da pesquisa

No Laboratório de Soldagem e Manutenção de Equipamentos (LABSeM) do IFPB Campus Campina Grande, realizou-se a preparação adequada de peças planas de aço-carbono (metal de base) com espessura de 12,7mm. A obtenção dessas peças realizou-se partir do corte a plasma e posterior usinagem em máquina operatriz denominada plaina.

A fim de sustentar a tocha de soldagem durante as atividades, uma vez que acoplada ao carro de soldagem apresentava-se muito pesada, realizou-se a elaboração de uma peça, em *software* CAD (Figura 1), no Laboratório de Sistemas Hidropneumáticos (LABHIP) do IFPB Campus Campina Grande, para assegurar sua posição fixa durante o procedimento de soldagem.

Figura 1 – Desenho esquemático da peça de suporte feita no Autodesk Inventor®.



Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

Após a elaboração do modelo do suporte, iniciou-se o processo de usinagem da peça a partir de uma chapa de metal com 6,35 mm de espessura (Figura 2). Essa chapa foi cortada no formato da peça por uma máquina de corte a plasma (Barracuda 150 da RHEM *Welding Technology*) utilizando-se corrente de 70 Amperes (Figura 3). As dimensões dessa peça cortada foram de: 260 mm de altura, 6,35 mm de espessura e 60 mm de largura.

Figura 2 – Chapa de metal utilizada na fabricação da peça



Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

Figura 3 – Máquina de corte a plasma Barracuda 150 da RHEM *Welding Technology*



Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

Para os cortes dos semicírculos nas laterais da peça foi utilizada a Policorte DeWALT D28720-B2 (Figura 4). Para o acabamento e arredondamento das extremidades utilizou-se uma Lima Bastarda Meia Cana (Figura 5).

Para fixar o suporte à tocha e ao carro de soldagem, inicialmente projetou-se um dispositivo conforme a Figura 6. Para isso, foi utilizado um tarugo rosqueado com 8 mm de diâmetro, o qual foi deformado (curvado) até a forma desejada (dobrado a um raio de 10mm).

Figura 4 – Policorte modelo DeWALT D28720-B2.



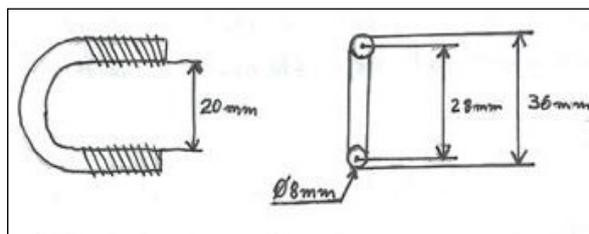
Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

Figura 5 – Lima Bastarda Meia Cana



Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

Figura 6 – Esboço do tirante



Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

Logo após, deu-se início à sequência de furos na peça suporte para introduzir nela os parafusos e sustentá-la no carro de soldagem. A primeira broca utilizada foi a de 2,5 mm para realizar o furo guia e, em seguida, foram usadas respectivamente as brocas de 3,5 mm, 4,5 mm até 5, 5 mm para os furos inferiores. Já para os furos superiores, foi dado o seguimento destes a partir do furo com a broca de 5,5 mm até a broca de 8 mm. Todos esses furos foram feitos com o auxílio de uma furadeira de bancada modelo Motomil FBM-160i (Figura 7).

Figura 7 – Furadeira de bancada.



Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

Com a furação do suporte foi gerado rebarba de metal, sendo necessário removê-la. Portanto, foi realizado todo o acabamento necessário para remover a rebarba utilizando-se uma lima redonda murça para remover a rebarba nos furos e uma lima chata murça para remover a rebarba na superfície do suporte. Com

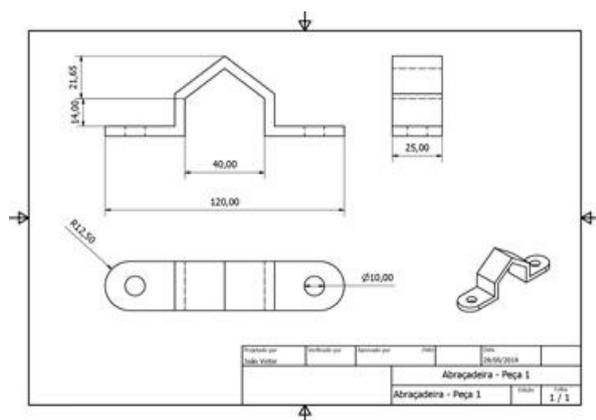
todas as medidas do suporte corretas, foi feito um teste com o tirante, o suporte e a tocha de soldagem.

