

Caracterização dos Efeitos da Polaridade Variável de um Processo GMAW-P**(Characterization of the Variable Polarity Effects of a GMAW-P Process)**

Alisson Fernandes da Rosa¹, Gustavo Domingos Garcia¹, Mateus Barancelli Schwedersky,¹ Marcelo Pompermaier Okuyama¹; Régis Henrique Gonçalves e Silva¹

*¹ Universidade Federal de Santa Catarina, POSMEC / LABSOLDA, Florianópolis-SC, Brasil;
alisson.fernandes@posgrad.ufsc.br.com*

Resumo

A corrente alternada, de modo recente, tem demonstrado um maior potencial quanto à sua utilização devido ao desenvolvimento de sistemas eletrônicos nos equipamentos e fontes de soldagem. A evolução do controle no processo com CA aumenta as possibilidades de aplicações em soldagem de chapas finas e revestimentos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho concentra-se na investigação de fenômenos de um processo GMAW Pulsado com Polaridade Variável de uma fonte comercial, com ênfase na influência da faixa negativa (%EN) sobre o processo, visando um melhor entendimento do mecanismo de atuação da fonte, de modo a facilitar a operação do equipamento em diferentes aplicações. Foram analisados os dados de corrente, tensão e velocidade de arame juntamente com filmagem em alta velocidade e análise macrográfica das amostras. Os resultados demonstraram que alterando o %EN no formato de onda da corrente, não houve mudanças significativas nos valores de corrente e tensão médias para a mesma V_a , porém, foi observado a alteração da estabilidade do processo, do controle da velocidade de alimentação de arame e da frequência de destacamento de gotas. De modo geral, a caracterização do processo contribuiu para um maior entendimento sobre a polaridade variável pulsada e para utilização deste método em diferentes aplicações.

Palavras-chave: GMAW-P; Polaridade Variável; Eletrodo Negativo.

Abstract: *The alternating current, recently, shows a greater potential in its use due to the development of electronic systems in the equipment and power sources of welding. The evolution of control in the process with AC increases the possibilities of applications in welding of thin plates and coatings. In this context, the objective of this work is to investigate the phenomena of a GMAW Pulsed Process with Variable Polarity from a commercial power source, with emphasis on the influence of the negative ratio (% EN) on the process, aiming at a better understanding of the actuation mechanism of the source in order to facilitate the operation of the equipment in different applications. The data of current, voltage and wire speed were analyzed along with high speed filming and macrographic analysis of the samples. The results showed that changing the % EN in the waveform of the current, there were no significant changes in the mean current and voltage values for the same V_a , however, it was observed the change in the occurrence of spatter, the wire feed rate and the frequency of drops detachment. In general, the process characterization contributed to a better understanding of the pulsed variable polarity and pointed to a new perspective regarding the use of this method in different applications.*

Key-words: GMAW-P; Variable Polarity; Negative Electrode.

1. Introdução

A busca por novas tecnologias associadas a área dos processos de fabricação, especificamente na tecnologia da soldagem resulta na constante evolução de processos, fontes e técnicas utilizadas neste campo da engenharia. Somando-se a isto, a pesquisa voltada à otimização de processos de soldagem já convencionais no mercado, merecem destaque. Recentemente, o desenvolvimento da eletrônica nas fontes de soldagem, possibilitou a ampliação de diversas variantes de processos de soldagem já consolidados e de grande importância, por exemplo o processo *Gas Metal Arc Welding* (GMAW).

Uma das vantagens do processo GMAW está associada à sua robustez e ao seu alto grau de automação. Neste sentido, fabricantes de fontes de soldagem e institutos de pesquisa em soldagem, concentram seus esforços na otimização de processos já conhecidos e na investigação e desenvolvimento de suas variantes. Pode-se citar, no processo GMAW, a exploração e controle do formato de onda (Curto-Circuito Controlado - CCC; *Surface Tension Transfer* - STT) [1, 2], técnicas de alimentação dinâmicas de arame (*Cold Metal Transfer* - CMT) [3], o uso de tochas especiais com duplo-arame [4], entre outras técnicas de otimizações. Dentre essas metodologias, a configuração de polaridade também modifica o processo de soldagem de maneira extremamente significativa.

