

Uma solução para a determinação da velocidade de arame no processo TIG com alimentação dinâmica**(Determining wire feed speed in dynamic TIG process)**Luiz Eduardo dos Santos Paes¹, Gustavo Luis de Sousa¹, Cleber Marques¹, Alberto Bonamigo Viviani¹,
Jair Carlos Dutra¹, Régis Henrique Gonçalves e Silva.¹¹Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Soldagem, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, lepae16@gmail.com.**Resumo**

Tradicionalmente, o processo de soldagem TIG é conhecido pela sua limitação em termos de produtividade, se comparado aos demais processos a arco voltaico. Com o intuito de minimizar esta desvantagem, propostas como a implementação da alternância dos movimentos de avanço e recuo do arame permitem atingir a independência entre a velocidade de alimentação e a potência. Desta forma, é possível soldar com menos material e favorecer a penetração, aumentando a produtividade mediante a redução do volume do chanfro em procedimentos de passe de raiz. No entanto, sistemas de monitoração da velocidade de alimentação dedicados a esta nova demanda encontram-se ausentes no mercado, fato que dificulta a etapa de parametrização. Tendo por base essa realidade, o presente trabalho aborda o desenvolvimento de uma metodologia de medição aliada a um transdutor. O dispositivo mede a velocidade instantânea e a exibe na forma de um gráfico em função do tempo. Assim, torna-se possível avaliar o comportamento do arame em diferentes situações, fato que auxilia a etapa de parametrização do processo em aplicações industriais.

Palavras-Chave: GTAW, Oscilação do arame, Medição, Transdutor de velocidade, Encoder.

Abstract: Traditionally, the TIG welding process is known due to its productivity limitation, if compared among others arc welding processes. In order to manage this drawback, variants as the forward and backward wire oscillation movement have been pointed as high potential techniques to achieve improvements. However, dedicated wire feed monitoring systems to its new request are not available, which difficults parametrization stage. The present paper addresses the development of a measuring methodology combined with a transducer. The device measures instantaneous wire speed and plots it as a function of time. Hence, wire behaviour in different conditions can be assessed, which assists parametrization stage of industrial applications.

Key-Words: GTAW, Wire oscillation, Measuring, Speed transducer, Encoder.

1.Introdução

Desde seu surgimento, em 1942, o processo de soldagem TIG evoluiu. Muitas das restrições, inicialmente observadas no processo manual, hoje não são mais encontradas nos processos mecanizados e automatizados. Novas técnicas e equipamentos obtiveram sucesso em melhorar a produtividade, considerada baixa, e manter o reduzido índice de defeitos. Pode-se citar como exemplo a utilização da oscilação longitudinal da tocha (*Switch Back*) [1], a implementação do duplo eletrodo [2] e o modo operacional *Keyhole* [3].

Neste contexto se insere o processo com alimentação dinâmica. A versão convencional adota um padrão contínuo para a alimentação do arame, ou seja, o movimento é realizado em um sentido apenas, com velocidade constante. Os sistemas com alimentação dinâmica funcionam mediante a alternância dos movimentos de avanço e recuo do arame, resultando em uma velocidade positiva de avanço.

No presente trabalho convencionou-se caracterizar como baixa frequência a faixa de valores menores que 2 Hz, já que o processo é similar à soldagem manual. Nesta, o soldador realiza o movimento

de avanço da vareta para adicionar material e, em seguida, a retira, de modo a proporcionar melhor absorção de energia do arco pela poça de soldagem. Pode-se dizer que o arame pulsa. Segundo Rudy [4], a rápida aproximação do arame em relação à poça de fusão é eficiente em prevenir a formação prematura de gotas. Isto permite atingir a estabilidade sem a necessidade de respeitar a relação velocidade de arame/potência sugerida por Figuerôa et al. [5]. Assim, tem-se um processo mais versátil, que permite utilizar baixos valores de velocidade de arame com o intuito de favorecer a penetração, fato vantajoso em procedimentos de soldagem orbital destinados ao passe de raiz. Com isso, torna-se possível aumentar a dimensão da face de raiz (“nariz”), e reduzir o volume do chanfro para que menos passes sejam necessários durante a etapa de preenchimento. Por outro lado, em altos valores de oscilação, o comportamento se assemelha a uma vibração, e a poça adquire uma energia cinética que contribui para o aumento da velocidade de soldagem do processo [6].

