



Associação Brasileira de Soldagem

XLIV CONSOLDA – Congresso Nacional de Soldagem  
Uberlândia, MG – de 10 a 13 de setembro de 2018.

**Investigação da Influência dos Parâmetros de Base na Fusão de Arame Durante o Processo  
MIG/MAG Pulsado para o Arame ER309LSi**

**(Investigation of the Influence of Base Parameters in the Melting of Wire During the Pulsed MIG / MAG  
Process for the ER309LSi Wire)**

*Fernando Costenaro Silva<sup>1</sup>, Junior Bonetti Zanini<sup>1</sup>, Ramon Fagundes<sup>2</sup>, Régis Henrique Gonçalves e Silva<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Santa Catarina, LABSOLDA, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.*

<sup>2</sup>*Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.*

*fernando.costenaro@ufsc.br, jr\_bonetti@hotmail.com, ramonffagundes@gmail.com, regis.silva@ufsc.br*

**Resumo**

O processo de soldagem MIG/MAG pulsado permitiu avanços na soldagem de aços inoxidáveis, especialmente em chapas de pequena espessura, que devem ser conduzidas em correntes baixas para que não ocorra perfuração. Normalmente no cálculo do coeficiente que determina o destacamento da gota no processo MIG/MAG pulsado são levados em consideração apenas os parâmetros de pulso, sendo os parâmetros de base ajustados apenas para permitir a manutenção do arco, como se existisse a fusão do arame somente durante o período de pulso. Assim, o objetivo deste trabalho é investigar se existe fusão do arame durante o tempo de base e qual a influência dos parâmetros de base para esta fusão. Esta análise foi realizada para o arame ER309LSi, com o auxílio de oscilogramas de tensão e corrente e de vídeos de alta velocidade. Após os ensaios, foi possível confirmar a existência de fusão do arame durante o tempo de base. Também foi verificado para correntes de base baixas a existência de um tempo de aquecimento antes do início da fusão do arame. Submetido a correntes maiores, este tempo deixa de existir. Além disso, foi verificado que a taxa de fusão específica durante a base permanece praticamente constante durante todo o tempo de base.

**Palavras-chave:** MIG/MAG pulsado. Parâmetros base. Fusão na base. Linha de fusão.

**Abstract:** *The pulsed-GMAW process allowed improvement in the welding of stainless steels, especially on fine plates, which must be done under low currents so that no burn through occurs. Normally in the calculation of droplet detachment in the pulsed-GMAW, only pulse parameters are considered, being the base parameters adjusted only to allow the arc maintenance, as if the melting of the wire existed only during the pulse period. Thus, the purpose of this work is to investigate if there is melting of the wire during the base time and what is the influence of the base parameters on it. This analysis was performed for the ER309LSi wire, with the aid of voltage and current oscillograms and high-speed recording. After the tests, it was possible to confirm the existence of melting of the wire during the base time. It was also verified for lower base currents the existence of a pre-heating time before the beginning of the melting of the wire. At higher base currents, this time ceases to exist. Furthermore, it was verified that the specific melt rate during the base remains practically constant throughout the base time.*

**Key-words:** *Pulsed MIG/MAG. Base parameters. Base melting. Melting line.*

## 1. Introdução

O processo de soldagem MIG/MAG pulsado é uma variante do processo MIG/MAG no qual é imposta uma modulação do sinal de corrente para obtenção de uma transferência por voo livre de forma controlada, viabilizando a utilização de valores de corrente média a baixo da corrente de transferência. Esta variante do MIG/MAG também propicia o ajuste de uma transferência estável e regular, possibilitando a soldagem de chapas finas, sem respingos e com um melhor controle do calor imposto ao material [1, 2].

O emprego do processo MIG/MAG Pulsado também permitiu avanços na soldagem de aços inoxidáveis, especialmente em chapas de pequena espessura, que devem ser conduzidas em correntes baixas para que não ocorra perfuração [2, 3].

Normalmente, na determinação dos parâmetros de soldagem para o MIG/MAG pulsado, são levados em consideração duas premissas. A primeira relaciona a velocidade de fusão com a velocidade de alimentação do material de adição, com a finalidade de produzir um processo com transferência metálica estável. A segunda premissa é que deve ocorrer a transferência de uma gota por período de pulsação, a fim de tornar o processo estável e mais robusto [2, 3].