No processo de soldagem GMAW o arame-eletrodo é, convencionalmente, conectado ao polo positivo da fonte (CC+). Esta polaridade, possibilita o ajuste de modos de transferência muito estáveis, seja na faixa do curto-circuito ou transferência por spray. Já em polaridade CC-, a faixa onde é possível utilizar o processo é muito limitada, sendo que apenas com correntes elevadas (acima de 250 A), é possível obter uma transferência relativamente estável.

Alguns estudos abordam, através de ensaios e simulações, a utilização da corrente alternada nos processos de soldagem como uma possível alternativa em soldagens nas quais demandem menor aporte térmico, como em procedimentos de soldagem de chapas finas [5, 6] ou em revestimentos. Atualmente, a corrente alternada está incluída em alguns *softwares* sinérgicos do processo GMAW Pulsado (GMAW-P) de fontes modernas, recentemente denominado na literatura como GMAW Pulsado com Polaridade Variável (GMAW-VP) [7,8].

Quando o eletrodo alterna o fluxo de elétrons de (CC+) para (CC-) ocorre um fenômeno denominado de escalada do arco, ou seja, a mancha catódica percorre a extensão sólida do arame-eletrodo, acarretando num maior aquecimento localizado naquela região, consequentemente no aumento da taxa de fusão [9]. Sob aspectos de diluição, e considerando a mesma corrente de soldagem, funde-se mais arame em CC-, permitindo assim, maiores velocidades de soldagem. Esta condição confere baixos percentuais de diluição e maior deposição de material sobre o metal-base. Outra justificativa que pode ser mencionada quanto ao uso da polaridade variável, está associada à possibilidade de unir as vantagens da corrente contínua com eletrodo positivo (CC+) e corrente contínua com eletrodo negativo (CC-). Enquanto a polaridade positiva favorece a estabilidade do processo, atenuando a ocorrência de respingos e destacando uma gota mais uniforme a polaridade negativa, em virtude da característica de maior aquecimento e fusão da extensão sólida do arame, contribui com a projeção de gotas extremamente não uniformes e alongadas durante o pulso positivo, favorecendo em alguns casos, a ocorrência de curtos-circuitos indesejados e respingos. [10,11].

Diferentes estudos sobre a influência da polaridade foram conduzidos. Dutra et al. [11], utilizou o sincronismo da polaridade variável com a movimentação oscilatória de um robô cartesiano para minimizar defeitos de falta de fusão e viabilizar revestimentos com baixos índices de diluição no processo. Demais autores [12, 13] desenvolveram pesquisas, nas quais descrevem metodologias para a definição dos parâmetros envolvidos no processo pulsado com corrente alternada, tendo em vista a necessidade de modelamento matemático baseado em critérios específicos para a estabilidade do processo e definições de velocidades de alimentação de arame considerando ambas as polaridades. Estes estudos contribuem significativamente para o desenvolvimento de modos sinérgicos cada vez mais complexos e específicos das fontes, reduzindo o envolvimento do operador e permitindo-o regular apenas a velocidade de alimentação de arame. Deste modo, deve-se considerar arbitrária a aproximação dos tempos e correntes de pulso do GMAW-P somente em (CC+) aos mesmos parâmetros do GMAW-P com polaridade variável, pois, é possível que os mesmos não garantam a condição de destacamento de apenas uma gota por pulso (UGPP), devido à diferença de calor imposto à extensão sólida do arame durante as reversões de polaridade [1].

Diante da necessidade de um maior entendimento da capacidade dos equipamentos contemporâneos de soldagem, se faz necessária a exploração dessas técnicas disponíveis em fontes eletrônicas atuais, para que se atinja maior eficiência do processo e do equipamento. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é investigar a função *EN Ratio*, na qual altera o %EN do processo GMAW Pulsado com Polaridade Variável (GMAW-VP) de uma fonte eletrônica, e caracterizar as alterações realizadas pela mudança desta variável, pois o equipamento não especifica de forma detalhada quais são as mudanças realizadas na forma de onda ao alterar essa variável.