A etapa de parametrização deste processo exige que o usuário analise o comportamento do movimento do arame, cuja alimentação é mensurada com um transdutor de velocidade. Com esta informação é possível certificar se a velocidade regulada foi respeitada, além de identificar as causas de problemas que comprometam a alimentação e, consequentemente, a estabilidade. O princípio físico é verificado mediante o gráfico da Fig. 1.

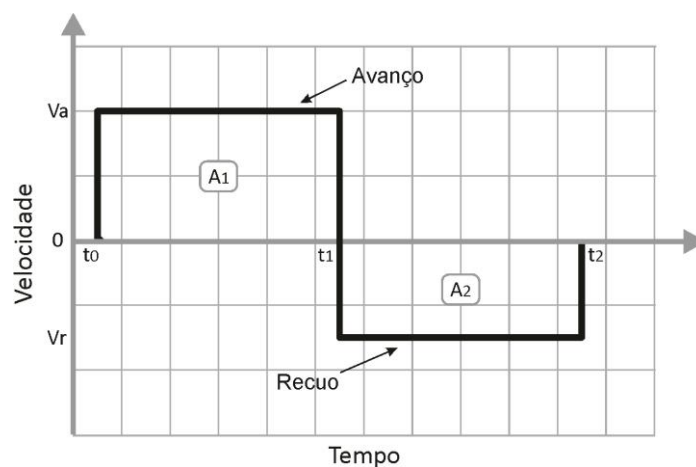


Fig. 1. Diagrama esquemático representando a dinâmica de movimentação do arame.

Quatro variáveis são fundamentais: tempo de avanço (t_a), calculado por $t_1 - t_0$, tempo de recoio (t_r), calculado por $t_2 - t_1$, velocidade de avanço (V_a) e velocidade de recoio (V_r). Com base nos conceitos da cinemática, é possível calcular a velocidade média resultante dividindo-se o deslocamento resultante ($A_1 - A_2$) pelo tempo total ($t_2 - t_0$). No entanto, os transdutores disponíveis no mercado não foram projetados para esta aplicação. Em sua maioria, exibem apenas a velocidade instantânea em um dispositivo mostrador. Os mais sofisticados possuem um dispositivo registrador, que incluem o gráfico de velocidade x tempo, mas não respeitam o princípio físico. A Fig. 2 ilustra este problema. Portanto, a utilização destes sistemas para a aquisição da velocidade, quando o arame oscila, induz à obtenção de conclusões inconsistentes.

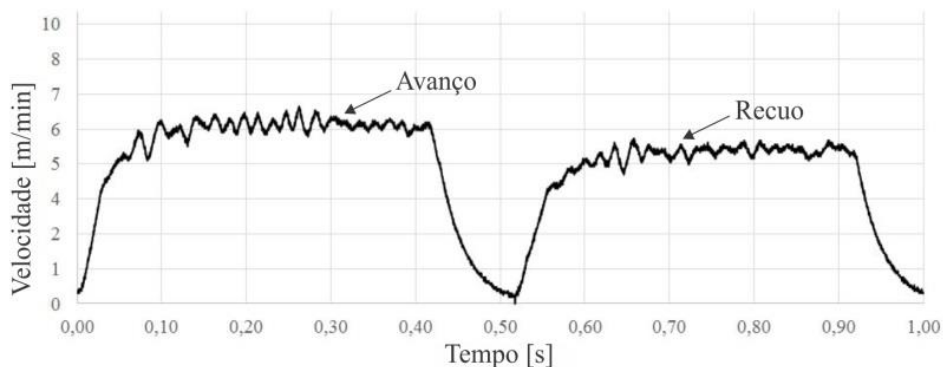


Fig. 2. Gráfico de velocidade x tempo, gerado com um transdutor comercial. Frequência de oscilação de 1 Hz.