Entretanto, quando se realizou o teste de soldagem ocorreu passagem de corrente elétrica para o carro e suporte, mesmo com um esforço prévio para isolar eletricamente o tirante. Para resolver esse problema, desenvolveu-se uma abraçadeira de aço (Figuras 8 e 9) para substituir o tirante, de modo a impedir o contato elétrico entre as áreas de metal da tocha, o suporte e o carro.

Na confecção da abraçadeira, utilizou-se o mesmo material metálico da peça suporte. Essa chapa metálica foi usinada e deformada até o modelo desejado, sendo suas medidas de: 6,35 mm de espessura; 12 cm de comprimento e 25mm de largura. Esta peça também foi furada utilizando uma sequência de brocas a partir do diâmetro de 2,5 mm até a broca de 10,5mm. Com os furos prontos, foram inseridos os parafusos na abraçadeira para fixá-la na tocha de soldagem e na peça de suporte realizando, em seguida, o segundo teste de soldagem, agora com auxílio das abraçadeiras.

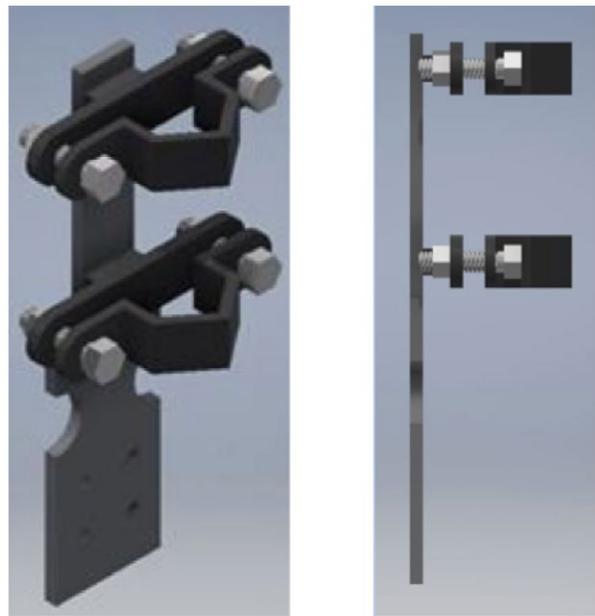
Após a confecção do suporte, das abraçadeiras e a realização dos testes, foram iniciadas as soldagens ao arco submerso, no Laboratório de Soldagem e Manutenção de Equipamentos (LABSeM), variando os parâmetros na máquina de soldagem a fim de analisar a influência destes na largura e altura dos cordões de solda.

Figura 8 – Vistas múltiplas da abraçadeira do suporte feitas no Autodesk Inventor®.



Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

Figura 9 – Representação do suporte com abraçadeiras em (a) perspectiva e (b) vista lateral.



(a) (b)

Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados durante realização da soldagem dos cordões e a Tabela 2 apresenta as variações realizadas para cada cordão de solda.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados nas soldagens dos cordões

Quadro dos Parâmetros	
DBCP	Distância do bico de contato à peça
U	Tensão elétrica
Va	Velocidade de alimentação do arame
Vs	Velocidade de soldagem

Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

Tabela 2 – Variação dos parâmetros em cada cordão de solda

Cordão	Parâmetros de soldagem			
	DBCP (mm)	U (volts)	Va (m/min)	Vs (cm/min)
Cordão 01	18,00	25,00	5,00	12,50
Cordão 02	18,00	30,00	7,00	15,02
Cordão 03	18,00	25,00	5,00	12,50
Cordão 04	22,40	30,00	7,50	15,02
Cordão 05	26,00	30,00	7,00	15,02
Cordão 06	18,00	30,00	5,00	12,50
Cordão 07	18,00	25,00	5,00	12,50
Cordão 08	18,00	25,00	5,00	12,50
Cordão 09	18,00	30,00	8,00	15,02
Cordão 10	26,00	30,00	8,00	15,02

Quanto ao tipo de fluxo utilizado nas soldagens a arco submerso, foi feito o uso de dois tipos diferentes. O primeiro apresentava uma granulometria grosseira, sem identificação da empresa (desconhecido, fornecido pelo fabricante da máquina de solda para testes), velho e, provavelmente, com umidade. Já o segundo fluxo, era conhecido (ESAB– OK Flux 429 Nacional), novo, granulometria mais uniforme e sem umidade (Figura 10).