Para garantir essas relações, pode ser utilizado como referência a constante de destacamento de gota por período  $D$ , que é basicamente o produto da corrente e do tempo de pulso, conforme equação 1. O valor do expoente “ $x$ ” está relacionado a relevância da corrente sobre o tempo de pulso necessários para resultar no destacamento de uma gota por pulso.

$$D = I_p^x \times t_p \quad (1)$$

Galeazzi et al. [4] realizaram ensaios utilizando arame de aço inoxidável ER309LSi e encontraram o expoente de 1,79, mostrando uma grande faixa de operação de correntes de pulso, entre 245 A e 450, além de apresentar uma boa estabilidade do comprimento do arco.

Outra característica importante com relação ao destacamento é o momento no qual este ocorre. Quando ocorre no pulso, a quantidade de energia sobressalente promove a continuidade da fusão do eletrodo, podendo gerar assim o destacamento de uma segunda gota com diâmetro menor ou salpicos finos [4, 5]. Quando ocorre na base, a velocidade da gota é menor, devido a componente axial da força eletromagnética ser mais fraca em comparação ao destacamento durante o pulso [5, 6]. Assim, a transferência metálica é mais suave e resulta em um cordão com um melhor acabamento.

Como pode ser observado na equação 1, apenas os parâmetros do pulso são utilizados para definir a constante de destacamento, como se existisse a fusão do arame somente durante o período de pulso. Um dos motivos para não considerar a corrente de base é que normalmente são utilizadas correntes de pulso elevadas e correntes de base com um valor mínimo, apenas para auxiliar na manutenção do arco e para ajustar o diâmetro de gota e a corrente média do processo [7, 8].

Entretanto, este trabalho busca investigar se existe a fusão do arame durante o tempo de base na soldagem do aço inoxidável ER309LSi e analisar a influência dos parâmetros entre a fusão na base e outras variáveis do processo, como corrente média, velocidade do arame, taxa de fusão e constante de destacamento.

## 2. Materiais e Métodos

A fim de verificar os fenômenos presentes durante a corrente de base, foi escolhido como material de estudo o aço inoxidável, tendo em vista que este possibilita uma maior estabilidade durante a soldagem no que diz respeito a transferência metálica quando aplicados a soldagem MIG/MAG Pulsado, e assim uma melhor análise dos resultados.

### 2.1. Bancada de Ensaios

Com relação aos consumíveis, foi utilizado o arame ER309LSi, de 1,2 mm de diâmetro, com o gás de proteção constituído por 95% Ar, 3% CO<sub>2</sub> e 2% N<sub>2</sub>. Os ensaios envolveram deposição sobre chapa de aço carbono 1020, na posição plana, uma vez que outra configuração não influenciaria na fusão durante a corrente de base.

A configuração da bancada de soldagem foi composta pela fonte de soldagem de controle eletrônico, modelo IMC DIGITEC 600, do cabeçote de alimentação responsável pelo tracionamento do arame e do sistema de refrigeração responsável pelo arrefecimento da tocha de soldagem.

Para realizar o deslocamento da tocha e garantir a repetibilidade dos ensaios foi utilizado um sistema de deslocamento mecanizado, modelo SPS Tartilope V2, que possui dois graus de liberdade e que se movimenta sobre um trilho rígido.

Por fim, para realizar a aquisição dos sinais, foram utilizados um sistema de aquisição de dados portátil, modelo IMC SAP V4 e uma câmera de alta velocidade, modelo IDT Vision Y4S2. O primeiro foi utilizado com a finalidade de analisar em tempo real grandezas do processo, tais como a corrente, velocidade de arame e tesão, com uma frequência de aquisição de 5 KHz. Já a câmera de alta velocidade foi utilizada para auxiliar na análise da linha de fusão durante a corrente de base, registrando vídeos em alta velocidade a uma taxa de 1000 quadros/s. A Figura 1 ilustra a configuração da bancada de soldagem utilizada neste trabalho.