Duas abordagens são recomendadas para a solução. A primeira delas diz respeito à utilização de sensores ópticos com funcionamento análogo ao de um periférico indicador do tipo “mouse óptico”. Sua principal vantagem reside na possibilidade de monitorar a velocidade de arame sem estar em contato com o mesmo. Contudo, estudos coordenados por Kamphuis [7] apontam que a utilização deste tipo de sistema pode resultar em elevada incerteza associada à repetibilidade, em decorrência de perda de dados durante o processamento. A segunda abordagem envolve transdutores do tipo encoder. Estes são capazes de converter o movimento linear em pulsos elétricos, com frequência proporcional à velocidade [8]. Trata-se de um equipamento mais confiável devido à sua simplicidade, com menor custo de implementação.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de uma metodologia de medição associada a um transdutor, fundamentado na segunda abordagem. O estudo envolve desde a descrição do sistema até sua validação, com o objetivo de conceber um equipamento dedicado à monitoração do processo TIG com alimentação dinâmica em baixa frequência, capaz de atender às aplicações presentes na indústria.

2. Metodologia

2.1 Sistema de medição

O dispositivo dedicado à monitoração da velocidade de arame é composto por três módulos, exibidos esquematicamente na Fig. 3.

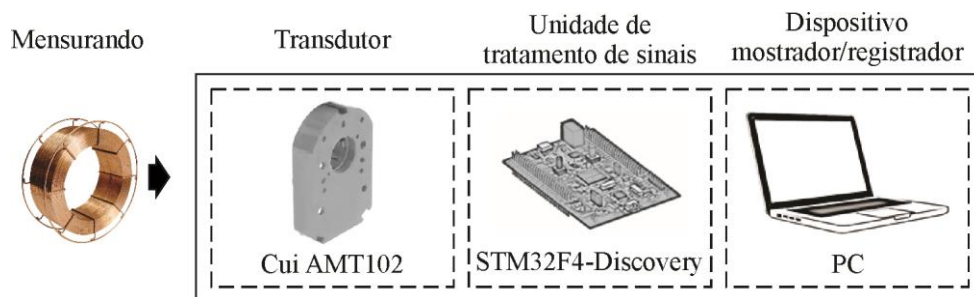


Fig. 3. Módulos funcionais do sistema de medição.

O primeiro módulo corresponde ao transdutor, que está em contato direto com a grandeza física submetida à medição. Foi selecionado um encoder incremental com o intuito de obter tanto o valor absoluto quanto o sentido da velocidade. A Fig. 4 exhibe as características construtivas do encoder, que é formado por um ou mais pares de LEDs emissores e receptores, e por um disco com perfurações equidistantes.

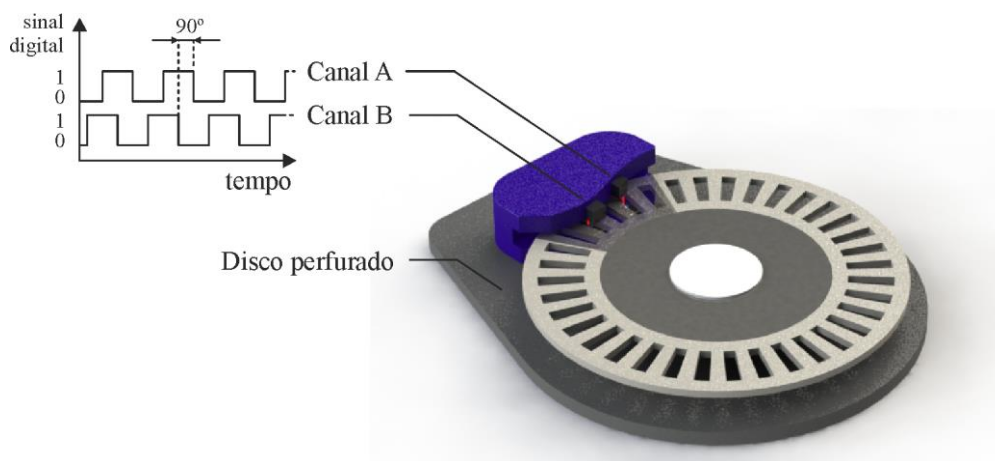


Fig. 4. Características construtivas do encoder.