2. Matérias e Métodos

A fim de entender o comportamento da função *EN Ratio*, utilizou-se o programa sinérgico disponível na fonte de soldagem OTC Digital Inverter - DW300 e a movimentação da tocha automatizada pelo manipulador robótico cartesiano da marca SPS, modelo Tartilope V2. A Figura 1 ilustra uma representação didática do formato da onda característica do processo, composta por pulso positivo e negativo e base positiva e negativa. Dois patamares de corrente no período negativo não é uma característica comum na corrente alternada pulsada, por esse motivo, é de extrema importância o entendimento deste formato de onda complexo.

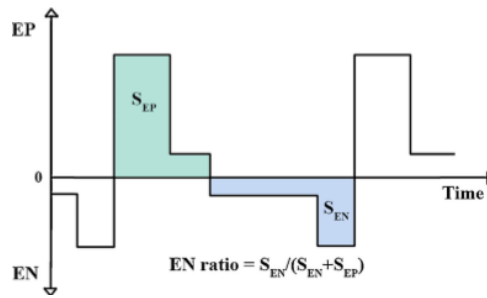


Figura 1. Representação do %EN (em azul) no formato de onda com polaridade variável [5].

O percentual negativo foi quantificado através da aquisição e análise dos oscilogramas de corrente do processo de soldagem pelo Sistema de Aquisição Portátil (SAP) com taxa de aquisição de dados de 50kHz e aplicados na Equação 1.

$$\%EN = \frac{t_{EN}}{(t_{EN} + t_{EP})} \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

t_{EN} = Tempo em eletrodo negativo

t_{EP} = Tempo em eletrodo positivo

Este cálculo é necessário, pois, apesar da fonte de soldagem disponibilizar um sistema de regulagem do período em polaridade negativa na onda pulsada (*EN Ratio*: -30 a +30), essa escala é adimensional, não possibilitando ao operador quantificar de maneira clara o tempo em que a fonte está atuando em CC- durante a polaridade variável. Realizou-se, então, após a aquisição dos dados, os cálculos do %EN para cada velocidade de alimentação de arame (Va) utilizada, pois, sabe-se também que este percentual tem um comportamento diferente para cada Va ajustada, porém, não se sabe em qual proporção isto acontece. Posteriormente foram selecionadas cinco faixas de trabalho dentro dos limites superior e inferior calculados para a avaliação, conforme listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Faixas selecionadas para análise da função *EN Ratio*

EN RATIO
-30
-15
0
+15
+30

Em relação aos demais parâmetros de soldagem, definiu-se três velocidades de alimentação de arame em 2, 4 e 6m/min e velocidade de soldagem (Vs) em 12, 24 e 36cm/min respectivamente e distância entre o bico-de-contato e a peça ($DBCP$) de 25mm. Estes parâmetros foram mantidos fixos, alterando-se apenas a função *EN Ratio* na fonte, conforme os dados da Tabela 1.

Para a realização da soldagem dos cordões, empregou-se o arame ER309LSi com diâmetro de 1,2mm depositados em chapa de aço ABNT 1020 com 9,525 mm (3/8 in) de espessura e proteção gasosa composta por Ar+2%O₂. Após os procedimentos de soldagem, todas as amostras foram preparadas através de lixamento e ataque químico para análise da secção transversal dos cordões e avaliação da diluição.

Em virtude da necessidade de um melhor entendimento sobre os aspectos comportamentais do arco elétrico e transferência metálica em polaridade variável, utilizou-se a técnica de filmagem em alta velocidade com uma câmera IDT, modelo Y4S2.

3. Resultados e Discussões

A partir da aquisição dos oscilogramas de tensão e corrente foi possível verificar o comportamento do programa sinérgico da fonte e calcular o %EN para cada Va , pois, percebeu-se que as faixas percentuais de tempo em eletrodo negativo variam em relação a diferentes Va , conforme Tabela 2. A representação gráfica na Figura 2 demonstra o formato de onda característico do processo sincronizado com a filmagem em alta velocidade.