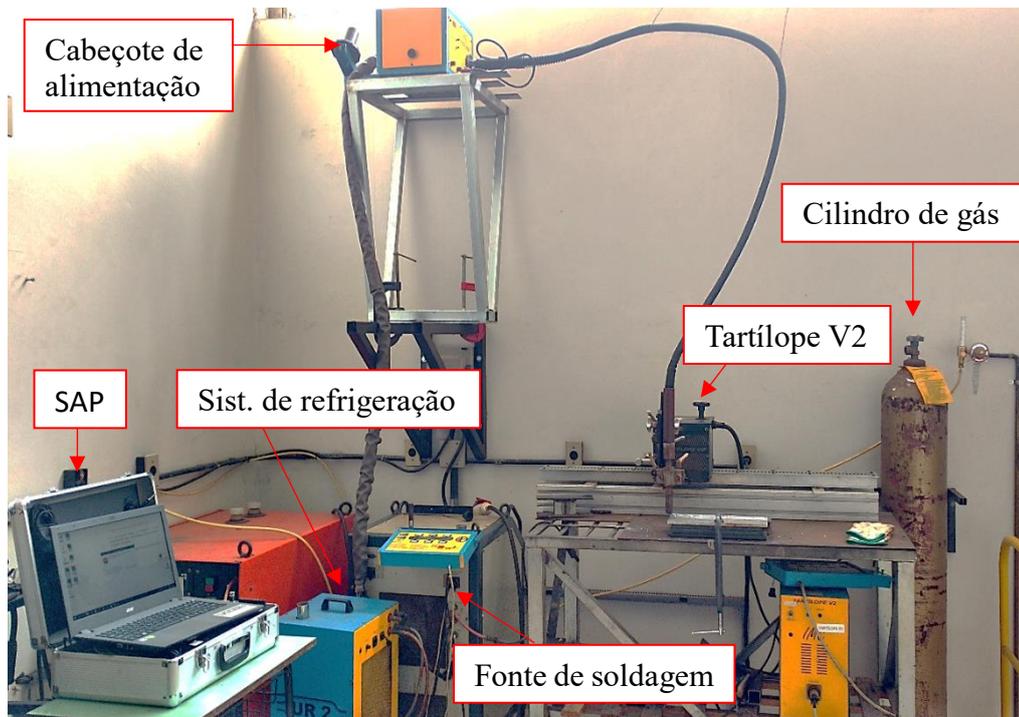


Figura 1. Configuração da bancada de soldagem

## 2.2. Metodologia para definição dos parâmetros de soldagem

Alguns parâmetros relacionados ao processo de soldagem foram fixados para a realização dos ensaios e são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros operacionais fixos.

Vazão de gás	Velocidade de Soldagem	DBCP	Ângulo da Tocha
15 L/min	35 cm/min	15 mm	90°

Com a premissa de se avaliar o comportamento da fusão ou não do arame durante a corrente de base, foi estabelecido um conjunto de parâmetros com diferentes correntes de base a partir de parâmetros de referência de trabalhos anteriores [4].

Vale ressaltar que a relação de uma gota por pulso, na qual [1] afirma ser a situação mais estável para soldagem, foi respeitada durante todos os ensaios para ambos os materiais. Além disso, procurou-se manter o diâmetro de gota de 1,2 mm.

A partir dos conjuntos de parâmetros de referência, foram estipulados limites inferiores e superiores para a corrente de base. O limite inferior adotado para a corrente de base foi de 40 A, uma vez que valores a baixo desse impossibilitaria a manutenção do arco [1,4]. Já o limite superior foi definido em função do coeficiente de destacamento (D). Assim, foi definido o valor de 160 A para o aço inoxidável, visto que para valores superiores a esses a relação  $I_b^x \times t_b$  se aproximaria de  $I_p^x \times t_p$  sugerindo um possível destacamento extra na base.

No entanto, devido a variação da corrente de base, a corrente média não permaneceria constante, impossibilitando sua aplicação para obtenção dos parâmetros adjacentes. Além disso, o comprimento do arco também seria alterado. Assim, para garantir que este se mantivesse constante, foi necessária a variação da velocidade de alimentação. Para definir a nova velocidade de alimentação foi utilizada como referência uma relação entre velocidade de arame e corrente média, apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros definidos para a relação entre velocidade de arame e corrente média.

Ensaio	$I_p$ (A)	$t_p$ (ms)	$I_b$ (A)	$t_b$ (ms)	$V_a$ (m/min)	$I_{ef}$ (A)	$V_a/I_m$
M1	430	1,8	40	27	1,6	61	0,026
M2			70	17,1	2,6	100	0,026
RefM			<b>104</b>	<b>11,2</b>	<b>3,7</b>	<b>143</b>	<b>0,025</b>
M3			130	9,9	4,2	169	0,025
M4			160	7,7	5,1	203	0,025
M5			190	7,4	5,3	223	0,023

Foram definidos ensaios com variação de 30 A de corrente de base a partir dos parâmetros de referência, destacado na Tabela 2 como ensaio RefM, mantendo os parâmetros de pulso e alterando o tempo de base para manter o diâmetro de gota.