Figura 10 – Segundo fluxo utilizado nas soldagens



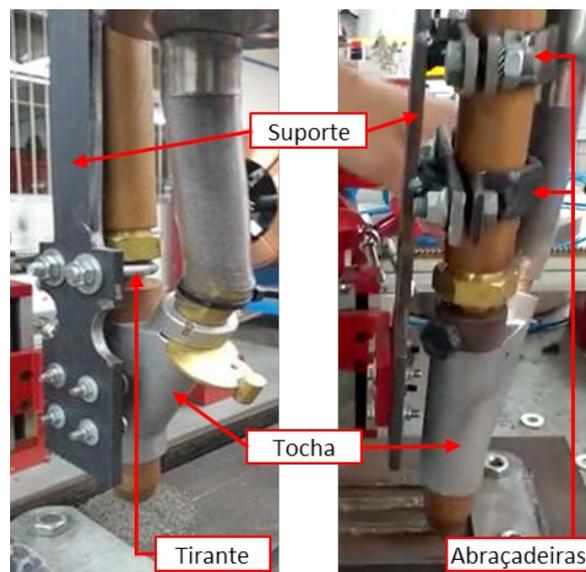
Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

O primeiro fluxo teve participação na confecção dos cordões 1, 2, 3, 4 e 7. Já os cordões 5, 6, 8, 9 e 10 foram obtidos com segundo fluxo. Em um dado momento das atividades, foi realizado um tratamento no primeiro fluxo, o qual foi peneirado e aquecido a uma temperatura de 150°C por 1 hora e, ao final desse procedimento, realizou-se a confecção do cordão 7.

4 Resultados da pesquisa

Neste trabalho, o primeiro desafio enfrentado foi a falta de um suporte adequado para sustentar a tocha de soldagem uma vez que acoplada ao carro de soldagem, apresentava-se muito pesada impedindo um funcionamento eficaz. Entretanto, quando confeccionados, somente a peça de suporte e o tirante não foram suficientes para promover uma boa fixação da tocha de soldagem, pois quando adicionado o fluxo no reservatório a estrutura continuava pesada, além de ocorrer passagem de corrente elétrica para o carro e o suporte (Figura 11a).

Figura 11 – Duas configurações para fixação da tocha: (a) suporte com tirante e (b) suporte com abraçadeiras.



(a) (b)

Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

Para resolver esse problema, e diminuir o esforço sofrido pelo carro de soldagem e pelo suporte confeccionado, gerado pelo peso da tocha e do fluxo, o desenvolvimento de abraçadeiras (Figura 8, Figura 9 e Figura 11b) foi uma alternativa que substituiu o tirante e respondeu positivamente às necessidades do projeto,

pois a confecção dos cordões só poderia ser realizada através do bom desempenho desses suportes, uma vez que estava ocorrendo contato elétrico entre o carro e a tocha, impedindo a produção dos cordões de solda. Só assim, foi possível dar início às atividades de soldagem sem interferência, obtendo-se os um cordão de solda teste e mais 10 (dez) cordões resultantes da variação dos parâmetros de soldagem (Figura 12).

Figura 12 – Cordões de solda.



Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

Analisando os resultados a partir dos parâmetros utilizados (Tabela 2) e dos resultados obtidos (Tabela 3), foi possível constatar uma diferença na aparência dos cordões (largura, altura e presença de porosidade). A Tabela 4 apresenta os valores médios de altura e largura dos cordões em função dos parâmetros e energia transferida.