O movimento do arame causa a rotação de um rolete, que está acoplado ao mesmo eixo do disco perfurado. Com o movimento do disco perfurado, a luminosidade do LED emissor sobre o LED receptor se alterna conforme as perfurações do disco que possibilitam ou bloqueiam a passagem de luz, produzindo uma sequência de sinais digitais denotada como trem de pulsos. Selecionou-se o encoder do fabricante CUI Inc modelo AMT102, que permitiu a configuração de uso em 2048 pulsos por revolução

em dois canais defasados em 90°. Após a geração dos sinais digitais, os dados seguem para o segundo módulo.

A unidade de tratamento de sinais compreende a segunda etapa do sistema de medição. Nela, a relação de número de pulsos por tempo é convertida em velocidade, respeitando-se a Eq. 1.

$$v = \frac{\text{Perímetro do setor circular}}{\text{Tempo}} \propto \frac{\text{Número de pulsos}}{\text{Tempo}} \quad \text{Eq. 1}$$

O microcontrolador STM32F4-Discovery decodifica e trata o sinal com hardware específico para esta aplicação. Utilizando-se o modo quadratura, cada pulso equivale a 4 contagens, totalizando 8192 por revolução. Conforme mostrado, dois canais (A e B) são necessários. Os sinais resultantes são defasados, e um algoritmo analisa as contagens alto/baixo dos pulsos, de modo a identificar o sentido do movimento. Se o arame estiver avançando, a velocidade é positiva, se estiver recuando, negativa. Esta configuração não está presente nos sistemas comerciais, o que permite a identificação do valor absoluto da velocidade, apenas. As contagens são executadas a cada instante de 0,005 s (taxa de aquisição de 200 Hz). O módulo possui um software desenvolvido em linguagem C# específico para esta aplicação, com a função de calcular o deslocamento do arame considerando que o perímetro da circunferência (uma revolução) do rolete equivale a 8192 contagens. O rolete foi especificado com diâmetro de 22 mm. Dividindo-se 360° por 8192, tem-se a resolução angular de 0,0439°, valor correspondente a 0,00843 mm. O programa consulta a *buffer* com as informações na USB, calcula a velocidade de arame para a contagem de pulsos recebida baseando-se no intervalo de tempo de 5 ms e aplica a função de calibração pré-estabelecida.

Por fim, a velocidade é exibida em função do tempo no dispositivo registrador, também concebido mediante o software, com resolução de 0,1 m/min. A área abaixo desta curva representa o deslocamento, de acordo com a Eq. 2 [9].

$$\text{Deslocamento} = \int v(t)dt \quad \text{Eq. 2}$$

Em virtude da série de dados ser composta por pontos discretos, a integral acima foi resolvida numericamente aplicando-se o método de Newton-Cotes [10]. A média de dez amostras, relativas aos deslocamentos e tempos das fases de avanço e recuo, foi calculada. Dividindo-se o valor do deslocamento resultante (avanço – recuo) pelo tempo de um período, obteve-se a velocidade média resultante. A Fig. 5 apresenta os três módulos descritos.

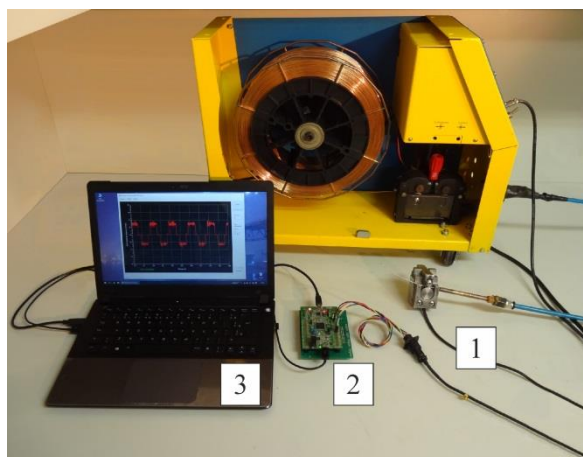


Fig. 5 – Sistema de medição desenvolvido com seus respectivos módulos indicados. (1) Transdutor. (2) Unidade de tratamento de sinais. (3) Dispositivo registrador.