### 2.3 Metodologia para cálculo da fusão durante a corrente de base

Muitas vezes, a forma de como se estima a velocidade de fusão do material durante a soldagem está relacionada a diferença entre a linha de fusão e a velocidade de alimentação. No entanto, a velocidade de alimentação pode sofrer variações durante a soldagem, resultando em resultados imprecisos. Alguns trabalhos destacam alguns fenômenos relacionados a continuidade ou não da alimentação do arame [9]. Esta inconstância da alimentação de arame inevitavelmente acaba gerando variações significativas da altura do arco durante a soldagem, resultando na instabilidade do processo como um todo.

Alguns fatores podem ser responsáveis pela variação da velocidade de alimentação de arame, como o *stick-slip*, que está relacionado ao deslizamento relativo de duas superfícies [10]. A ocorrência esporádica de micro soldas entre o bico de contato e o arame, além do atrito entre o arame e o bico de contato e seu próprio desgaste também favorece a interrupção indesejada da velocidade de alimentação [11].

Para tentar minimizar ao máximo os fenômenos que poderiam vir a prejudicar os ensaios, alguns cuidados foram tomados durante a montagem da bancada. A princípio, a configuração do mangote da tocha foi determinada de tal modo que o deixasse o mais esticado possível, melhorando assim a passagem do arame pelo mangote. Além disso, o bico de contato foi verificado a cada ensaio e trocado quando necessário. Tomou-se cuidado também com os roletes do tracionador de arame, bem como a pressão transferida até o arame.

Além dos cuidados citados, foi tomado como base para o cálculo a linha de fusão pequenas imperfeições presentes no arame, visualizadas na filmagem de alta velocidade, tornando estas como pontos referenciais e desconsiderando assim, eventuais variações de velocidade de alimentação.

Com o auxílio dos oscilogramas de tensão e corrente, foi possível determinar a região da corrente de base. Em seguida, a partir dos vídeos de alta velocidade, destacou-se os momentos de início e fim da corrente de base, possibilitando verificar a variação da distância do ponto referencial para a linha de fusão. Tal metodologia também foi utilizada no trabalho de [5], na qual pode-se verificar ser uma metodologia eficaz quando aplicada para estimar a fusão durante a corrente de base. Na Figura 2 está destacado um exemplo de ponto de referência e a distância até a linha de fusão no início e no final da base.

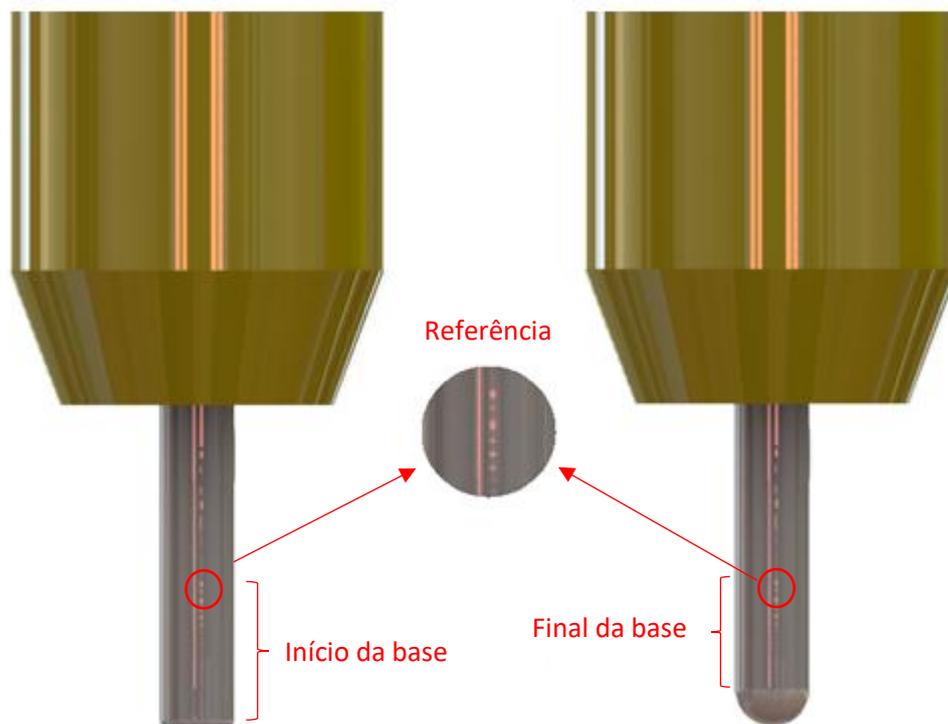


Figura 2. Esquema para cálculo da fusão durante a corrente de base

Foi utilizado o diâmetro de eletrodo como referência para determinar a diferença do comprimento do arame entre o ponto de referência e a linha de fusão entre o início e o final da base.

