AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA POSIÇÃO DE INJEÇÃO DE ARAME EM SOLDAGEM TIG COM ALIMENTAÇÃO DINÂMICA EM ALTA FREQUÊNCIA

(Effects Evaluation of Wire Injection Position in High-Frequency Feeding TIG Welding)

Rafael Albino Bernardi[1], Kauê Correa Riffel[1], Larissa Colares Maia[1], Rafael Gomes Nunes Silva[1], Régis Henrique Gonçalves e Silva[1], Mateus Barancelli Schwedersky[1]
[1]Universidade Federal de Santa Catarina, LABSOLDA, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
rafael.a.b@posgrad.ufsc.br, kaueriffel@hotmail.com, larissa.colares@posgrad.ufsc.br, rafael.nunes@grad.ufsc.br, regis@labsolda.ufsc.br, m.barancelli@ufsc.br

Resumo

O processo TIG com alimentação dinâmica vem ganhando atenção industrial e encontrando crescente aplicabilidade nos últimos anos. A principal característica deste processo é a vibração do arame, tendo como objetivo melhorar o comportamento dinâmico da poça, aumentando sua molhabilidade e melhorando propriedades de integridade, com mitigação de falta de fusão e porosidade, associada a uma reportada melhor operacionalidade na soldagem semiautomática. Este trabalho descreve a avaliação do comportamento do processo de soldagem TIG com oscilação vibratória do arame quanto à posição de injeção do arame, avaliando as características geométricas do cordão. Foram realizados testes sobre chapas de aço carbono variando a posição de arame (pela frente e por trás do arco) com cold wire e hot wire em transferência por ponte, enquanto que as demais variáveis do processo foram mantidas. Foi utilizada uma câmera da alta velocidade, permitindo assim avaliar a transferência metálica e comportamento da poça. Posteriormente, realizaram-se as análises das características gerais dos cordões de solda. A adesão do hot wire proporcionou maior molhabilidade com a alimentação de arame pela frente do arco. Para o cold wire, a alimentação por trás do arco apresentou maior molhabilidade. Resultados apresentaram forte influência da posição do injetor de arame quanto as características dos cordões de solda. A alimentação de arame pela frente do arco pode trazer consequências para o processo, limitando sua funcionalidade.

Palavras-chave: *GTAW; Alimentação pulsada; Alimentação oscilatória; Alimentação vibratória; Alta frequência.*

Abstract: *The TIG process with dynamic wire feeding has gained industrial attention and finding crescent applicability over the past years. The main characteristic of this process is the wire vibration, aiming to improve the dynamic behavior of the welding pool, increasing its wettability and improving integrity properties, with mitigation of lack of fusion and porosity, associated with a reported better operability in semi-automatic welding. This study describes the evaluation of the behavior of TIG welding process with vibratory wire oscillation regarding wire injection position, analyzing the welding bead's geometric characteristics. Tests were conducted on steel sheets varying the wire position (ahead and behind the arc) with cold wire and hot wire in bridge transfer, while the other variables remained constant. A high-speed camera was used, permitting to evaluate the metal transfer and the welding pool's behavior. Further analysis were carried out of the beads' general characteristics. The adoption of hot wire provided higher wettability with the feeding ahead the arc. For cold wire, the feeding behind the arc presented higher wettability. The feeding ahead the arc may bring consequences for the process, limiting its functionality.*
Results show strong influence of the wire injector position on the beads' characteristics.

Key-words: *GTAW; Pulsed feeding; Oscillatory feeding; Vibratory feeding; High-frequency.*

1. Introdução

O processo de soldagem TIG apresenta características favoráveis como alta qualidade, ausência de respingos, fumos e escória [1], além do controle mais acurado da poça de fusão. Todavia, a limitação quanto a baixa taxa de

deposição em comparação ao processo MIG é notória e tem sido o foco de pesquisas em melhorias nos últimos anos. Técnicas desenvolvidas referentes à alimentação de arame têm progressivamente preenchido as deficiências do processo TIG, permitindo não apenas a automatização do processo, mas também um aumento significativo da taxa de deposição e consequentemente elevando a produtividade, agregado às já mencionadas vantagens do processo [2].