O procedimento de cálculo da incerteza expandida foi baseado na metodologia apresentada por Albertazzi e Sousa [11]. Considerou-se o mensurando como variável, com duas fontes de incerteza. A primeira delas diz respeito à repetibilidade, que está associada ao desvio padrão amostral e é consequência das medições repetidas não mostrarem sempre o mesmo valor. A segunda relaciona-se à resolução, que corresponde à menor divisão da escala ou ao incremento digital, e é consequência de arredondamentos.

2.2 Procedimento experimental

O equipamento responsável pela alternância dos movimentos do arame constitui um protótipo da empresa IMC Soldagem denominado Sistema Tractionador de Arame (STA). A oscilação é realizada pelo movimento recíproco dos roletes, mediante inversão do sentido do motor. Isto pode ser verificado na Fig. 6 (a). A Fig. 6 (b) retrata o visor do equipamento, que permite a especificação das quatro variáveis fundamentais: velocidade de avanço (V_a), velocidade de recuo (V_r), tempo de avanço (t_a) e tempo de recuo (t_r).

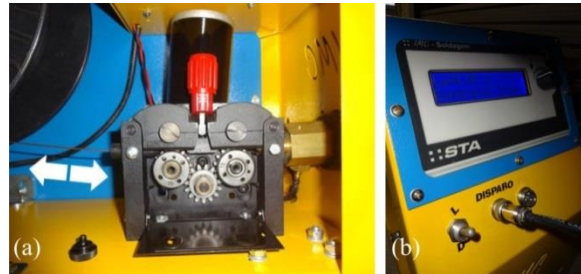


Figura 6. Sistema Tractionador de Arame (STA). (a) Movimento dos roletes. (b) Visor.

A configuração de medição foi a mesma tanto para o sistema desenvolvido quanto para a filmagem. Instalou-se o conduíte na mesma condição utilizada durante a soldagem, com alguns dobramentos. Os parâmetros de alimentação regulados são exibidos na Tabela 1. Os deslocamentos, juntamente com as velocidades calculadas com base no gráfico ideal da Fig. 1, encontram-se nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. A velocidade de alimentação média resultante regulada foi de 0,50 m/min, com frequência de 1 Hz.

Tabela 1. Parâmetros especificados no cabeçote alimentador.

Frequência [Hz]	V_a [m/min]	V_a [mm/s]	V_r [m/min]	V_r [mm/s]	t_a [s]	t_r [s]
1	6,00	100,00	5,00	83,33	0,50	0,50

Tabela 2. Deslocamento ideal calculado com base nos parâmetros especificados.

Frequência [Hz]	Período [s]	Deslocamento Avanço [mm]	Deslocamento Recuo [mm]	Deslocamento Resultante [mm]
1	1,00	50,00	41,67	8,33

Tabela 3. Velocidade ideal calculada com base nos parâmetros especificados.

Frequência [Hz]	Deslocamento Resultante [mm]	Período Analisado [s]	Velocidade média Resultante [mm/s]	Velocidade média Resultante [m/min]
1	8,33	1,00	8,33	0,50

Após desenvolver o sistema e utilizá-lo para verificar o comportamento do arame na frequência de 1 Hz, avaliou-se a velocidade em diferentes disposições de dobramento do conduíte, conforme mostrado na Fig. 7.

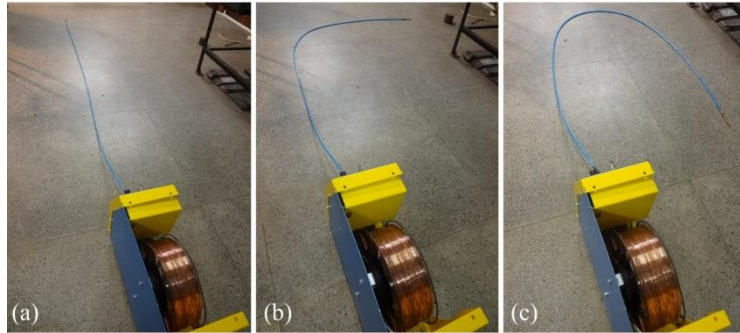


Fig. 7. Configuração utilizada para estudar a influência da disposição do conduíte sobre a velocidade resultante. (a) Linha reta. (b) 90°. (c) 180°.