### 3. Resultados e Discussões

Inicialmente foram avaliados os limites superior e inferior de corrente de base para a representação da corrente escolhida, além de verificar a correlação da corrente com o coeficiente de destacamento (D). Em seguida são apresentados os resultados obtidos, com a filmagem em alta velocidade, da fusão de arame durante o período de base do processo MIG/MAG pulsado para o arame ER309LSi.

#### 3.1 Avaliação dos Limites Superior e Inferior de Corrente de Base

O primeiro ensaio realizado foi o M1, que apresenta o limite inferior de corrente de base (40 A). Foi observado uma boa estabilidade do arco elétrico durante a soldagem, com destacamento das gotas no início da base, conforme ilustra o oscilograma na Figura 3.

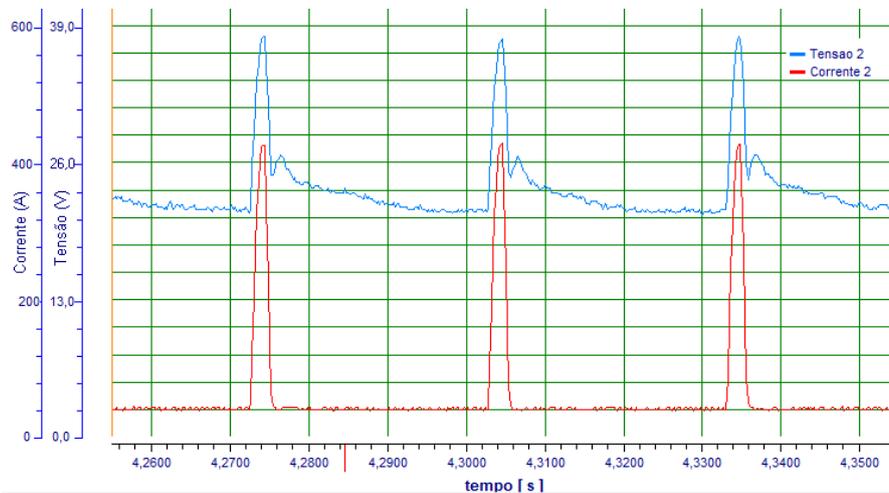


Figura 3. Oscilograma do ensaio M1, com 40 A de corrente de base.

Em seguida, foi realizado o ensaio M4, com corrente de base de 160 A, a fim de avaliar a estabilidade da transferência. O destacamento das gotas se manteve no início da base, e os oscilogramas não apresentaram curto-circuito ou oscilações grosseiras do arco elétrico, conforme ilustra o oscilograma na Figura 4.

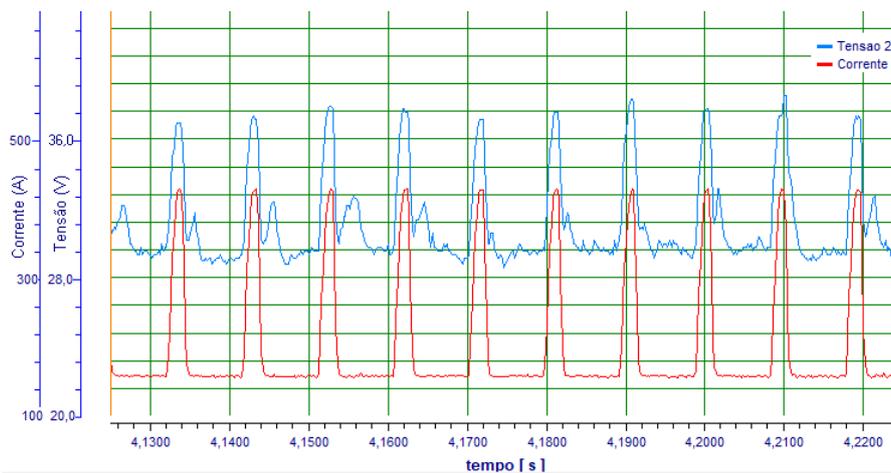


Figura 4. Oscilograma do ensaio M4, com 160 A de corrente de base.