Um meio de elevar a taxa de deposição do processo TIG é utilizar o pré-aquecimento do arame, denominado *hot wire*. O processo de soldagem TIG automático com *hot wire* foi desenvolvido para conseguir elevar a taxa de deposição à valores comparáveis às taxas de deposição do processo MIG/MAG [3].

1.1 Alimentação Dinâmica - modo vibratório

Neste contexto está inserida a **Alimentação Dinâmica - modo vibratório**, cuja versão comercial mais conhecida é o TIPTIG, variação do processo TIG convencional, no qual há a oscilação do arame em alta frequência. De acordo com o fabricante, o pré-aquecimento do arame aliado à agitação da poça conferem maior fluidez da poça e a desaceleração da solidificação, permitindo o aumento da taxa de fusão [4].

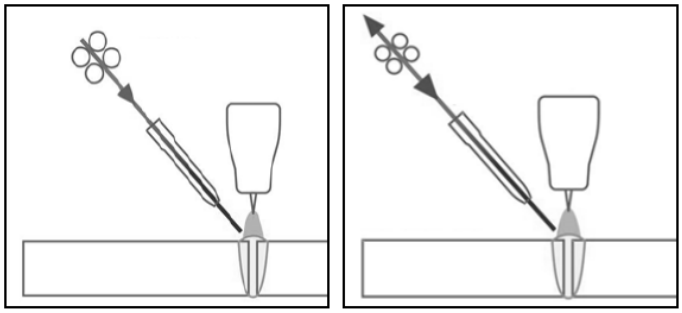


Figura 1. Representação do processo TIG com alimentação contínua (esquerda) e dinâmica (direita).

A ausência de literatura acerca dos efeitos provenientes da alimentação em alta frequência no processo TIG exige estudos mais aprofundados e imparciais, de modo a avaliar efetivamente o desempenho do processo e suas reais aplicações. Deste modo, este trabalho descreve a avaliação do processo TIG com alimentação dinâmica em alta frequência quanto a posição de injeção de arame (pela frente e por trás do arco), com e sem a utilização do pré-aquecimento do arame (*hot wire*).

2. Matérias e Métodos

Foram realizados depósitos sobre chapas planas de 3/8” de aço carbono, utilizando-se como material de adição o ER 70S-6 ϕ1,0mm e gás de processo Argônio puro. O sistema utilizado é conhecido comercialmente como TIPTIG, e permite a oscilação do arame em frequências em torno de 16 a 18Hz. Tal sistema é composto pela fonte de soldagem, cabeçote alimentador (que por sua vez proporciona a dinâmica característica deste processo), o manipulador robótico, tocha de soldagem e direcionador do injetor de arame, além dos sistemas controladores do processo.

Figura 2. Equipamentos utilizados.

Para avaliar as características dos cordões de solda variando-se a posição de injeção de arame com e sem *hot wire*, foram mantidos os parâmetros elétricos para todos os ensaios. Para garantir o modo de transferência por ponte em todos os ensaios mantendo-se a mesma energia de soldagem, foram realizados ajustes na distância eletrodo-arame para cada modalidade. Foram executados três cordões para cada modo de operação. A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados.

Tabela 1. Parâmetros utilizados.