Para os cordões de solda obtidos com o primeiro fluxo (C1, C2, C3, C4 e C7) notou-se a presença de porosidade ao longo do seu comprimento o que possivelmente pode ter sido ocasionado pela presença de impurezas no fluxo durante o seu manuseio nas atividades laboratoriais. Apesar do tratamento feito com o primeiro fluxo ainda se constatou a presença de poros no cordão 7.

Os cordões de solda obtidos com o segundo fluxo (C5, C6, C8, C9 e C10), diferentemente do primeiro, só apresentaram porosidade no C8.

Alternando a tensão na máquina de soldagem entre 25 e 30 volts, para os cordões que utilizaram $V_a = 5$ m/min e $V_s = 12,5$ cm/min, observou-se que os resultados obtidos por $U = 25$ volts (C1, C3, C7 e C8) apresentaram reforço de solda altos, cordão estreito e presença de porosidade.

Tabela 3 – Resultado da altura e largura de cada cordão.

Cordões	Geometria do cordão de solda			
	Medições da altura (mm)	Altura média (mm)	Medições da largura (mm)	Largura média (mm)
Cordão 01	6,05	5,16	8,85	8,52
	4,47		7,85	
	4,96		8,85	
Cordão 02	5,14	4,51	10,25	11,04
	4,36		11,8	
	4,03		11,08	
Cordão 03	5,17	5,03	8,30	8,06
	4,97		8,28	
	4,96		7,60	
Cordão 04	5,24	4,74	9,13	10,53
	4,83		11,02	
	4,14		11,44	
Cordão 05	4,75	4,92	9,63	9,41
	4,78		9,03	
	5,22		9,57	
Cordão 06	3,72	3,61	11,52	11,51
	3,59		11,51	
	3,52		11,50	
Cordão 07	5,24	4,94	7,70	7,88
	4,80		8,03	
	4,79		7,90	
Cordão 08	4,89	4,69	7,73	7,99
	4,69		8,20	
	4,49		8,04	
Cordão 09	4,88	4,50	11,50	11,73
	3,72		11,36	
	4,91		12,33	
Cordão 10	5,59	4,92	9,10	8,98
	4,64		9,20	
	4,53		8,64	

Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

Tabela 4 – Resultados das geometrias dos cordões a partir de cada parâmetro

Cordões de solda	Parâmetros de configuração na máquina Energia transferida durante o processo				RESPOSTAS				
	DBCP (mm)	Vs (cm/min)	Va (m/min)	U (volts)	Geometria do cordão de solda		H (kJ/cm)	Altura (mm)	Largura (mm)
					Um (volts)	Im (A)			
01	18,0	12,50	5,0	25,0	28,3	101,0	12,35	5,02	8,51
02	18,0	15,02	7,0	30,0	30,6	147,0	16,17	4,55	10,55
03	18,0	12,50	5,0	25,0	28,3	101,0	12,35	4,93	7,08
04	22,4	15,02	7,5	30,0	30,7	141,0	15,56	4,66	10,99
05	26,0	15,02	7,0	30,0	31,1	130,0	14,54	4,98	9,67
06	18,0	12,50	5,0	30,0	30,3	126,0	16,49	3,71	11,49
07	18,0	12,50	5,0	25,0	27,1	105,0	12,29	4,81	7,67
08	18,0	12,50	5,0	25,0	26,5	112,0	12,82	4,62	7,21
09	18,0	15,02	8,0	30,0	30,2	169,0	18,35	4,35	11,10
10	26,0	15,02	8,0	30,0	31,0	138,0	15,38	4,99	9,01

Fonte: Imagem elaborada pelo autor.

Já para o C6 que utilizou $U = 30\text{volts}$, o resultado foi uma boa aparência na largura do cordão, sem excesso de reforço e sem porosidade.

Outros cordões que também utilizaram $U = 30\text{volts}$, porém, com $V_s = 15,02\text{ cm/min}$ (C2, C4, C5, C9 e C10) apresentaram uma boa aparência na largura do cordão, sem excesso de reforço e porosidade apenas nos cordões C2 e C4.