3. Resultados e Discussão

A primeira fase de avaliação do sistema de medição foi conduzida com o objetivo de verificar se o comportamento de oscilação do arame foi o mesmo previsto, fato essencial para o estudo do processo. A Fig. 8 exhibe o gráfico de velocidade x tempo, com os patamares de avanço e recuo indicados.

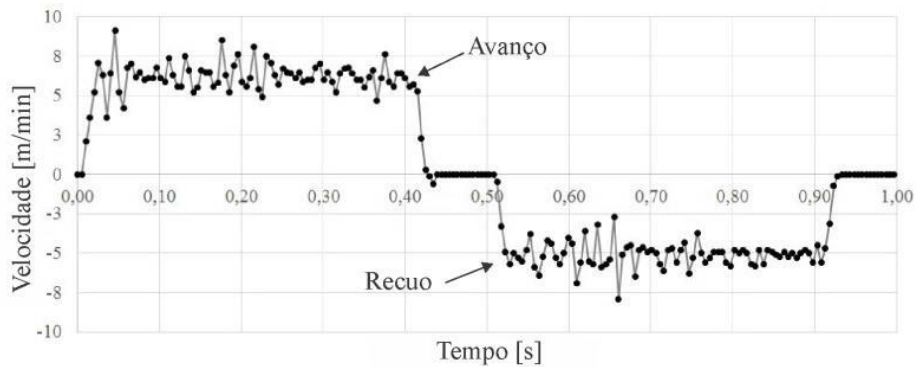


Figura 8. Gráfico de velocidade x tempo, gerado com o sistema de medição desenvolvido. Frequência de 1 Hz.

Nota-se que o patamar de avanço se encontra na região positiva do gráfico, e o de recuo, na região negativa. Isso atende ao princípio físico e não foi constatado nos resultados do transdutor comercial, na Fig. 2. No entanto, o formato de onda possui algumas divergências em relação ao ideal. A velocidade não atinge os patamares instantaneamente. Além disso, o arame permanece parado por um tempo antes de inverter o sentido. A Tabela 4 exhibe os valores médios das grandezas medidas.

Tabela 4. Valores médios de deslocamento, tempo e velocidade média. Frequência de 1 Hz.

Sistema de medição desenvolvido	Avanço	Recuo	Resultante
Deslocamento [mm]	42,3	34,7	7,6
Tempo [s]	0,505	0,490	0,995
Velocidade média [m/min]	-	-	0,46

Verifica-se que os valores de deslocamento de avanço e recuo medidos são diferentes dos regulados. Tal fato está relacionado ao formato de onda previsto não ser exatamente o mesmo do obtido. Os dobramentos no conduíte são apontados como possível causa. Por outro lado, os tempos foram similares. A Tabela 5 exhibe os valores de incerteza expandida. A velocidade média resultante foi de 0,46 +/- 0,07 m/min.

Tabela 5. Incerteza expandida relativa ao deslocamento, tempo e velocidade média. Frequência de 1 Hz.

Sistema de medição desenvolvido	Avanço	Recuo	Resultante
Deslocamento [mm]	0,6	0,6	0,8
Tempo [s]	0,014	0,014	0,017
Velocidade média [m/min]	-	-	0,07

Com o objetivo de provar que a disposição do conduíte influencia no resultado do gráfico de velocidade x tempo, três diferentes situações foram testadas: linha reta, dobramento em 90° e dobramento em 180°. O resultado para a frequência de 1 Hz encontra-se no gráfico da Fig. 9.

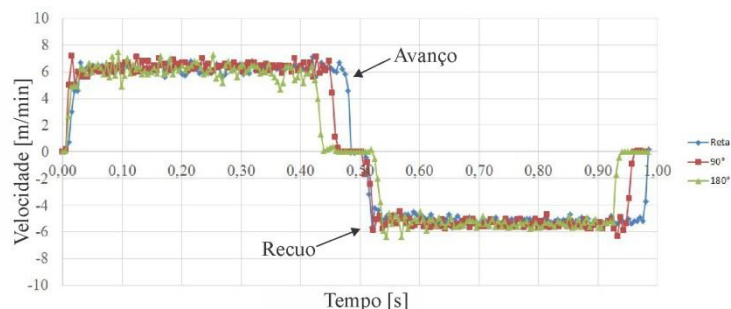


Figura 9. Gráfico de velocidade x tempo, plotado com os resultados do sistema desenvolvido. Frequência de 1 Hz. Disposição: linha reta, 90° e 180°.