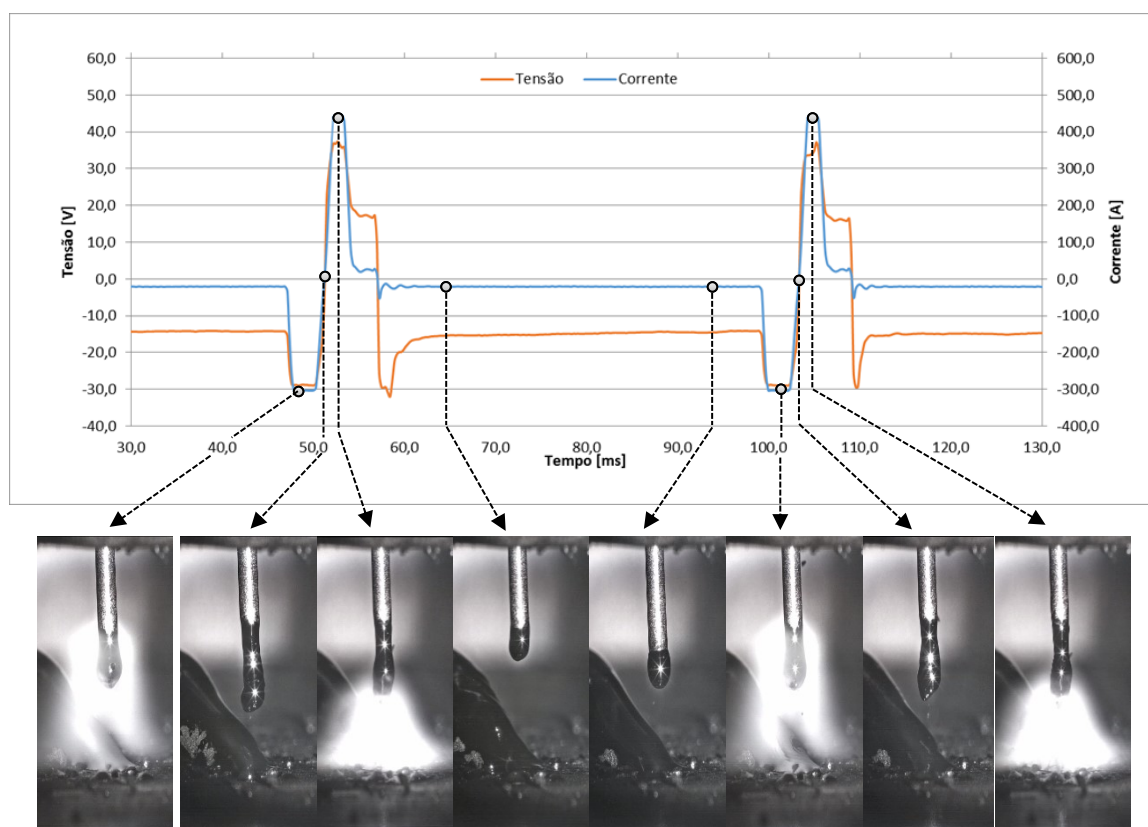


Figura 2. Formato de onda e imagens do processo GMAW-P com Polaridade Variável obtido através do sistema SAP e câmera de alta velocidade.

No oscilograma é possível verificar o comportamento do arco elétrico na soldagem com corrente alternada durante dois períodos de onda. Através das análises das filmagens foi possível verificar a escalada da mancha catódica na extensão sólida do arame-eletrodo, concordando com Lancaster [9] sobre a transferência metálica na polaridade negativa. O sincronismo das imagens com os oscilogramas, possibilitou observar que não acontecia o destacamento de gotas na polaridade (CC-) e sim, no final do pulso positivo sistematicamente. A porção fundida de arame aumentava o volume da gota conforme o incremento da função *EN Ratio*, pois, esta variável aumentava a duração do pulso negativo (período onde havia a fusão da extensão sólida do arame) e da base negativa. Outrossim, foi verificado conforme os gráficos da Figura 3, que o %EN não alterou significativamente as correntes e as tensões médias. No entanto, analisando as polaridades isoladamente na Figura 4, percebe-se um acréscimo no valor da corrente média em cada polaridade, conforme a variação da função *EN Ratio*.

Tabela 2. Relação entre a função *EN Ratio* e percentuais médios de tempo em eletrodo negativo para diferentes velocidades de alimentação de arame

<i>EN Ratio</i>	2m/min	4m/min	6m/min
-30	80%	60%	50%
-15	84%	66%	58%
0	86%	72%	66%
15	88%	76%	73%
30	90%	80%	80%

Os valores das correntes e tensões médias (Figuras 3 e 4) foram obtidos através do sistema de aquisição portátil (SAP) e calculados com base nos valores absolutos dos pontos adquiridos.