Assim, entende-se que a tensão tem forte influência na geometria dos cordões de solda, melhorando sua aparência quanto a largura e diminuição da porosidade, pois, como a literatura bem explica, o aumento da tensão do arco aumenta a largura do cordão (SILVA *et al.*, 2016). Porém, a influência do tipo de fluxo não é descartável, pois quando se utilizou $U = 25\text{v}$ ocorreu porosidade, inclusive no C8 que foi recoberto com o fluxo novo. Já para os cordões obtidos com $U = 30\text{v}$, não se constatou a presença de poros nos cordões que utilizaram fluxo novo, somente no C2 que utilizou o primeiro fluxo.

A fim de observar melhor a influência da corrente média de soldagem na geometria dos cordões, a partir da Tabela 4, colocou-se os valores de corrente em ordem crescente, conforme a Tabela 5 (note que a numeração dos cordões nessa tabela não estão mais em ordem crescente).

Construindo o gráfico da Figura 13, a partir da Tabela 5, nota-se que um aumento da corrente produz uma tendência da altura do cordão diminuir. E, na Figura 14, verifica-se que a largura dos cordões tendem a aumentar quando a corrente também é incrementada.

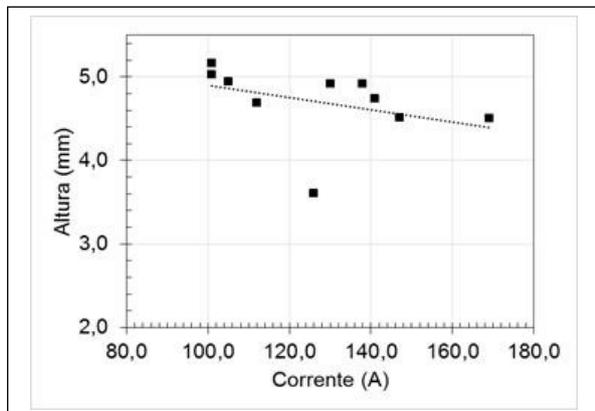
Essa variação pode ser constatada ao verificar a corrente utilizada nos cordões 1 e 9. Porém, essa variação não foi uniforme em toda a faixa de operação, pois o cordão 6, mesmo com corrente igual a 126A apresentou menor altura dentre todos os cordões (Tabela 4).

Tabela 5 – Influência da corrente na geometria.

Cordões	Im (A)	Altura (mm)	Largura (mm)
01	101,0	5,02	8,51
03	101,0	4,93	7,08
07	105,0	4,81	7,67
08	112,0	4,62	7,21
06	126,0	3,71	11,49
05	130,0	4,98	9,67
10	138,0	4,99	9,01
04	141,0	4,66	10,99
02	147,0	4,55	10,55
09	169,0	4,35	11,10

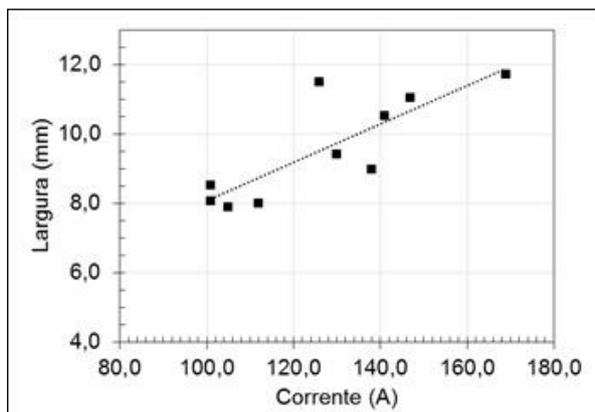
Fonte: Imagem elaborada pelo autor

Figura 13 – Influência da corrente na altura dos cordões



Fonte: Imagem elaborada pelo autor

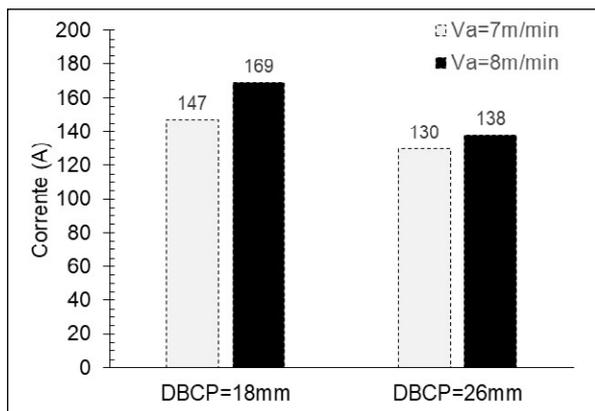
Figura 14 – Influência da corrente da largura dos cordões.