Diâmetro do Eletrodo	3,2 mm
Tensão de referência (AVC) na fonte	10 V
Corrente de soldagem na fonte	150 A
Corrente Hot Wire	70 A
Velocidade de soldagem	20 cm/min
Velocidade de Alimentação de arame	1,51 m/min
Vazão gás de processo	12 L/min

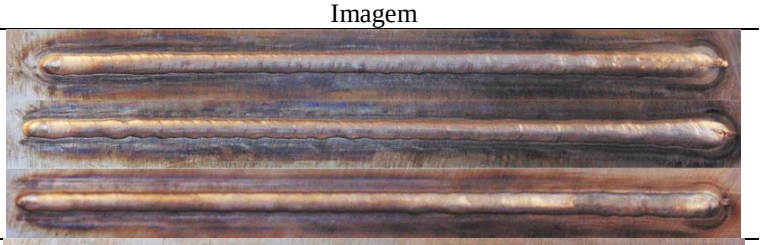
Foram adotadas as siglas TH para os ensaios com alimentação por trás do arco com *hot wire*; TC para os ensaios com alimentação por trás do arco com *cold wire*; FH para os ensaios com alimentação pela frente do arco com *hot wire* e finalmente FC para os ensaios com alimentação pela frente com *cold wire*. As numerações 01, 02 e 03 referenciam o cordão realizado com determinada configuração.

A utilização de um Sistema de Aquisição Portátil (SAP) aliada a filmagens com câmera de alta velocidade permitiu a análise do comportamento do processo para cada caso. Ainda, foi realizado o corte transversal dos corpos de prova na região central dos cordões para a realização da análise macrográfica, permitindo obter valores de largura e reforço dos cordões de solda.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 2 são apresentados os cordões de solda obtidos para cada um dos ensaios.

Tabela 2. Cordões obtidos nos ensaios.

Ensaio	Imagem
TH 01 TH 02 TH 03	
TC 01 TC 02 TC 03	
FH 01 FH 02 FH 03	
FC 01 FC 02 FC 03	

É possível observar que a qualidade superficial dos cordões apresentou-se semelhante entre ensaios do mesmo

grupo. Embora as características superficiais dos cordões tenham se apresentado semelhantes entre grupos, nota-se a presença de irregularidades ao longo dos cordões do grupo FC (pela frente com *cold wire*) além de maior convexidade. Isto se dá devido ao maior resfriamento da poça ao adicionar o arame frio, reduzindo a molhabilidade.

A Figura 3 a seguir apresenta o oscilograma obtido no ensaio TH 01. Os demais ensaios mantiveram-se análogos a este, ou seja, os valores de corrente e tensão mantiveram-se constantes durante o processo.

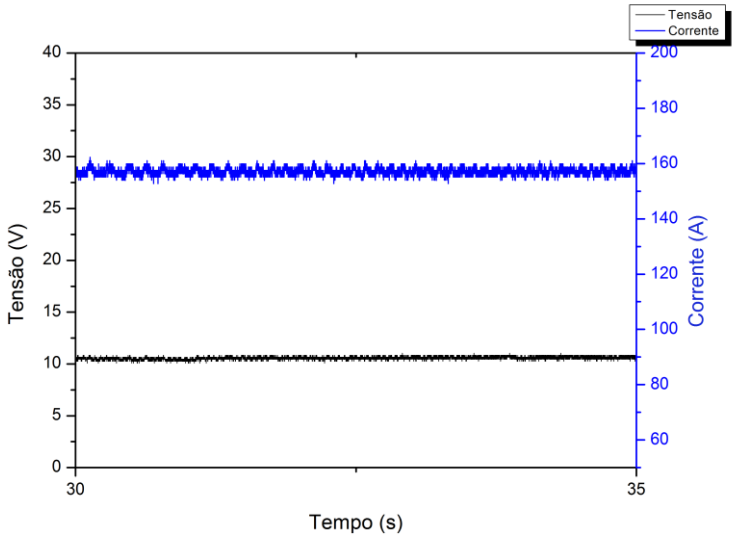


Figura 3. Oscilograma do ensaio TH 01.

A análise detalhada dos sinais aquisitados de tensão e corrente permitiu obter os valores médios de tais parâmetros bem como a potência média em cada procedimento. Tais informações são apresentadas na Tabela 3 e no Gráfico 1, a seguir.