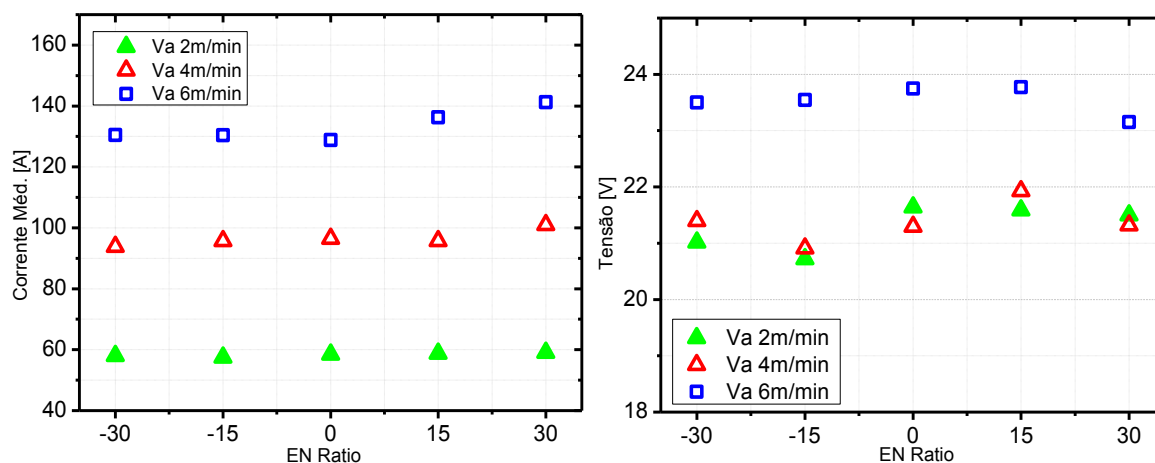


Figura 3. Representação gráfica da influência da função $EN Ratio$ sobre a $I_{méd.}$ e $U_{méd.}$ para as diferentes velocidades de alimentação de arame selecionadas.

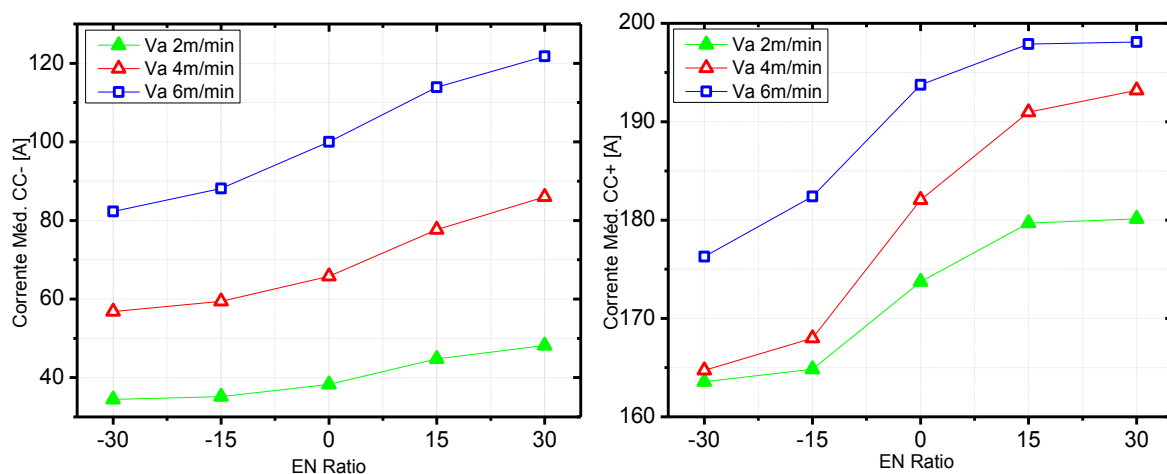


Figura 4. Representação gráfica do comportamento das correntes médias positivas e negativas nas diferentes condições de soldagem