Fonte: Imagem elaborada pelo autor

A Figura 15 mostra a influência da DBCP e da Va sobre os valores de corrente elétrica média de soldagem.

Figura 15 – Influência da DBCP na corrente média.



Fonte: Imagem elaborada pelo autor

Alternando a velocidade de alimentação do arame e a DBCP, é possível perceber que quando utilizou-se Va=7 m/min (C2 e C5) e aumentou a DBCP de 18mm (C2) para 26 mm (C5) ocorreu a diminuição da corrente, e para as soldas que utilizaram Va = 8 m/min (C9 e C10) aumentando a DBCP de 18 mm (C9) para 26 mm (C10) a corrente também diminuiu. Entende-se, nesse caso, que a DBCP influenciou fortemente nos valores da corrente.

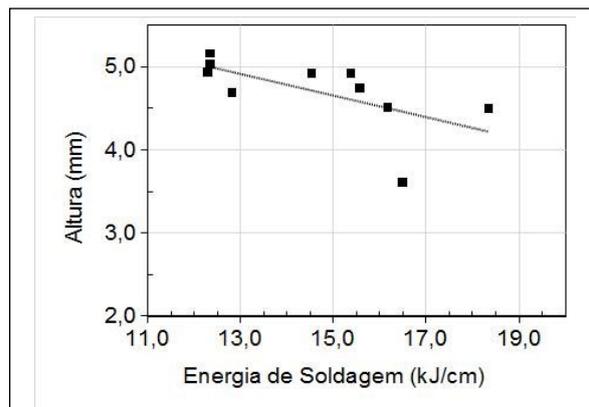
Pode-se verificar a partir da Tabela 6 e das Figuras 16 e 17, que a energia de soldagem também influencia diretamente na geometria dos cordões, uma vez que, conforme ocorre o aumento da energia de soldagem, a altura do cordão diminui e a largura aumenta, ou seja, o cordão se espalha. Isso pode ser explicado pela relação que existe entre a tensão e a corrente, sendo elas diretamente proporcionais à energia de soldagem.

Tabela 6 – Influência da Energia de Soldagem.

Cordões	H (kJ/cm)	Altura (mm)	Largura (mm)
07	12,29	4,81	7,67
01	12,35	5,02	8,51
03	12,35	4,93	7,08
08	12,82	4,62	7,21
05	14,54	4,98	9,67
10	15,38	4,99	9,01
04	15,56	4,66	10,99
02	16,17	4,55	10,55
06	16,49	3,71	11,49
09	18,35	4,35	11,10

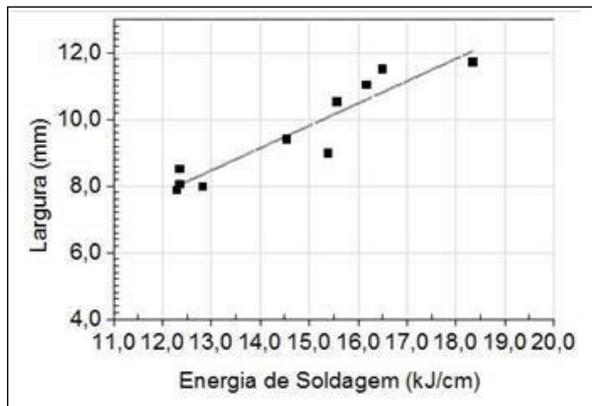
Fonte: Imagem elaborada pelo autor

Figura 16 – Influência da energia de soldagem na altura dos cordões.



Fonte: Imagem elaborada pelo autor

Figura 17 – Influência da energia de soldagem na largura dos cordões



Fonte: Imagem elaborada pelo autor

5 Conclusão

Esta pesquisa se propôs, como objetivo geral, analisar a influência dos parâmetros de soldagem no processo a arco submerso, buscando os melhores parâmetros de soldagem SAW para deposição de metal de adição de aço carbono, em chapas de 12,7 mm. Quanto aos objetivos específicos, o projeto trouxe a elaboração e construção de um suporte para sustentar a tocha de soldagem SAW, já que a mesma apresentava-se muito pesada para o carro de soldagem, e também, analisar a geometria dos cordões de solda obtidos pelo processo SAW.