Tabela 3. Parâmetros aquisitados nos ensaios.

CP	Tensão Média (V)	Corrente Média (A)	Potência (W)	Potência Média (W)
TH 01	10,5	151	1585	1585 ± 30
TH 02	10,7	151	1615	
TH 03	10,3	151	1555	
TC 01	10,0	151	1505	1533 ± 37
TC 02	10,3	151	1558	
TC 03	10,2	151	1536	
FH 01	10,5	151	1585	1605 ± 17
FH 02	10,7	151	1615	
FH 03	10,7	151	1615	
FC 01	10,3	151	1553	1580 ± 23
FC 02	10,5	151	1589	
FC 03	10,6	151	1597	

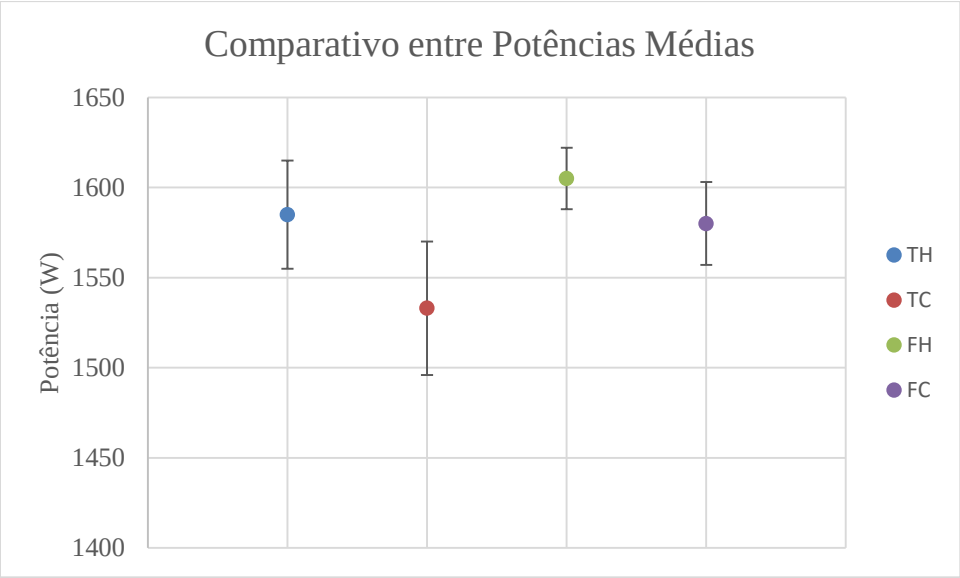
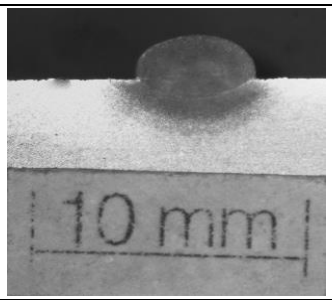
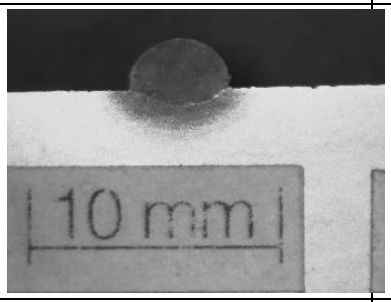
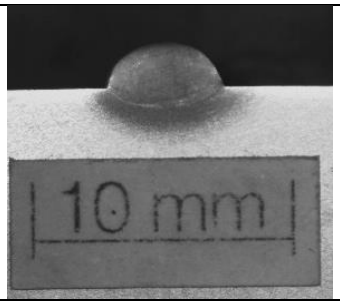
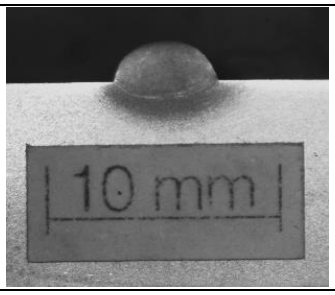
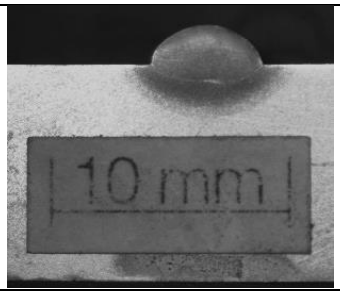
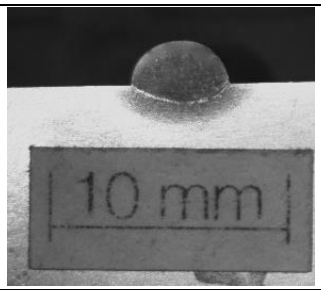
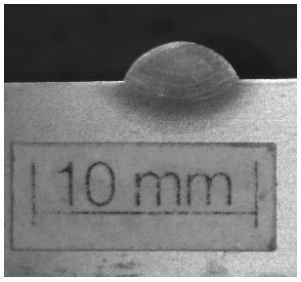
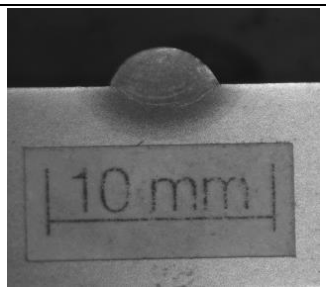
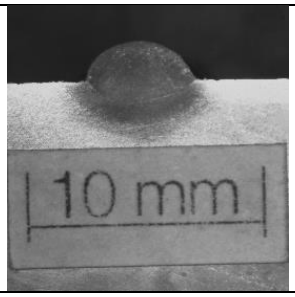