A análise dos resultados permite inferir que o tempo em que o arame permanece parado aumenta com o grau de dobramento. Desta forma, como a condição de soldagem exigiu uma disposição com diferentes graus, o tempo de velocidade zero foi significativo. Caso a soldagem fosse realizada com a disposição do conduíte em linha reta, o gráfico de velocidade x tempo se aproximaria do modelo ideal, e os valores regulados seriam mais próximos dos reais.

4. Conclusões

O sistema de medição desenvolvido respeitou o princípio físico relativo ao comportamento do movimento de oscilação do arame, ao contrário dos sistemas disponíveis no mercado. O patamar de avanço apresentou valor positivo e, o de recuo, negativo. Contudo, o formato de onda medido não se mostrou igual ao ideal. As rampas de aceleração e desaceleração, em conjunto com o tempo que o arame permanece parado, constituem as principais divergências.

Uma das causas das divergências citadas diz respeito ao grau de dobramento do conduíte. Quanto maior o grau, maior o tempo de velocidade zero. Logo, recomenda-se a utilização do conduíte em linha reta com o objetivo de alcançar a convergência entre os valores regulados e os medidos.

Este dispositivo atuará de forma a facilitar a etapa de parametrização do processo TIG com alimentação dinâmica em baixa frequência. Além disso, o operador de soldagem poderá identificar possíveis problemas mediante a observação do padrão do gráfico de velocidade x tempo. Assim, o estudo aprofundado desta técnica torna-se viável, fato que contribui para a obtenção de resultados satisfatórios em termos de produtividade.

5. Referências

- [1] WEIZENMANN, G.S. **Desenvolvimento de infraestrutura para o estudo dos efeitos da oscilação longitudinal da tocha de soldagem (switch back) e avaliação de desempenho no processo TIG autógeno**. 2015. 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Depto. Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [2] SCHWEDERSKY, M. B.; DUTRA, J. C.; SILVA, R. H. G. REISGEN, Uwe; WILLMS, K. Double – Electrode Process Speeds GTAW. **Welding Journal**, v. 94. n. 10, p. 64-67, 2015.
- [3] OLIVARES, E. A. G.; SILVA, R. H. G.; DUTRA, J. C. Estudo da Técnica TIG Keyhole por Meio de Análise Comparativo entre Duas Tochas de Alta Produtividade na União de Chapas de Aço Carbono de Meia Espessura. **Soldagem & Inspeção**, v. 20, p. 262-274, 2015.
- [4] RUDY, J.F. Development and application of Dabber Gas Tungsten Arc Welding for repair of aircraft engine, seal teeth. In: **Proceedings of the ASME International Gas Turbine Conference and Exhibit**, 1982. London.

- [5] FIGUERÔA, D.W.; PIGOZZO, I.O.; SILVA, R.H.G.; SANTOS, T.F.A.; URTIGA FILHO, S.L. Influência da posição e dos parâmetros de soldagem na soldagem TIG orbital aplicada a tubulações de aço baixo carbono. **Soldagem & Inspeção**, v. 20, p. 446-455, 2015.
- [6] WILSON, M. TIP TIG: new technology for welding. **Industrial Robot: An International Journal**, v. 34, p. 462-466, 2007.
- [7] KAMPHUIS, W. P. H. **Using optical mouse sensores for sheet position measurement**. Traineeship Report, Dynamics and Control Technology Group, Department Mechanical Engineering, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven. 2007. 69p.
- [8] ALCIATORE, D. G.; HISTAND, M. B. **Introduction to Mechatronics and Measurement Systems**. 4th ed. New York: Mc Graw Hill, 2012, 553p.
- [9] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentals of Physics**. 8. ed. Hoboken: Wiley, 2008. v. 1. 1288p.
- [10] CHENEY, W.; KINCAID D. **Numerical Mathematics and Computing**. 6. ed. Belmont: Thomson Brooks/Cole, 2008, 763p.
- [11] ALBERTAZZI, A. G. Jr.; SOUSA, A. R. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. 1.ed. Barueri: Manole Ltda, 2008, 408p.