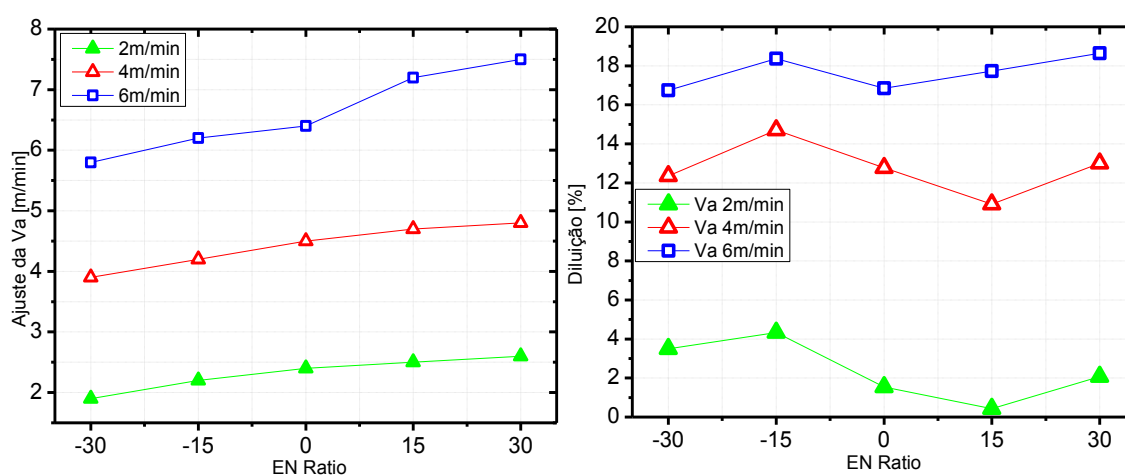


Figura 5. Representação gráfica do ajuste da Va e comportamento da diluição em relação ao incremento da função $EN Ratio$

Observa-se no gráfico da Figura 5, de ajuste da alimentação de arame, a compensação ascendente que o programa sinérgico realiza ao incrementar a função $EN Ratio$, que por sua vez, contribui para o aumento da extensão fundida de arame.

O percentual de diluição foi obtido através da Equação 2 e representados graficamente na Figura 5. Fatores como, a velocidade de soldagem, espessura da chapa e a disposições dos cordões sobre as chapas, podem ter influenciado no percentual de diluição de cada amostra isoladamente. Deste modo, este percentual não se manteve constante ao longo do incremento da função *EN Ratio*.

$$\%D = \frac{B}{(B+A)} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

A= Área da Penetração

B= Área do Reforço

As Figuras 6, 7 e 8 ilustram as secções transversais dos cordões depositados sobre chapa em diferentes velocidades de alimentação de arame. Com o auxílio do *software* ImageJ, foi possível medir e, posteriormente, calcular o percentual de diluição das amostras. Percebeu-se que o percentual de tempo de atuação do eletrodo negativo não contribuiu significativamente na diluição entre o material de adição e o material-base, contudo, notou-se, um pequeno aumento na altura e na largura do reforço do cordão proporcional ao aumento da *Va*.