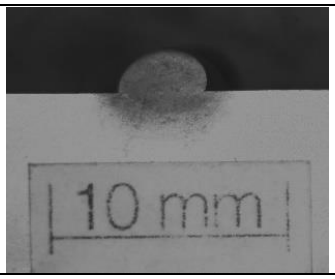
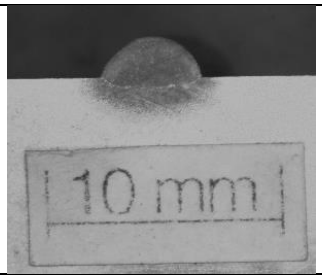
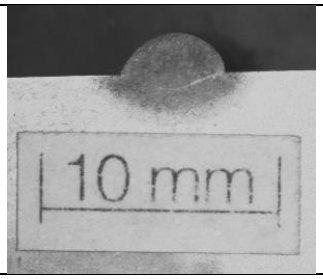
Gráfico 1. Comparativo entre potências dos ensaios.

Nota-se que não ocorreram variações significativas dos parâmetros elétricos entre os ensaios realizados com *hot wire* e para os ensaios com *cold wire*. Ainda que para os ensaios TC a potência média tenha se apresentado um pouco abaixo das demais, tal diferença não interferiu significativamente na geometria dos cordões, como será visto a seguir.

As análises macrográficas realizadas são apresentadas na Tabela 4. O reagente utilizado foi o Nital 5%.

Tabela 4. Macrografia das amostras.

FH 01	FH 02	FH 03
		
FC 01	FC 02	FC 03
		
TH 01	TH 02	TH 03
		

TC 01	TC 02	TC 03
		

As dimensões dos cordões quanto a largura e altura do estão apresentadas na Tabela 5 e nos Gráficos 1 e 2, a seguir.

Tabela 5. Largura e reforço dos cordões.