No que diz respeito à realização dos objetivos propostos, com base nas experiências relatadas anteriormente, pode-se concluir que o suporte confeccionado atendeu aos requisitos esperados, facilitando o trabalho de deslocamento do carro e promovendo uma boa fixação da tocha, fazendo com que ela permaneça firme durante a atividade de soldagem já que, além do seu peso, quando adicionado o fluxo no reservatório esse peso aumenta. Para os objetivos relacionados à análise da geometria do cordão de solda, observou-se que esta sofre muita influência quanto ao aumento ou diminuição da tensão no arco, pois, dependendo da intensidade, pode melhorar a aparência do cordão em sua largura e altura, diminuindo também a presença de poros. No entanto, não podemos descartar a influência do fluxo nos resultados de soldagem, que também podem gerar porosidade nos cordões, dependendo da sua procedência.

A DBCP e a variação na velocidade de alimentação (V_a) do arame se apresentam como uma forte

influência na geometria dos cordões, pois quando ocorreu um aumento da DBCP a corrente tendeu a diminuir e quando se aumentou a V_a a corrente apresentou a tendência de aumentar. Sobre a energia de soldagem, observou-se também que o aumento desse parâmetro diminuiu a altura do cordão e aumenta a largura o que faz com que o cordão se espalhe mais sobre o metal de base. Por fim, temos a influência da corrente na confecção das soldas, pois, aumentando sua intensidade a altura do cordão diminui e, conseqüentemente, a largura aumenta.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SOLDAGEM (ABS) (Brasil). Construtores Navais Duplicam a taxa de Deposição na Soldagem de Painéis. **Revista da Soldagem**, São Paulo, Ano V, n. 13, p.15-20, 2009.
- WAINER, E.; BRANDI, S.; MELLO, F. D. H. **SOLDAGEM: Processos e Metalurgia**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1992.
- MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **SOLDAGEM: Fundamentos e Tecnologia**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. 370 p.
- SILVA, Marcos Mesquita da. **CARACTERIZAÇÃO METALÚRGICA E TENACIDADE DE REVESTIMENTOS EM AÇOS INOXIDÁVEIS 317L APLICADOS POR SOLDAGENS MIG MANUAL E ROBOTIZADO PARA EQUIPAMENTOS DO SETOR DE PETRÓLEO E GÁS**. 2009. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- SILVA, Marcos Mesquita da *et al.* Soldagem GTAW mecanizada com adição de arame frio. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, [s.l.], v. 38, n. 1, p.38-43, 6 maio 2019. SBV Sociedade Brasileira de Vacuo. <http://dx.doi.org/10.17563/rbav.v38i1.1123>.
- MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre: Editado Pelo Autor, 1996. 477 p.
- SILVA, Marcos Mesquita da *et al.* Estudo de revestimentos de liga de níquel aplicados por soldagem em aço API 5L Gr B. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, [s.l.], v. 1, n. 43, p. 212, 13 dez. 2018. Instituto Federal de Educacao,

Ciencia e Tecnologia da Paraiba. <http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n43p212-221>.

FORTES, C.. **Soldagem MIG/MAG**. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/por/Instrucao/biblioteca/upload/1901104rev0_ApostilaSoldagemMIGMAG.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2007.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.. **Introdução aos Processos de Soldagem**. Disponível em: <www.demet.ufmg.br/grad/disciplinas/emt019/processo.pdf>. Acesso em: 20 out. 2007.

ZEEMANN, A.; **Energia de soldagem**. Disponível em: <<https://www.infosolda.com.br/artigos/metalurgia/energia-de-soldagem-2>>. Acesso em: 08 set. 2019.

SILVA, Marcos Mesquita da *et al.* Otimização de Parâmetros do Processo de Soldagem Arco Submerso para Revestimentos Anticorrosivos. *Soldagem & Inspeção*, [s.l.], v. 21, n. 1, p. 115-124, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/si2101.11>.