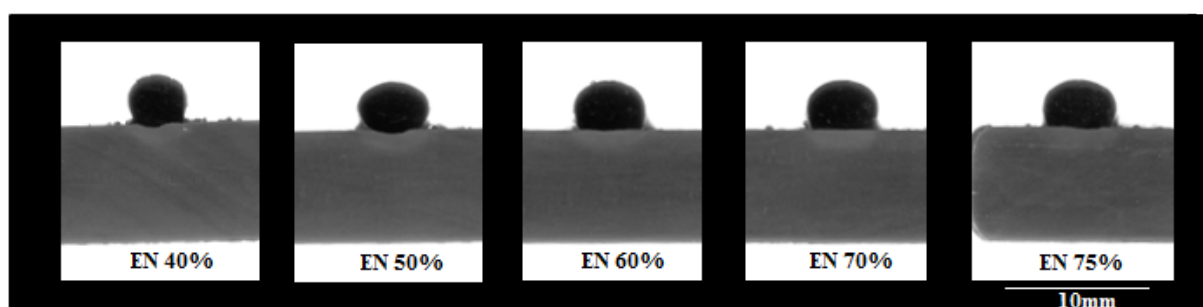


Figura 6. Macrografias de amostra com os parâmetros: *Va* 2m/min; *Vs* 12cm/min

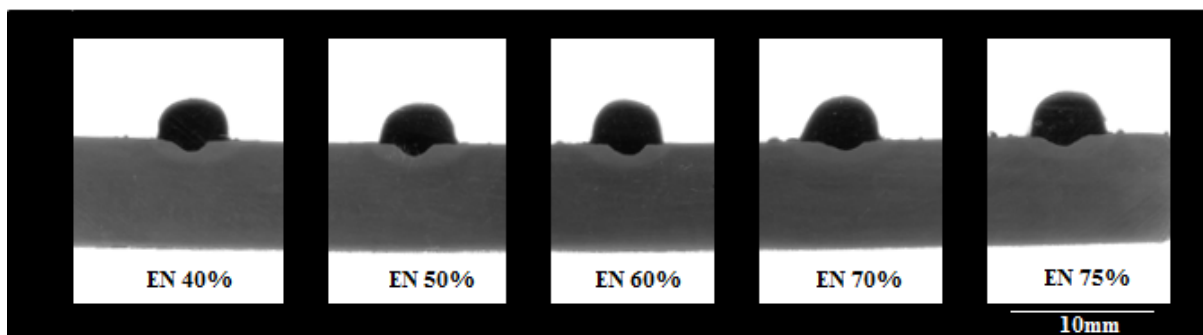


Figura 7. Macrografias de amostra com os parâmetros: *Va* 4m/min; *Vs* 24cm/min

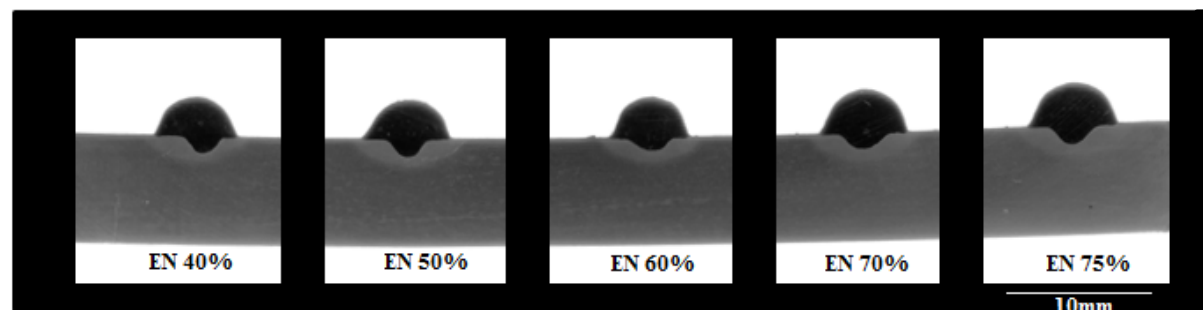


Figura 8. Macrografias de amostra com parâmetros: *Va* 6m/min; *Vs* 36cm/min

Durante a soldagem dos cordões, a ocorrência excessiva de respingos foi observada conforme a função *EN Ratio* era aumentada, desestabilizando o processo de maneira drástica, principalmente no emprego das velocidades de alimentação de arame mais baixas, de 2 a 4m/min.. Neste caso, fica evidente que a corrente de soldagem se

sobrepõe à variação do percentual de eletrodo negativo quando se deseja alcançar baixos percentuais de diluição.

Através de comparação entre as macrografias, verifica-se que as amostras referentes a velocidade de alimentação de 2m/min obtiveram o menor percentual de diluição, variando entre 0,4% a 3,5%. Em contrapartida, as amostras associadas a maior velocidade de alimentação de arame (6m/min), atingiram percentuais de diluição superiores a 18%.