CP	Largura (mm)	Reforço (mm)	Largura Méd. (mm)	Reforço Méd. (mm)
TH 01	4,40	1,69	4,36 ± 0,34	1,75 ± 0,2
TH 02	4,0	2,0		
TH 03	4,68	1,66		
TC 01	4,51	1,76	4,48 ± 0,27	1,76 ± 0,1
TC 02	4,73	1,66		
TC 03	4,19	1,87		
FH 01	5,25	1,75	4,96 ± 0,26	1,71 ± 0,03
FH 02	4,86	1,69		
FH 03	4,76	1,70		
FC 01	3,64	1,80	4,12 ± 0,42	1,77 ± 0,03
FC 02	4,33	1,77		
FC 03	4,40	1,73		

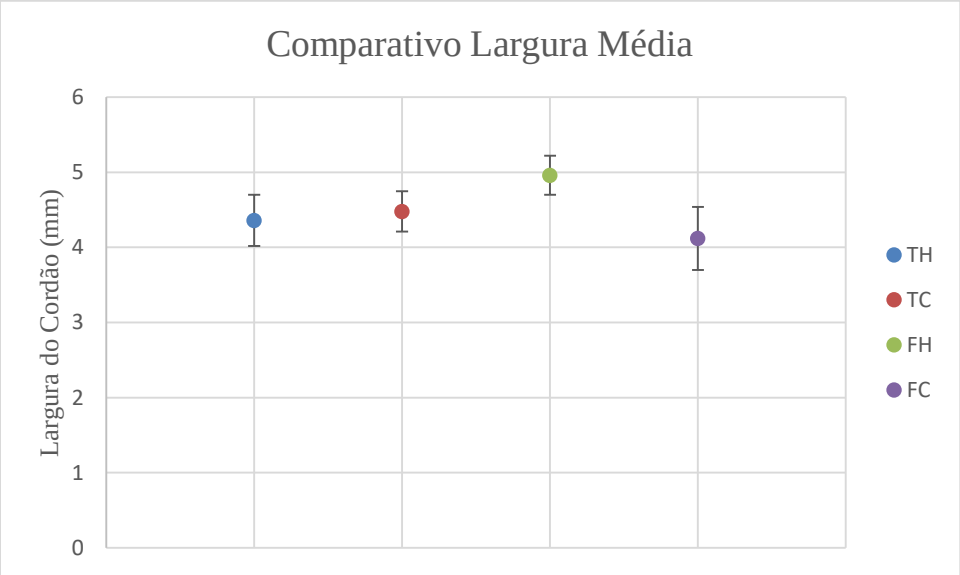


Gráfico 2. Comparativo entre os ensaios sobre a largura média dos cordões.

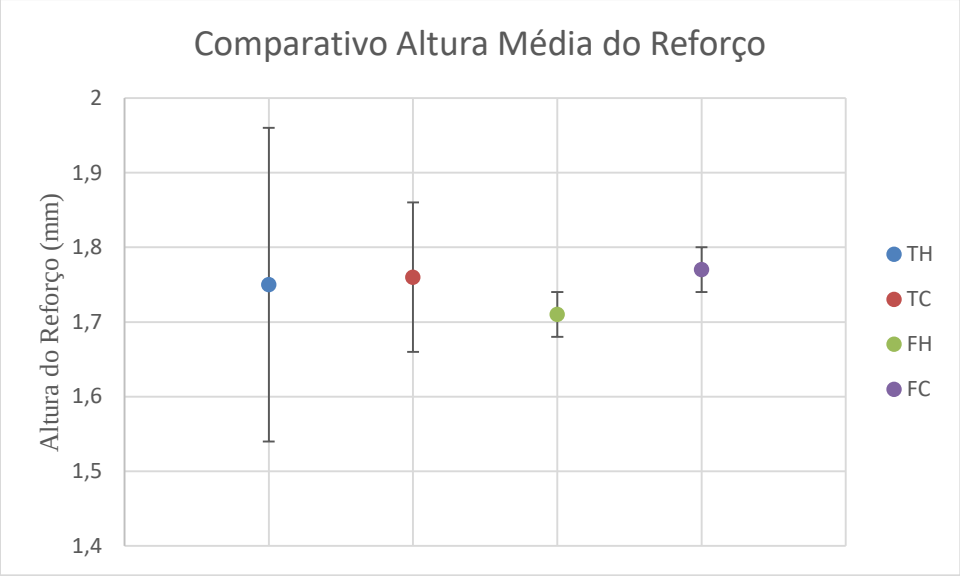


Gráfico 3. Comparativo entre os ensaios sobre a altura média do reforço dos cordões.