4. Conclusões

Embora os resultados sirvam como bons indicativos para constantes pesquisas em relação ao tema, conclui-se que a polaridade variável, mesmo que esteja incorporada em um processo GMAW-P de uma fonte comercial, ainda se mostra complexa e de aplicação restrita, considerando os resultados obtidos neste trabalho totalmente experimentais e isolados. Pode-se afirmar que a corrente média foi o parâmetro com maior significância para a diluição, convexidade e molhabilidade dos cordões de solda em detrimento à função *EN Ratio*, sendo que esta age de forma mais acentuada sobre os tempos de base e pulso no período negativo e de maneira proporcional em cada patamar, influenciando consequentemente, na frequência de destacamento das gotas e na alteração sinérgica da velocidade de alimentação de arame. Neste estudo, pode-se concluir que a penetração também não é alterada pelo aumento do percentual negativo, acarretando em um acúmulo mais acentuado de material sobre a chapa, devido ao aumento da taxa de fusão do arame para percentuais negativos maiores. Entretanto, essa configuração torna o processo significativamente instável, devido ao seu comportamento ser o mais aproximado de uma soldagem que utiliza somente a polaridade CC-. Procedimentos com pouco ou livre de respingos, são atingidos somente com a utilização de correntes mais elevadas (*Va* maior) juntamente com %EN menores.

Apesar das dificuldades encontradas ao tentar compreender os efeitos e mecanismos que agem no programa sinérgico da fonte com polaridade variável, foi possível mapear o comportamento do equipamento em diferentes situações e afirmar que a variação da polaridade aliada a baixas correntes médias, demonstra ser um processo potencialmente capaz para aplicações, por exemplo, em revestimentos devido aos resultados atingidos com diluições relativamente baixas e taxas de fusão altas.

5. Agradecimentos

A toda equipe do LABSOLDA, por disponibilizar a infraestrutura necessária e por incentivar a pesquisa, bem como, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC (POSMEC), por oportunizar o crescimento pessoal e acadêmico.

6. Referências Bibliográficas

- [1] GONÇAVES E SILVA, R. H.; DUTRA, J. C. Controlled Short-circuiting MIG/MAG Welding (CCC)—Process Analysis Tools. *Welding Research Abroad*, v. 56, n. 4, p. 19, 2010.
- [2] DUTRA, J. C.; SILVA, R. G. H. MIG/MAG—short-circuit metal transfer—control of the current wave form—fundamentals of the CCC and STT systems. *Welding International*, v. 23, n. 3, p. 181-185, 2009.
- [3] MARQUES, C. Análise De Técnicas E Efeitos Físicos Da Alimentação Dinâmica Do Arame No Processo De Soldagem Mig/Mag Com Vistas Ao Desenvolvimento De Um Sistema Flexível Nacional, Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 210p, 2017.
- [4] MOTTA, M.; DUTRA, J. C. Efeitos das variáveis do processo MIG/MAG duplo arame com potenciais isolados nas características geométricas do cordão de solda. *Soldagem & Inspeção*, v. 10, n. 1, p. 22-30, 2005.
- [5] ARIF, N.; CHUNG, H. Alternating current-gas metal arc welding for application to thin sheets. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 214, n. 9, p. 1828-1837, 2014.
- [6] KIRAN, D. V. et al. Three-dimensional finite element modeling of pulsed AC gas metal arc welding process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 86, n. 5-8, p. 1453-1474, 2016.
- [7] SCOTTI, A.; PONOMAREV, V. Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho. *Artliber*, 2008.
- [8] TALKINGTON, J. E. Variable polarity gas metal arc welding. Dissertação de Mestrado. The Ohio State University, 113p, 1998.
- [9] LANCASTER, J. F. Metal Transfer in Fusion Welding, Arc Physics and Weld Pool Behaviour, p.135-146, 1979.
- [10] UEYAMA, T. et al. AC pulsed GMAW improves sheet metal joining. *Welding journal*, v. 84, n. 2, p. 40-46, 2005.
- [11] DUTRA, J. C. et al. Improving surfacing performance with GMAW. *Welding journal*, v. 92, n. 5, p. 42-47, 2013.

- [12] VILARINHO, L. O.; SCOTTI, A. An alternative algorithm for synergic pulsed GMAW of aluminium. *Australasian Welding Journal*, v. 45, n. 2, p. 36-44, 2000.
- [13] MARQUES, C. et al. Soldagem MIG Pulsado CA de Ligas de Alumínio – Metodologia para Definição de Parâmetros. In: XXXIX CONSOLDA – Congresso Nacional de Soldagem 2013 Curitiba, Anais p. 10, 2013.
- .