Os resultados apresentados na Tabela 5 e nos gráficos indicam que não houve diferença significativa entre a geometria dos cordões TH e TC no que se refere à largura e penetração, ou que tal diferença não pode ser sustentada por meio de três repetições para cada ensaio, uma vez que apresentaram desvio padrão elevado. No entanto, os ensaios com a configuração FH apresentaram maior largura do cordão, indicando maior molhabilidade enquanto que os ensaios FC apresentam o contrário.

As filmagens em alta velocidade permitiram a análise mais precisa dos fatores que poderiam causar tal efeito, uma vez que os parâmetros elétricos não apresentaram grandes variações entre os ensaios. A Figura 5 apresenta as imagens obtidas com a câmera de alta velocidade, com uma taxa de aquisição de 1000 quadros por segundo.

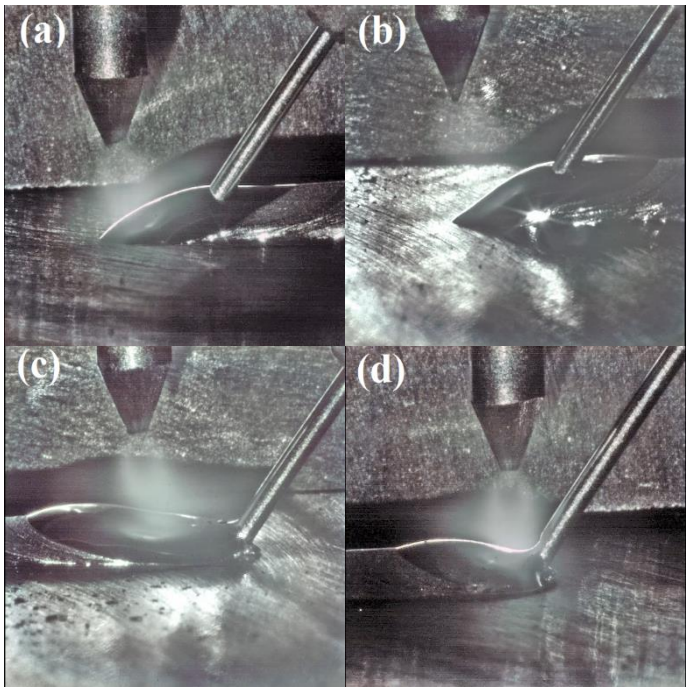


Figura 4. Imagens obtidas com câmera de alta velocidade à 1000 quadros por segundo. Em (a): por trás *hot wire* (TH); em (b): por trás *cold wire* (TC); em (c): pela frente *hot wire* (FH); em (d): pela frente *cold wire* (FC).

Deste modo, a partir das imagens adquiridas, calculou-se a distância eletrodo-peça para cada um dos ensaios. A Figura 5 representa a medição da distância eletrodo-peça (D).

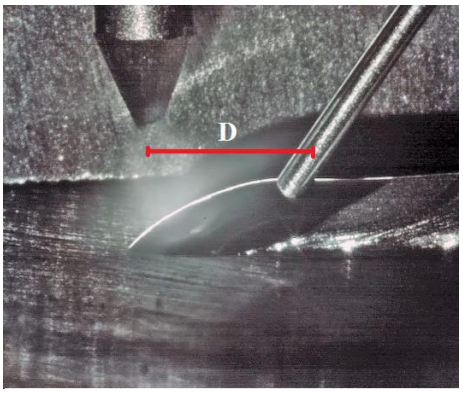


Figura 5. Indicação da medição da distância eletrodo-peça.

Embora seja perceptível que a câmera não estivesse perfeitamente perpendicular ao conjunto eletrodo-arame, é importante ressaltar que todo o conjunto (câmera e tocha) foi mantido na mesma posição e distância entre si durante as filmagens, tornando os resultados das medições consistentes enquanto de cunho comparativo entre os demais.

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos da distância entre o arame e o eletrodo para os ensaios realizados.

Tabela 4. Valores de distância entre eletrodo-arame obtidos.

Corpo de Prova	Distância D (mm)
TH	5,7
TC	6,2
FH	6,7
FC	3,2

Isto é perceptível a partir da Figura 5, onde nota-se uma poça de fusão evidentemente maior em (c) comparado à (d). Ressalta-se que nos ensaios com a injeção de arame pela frente do arco o arame era impelido contra a peça ainda frio, sendo então deslocado levemente para a poça de fusão. Diferentemente ocorreu para os ensaios com a injeção de arame por trás do arco. Nestes, o arame era injetado diretamente dentro da poça de fusão. Isto pode conferir maior liberdade no ajuste geométrico do alimentador de arame, tanto para *hot wire* como para *cold wire*, o que explicaria a maior distância focal no ensaio TC em relação ao TH. É possível que ajustes finos na molhabilidade possam ser efetuados controlando o ajuste geométrico do alimentador, aproximando ou distanciando o arame do arco.

A alimentação por trás do arco proporcionou maior estabilidade do processo, uma vez que o arame foi mantido dentro da poça de fusão, como observado nas imagens em alta velocidade.

4 . Conclusões

Após a realização dos ensaios e a análise dos dados obtidos, conclui-se que:

Com base na largura do cordão, a adesão de *hot wire* proporciona maior molhabilidade quando o arame é alimentado pela frente do arco do que quando é alimentado por trás. Para o *cold wire*, ocorre o contrário: alimentação frontal resulta em menor molhabilidade que traseira. No entanto, as dispersões de altura de reforço para *cold wire* demandariam mais ensaios, bem como para a configuração *hot wire* por trás.

Embora a injeção de arame pela frente do arco com *hot wire* tenha proporcionado maior largura dos cordões de solda, a projeção do arame contra a peça pode vir a trazer consequências para o processo, como instabilidade, defeitos, heterogeneidade na fusão do arame ao longo do processo, dentre outros, tornando tal modo de operação indesejável. Ainda, as reportadas melhorias provenientes da vibração do arame, como a mitigação tanto da falta de fusão quanto de porosidades podem ser comprometidas, uma vez que a dinâmica de oscilação não ocorre dentro da poça de fusão.

A alimentação por trás do arco mostrou-se mais adequada tendo em vista a estabilidade do processo, tanto com *hot wire* quanto com *cold wire*, por alimentar o arame dentro da poça de fusão, proporcionando as vantagens da utilização da vibração do arame. Permite ainda um possível controle refinado da molhabilidade ao alterar-se o ajuste geométrico do alimentador.

5. Referências Bibliográficas

[1] AMERICAN WELDING SOCIETY, Welding Handbook, v.2, 8 ª Ed., 1987, Miami.
[2] EWM Group. <https://www.ewm-group.com/en/service/news/458-tigspeed.html >. Acesso em: 03 setembro 2016.
[3] FILHO, I. R. S. Estudo da Influência dos Parâmetros de Soldagem de Revestimento Resistente à Corrosão na Diluição pelo Processo TIG Modalidade Arame Quente. 2007. 103 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais da UTFPR.
[4] WILSON, M. TIP TIG: new technology for welding. In: Industrial Robot: Na International Journal. 2007. ISSN 0143-991X. DOI 10.1108/01439910710832057. p. 462-466.