Como apontado na metodologia, os limites inferiores adotados para a corrente de base e já apresentados acima foram de 40 A para o aço inoxidável, pois é o que os autores sugerem como corrente mínima para manutenção do arco elétrico [3,4]. A partir dos testes pode-se comprovar que é possível realizar o processo pulsado utilizando essas correntes de base.

Os limites superiores, pelo contrário, foram arbitrados com base na teoria de que ao estimarmos que haja um coeficiente de destacamento D para a base ( $I_b^x \cdot t_b$ ), esse não pode se aproximar do D do pulso ( $I_p^x \cdot t_p$ ).

Conforme verificado na Figura 4, foi possível soldar utilizando corrente de base 160 A para o aço inoxidável, mantendo a estabilidade do processo e o destacamento de uma gota por período no início da base. Porém, ao

utilizar correntes mais elevadas, foi verificado que o destacamento se dá de forma irregular, tornando praticamente impossível manter o destacamento de uma gota por período. Isso ocorre devido a corrente média e eficaz passarem a ser muito próximas, fazendo com que o processo se aproxime da transferência por spray.

A Figura 5 ilustra o oscilograma do ensaio M5, utilizando corrente de base 190 A. É possível verificar que há mais de um destacamento por período, evidenciado por picos de tensão alongados durante o pulso e a base, comprovando que a teoria utilizada para definição dos parâmetros se aplica.

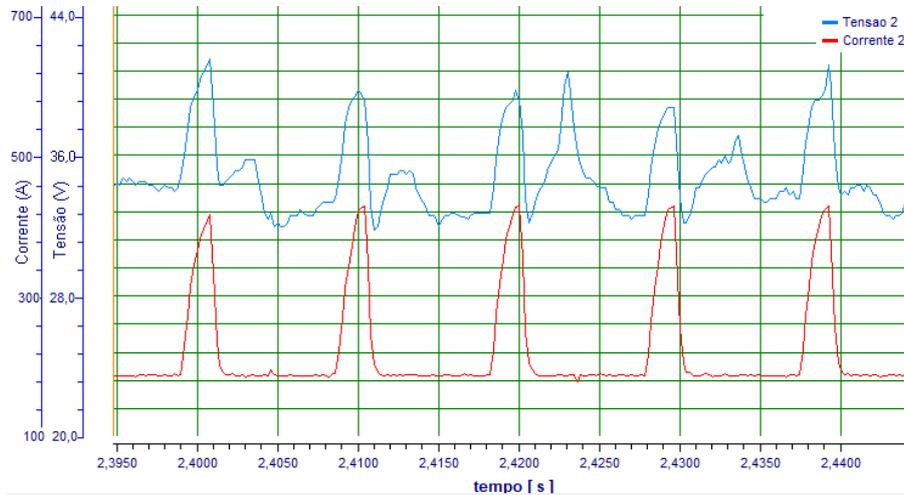


Figura 5. Oscilograma do ensaio M5, com 190 A de corrente de base.

Na Tabela 3 são apresentados os valores da constante de destacamento  $D$  calculados para a base e para o pulso do ensaio M5, com 190 A de corrente de base. É possível verificar que ambos os valores são muito próximos, o que significa que a energia fornecida pela base por si só já seria suficiente para destacar a gota. Assim, ocorrem mais do que um destacamento por período, como apresentado na Figura 5.

Tabela 3. Constante de destacamento calculada para base e pulso

$I_p$ (A)	$t_p$ (ms)	$I_b$ (A)	$t_b$ (ms)	Expoente (x)	D pulso ( $I_p^x \cdot t_p$ )	D base ( $I_b^x \cdot t_b$ )	D base/D pulso
430	1,8	190	6,6	1,79	9,31E+04	7,92E+04	85%

A partir da análise acima é possível extrair desse trabalho uma faixa de operação para o processo pulsado, onde a corrente de base mínima é limitada a corrente necessária para a manutenção do arco elétrico, enquanto que a corrente de base máxima é limitada pelo coeficiente de destacamento  $D$ , de modo que o  $D$  calculado na base não possa se aproximar do  $D$  do pulso.

### 3.3. Resultados para a Fusão na Base

Foi possível evidenciar pelas filmagens que há fusão do arame durante a base. Quando submetido a correntes de base mais baixas, foi verificado que ocorre a fusão durante a base, mas ela não é imediata, isto é, a fusão durante o tempo de base é iniciada apenas após um determinado tempo de arco, como pode ser observado na Figura 6.

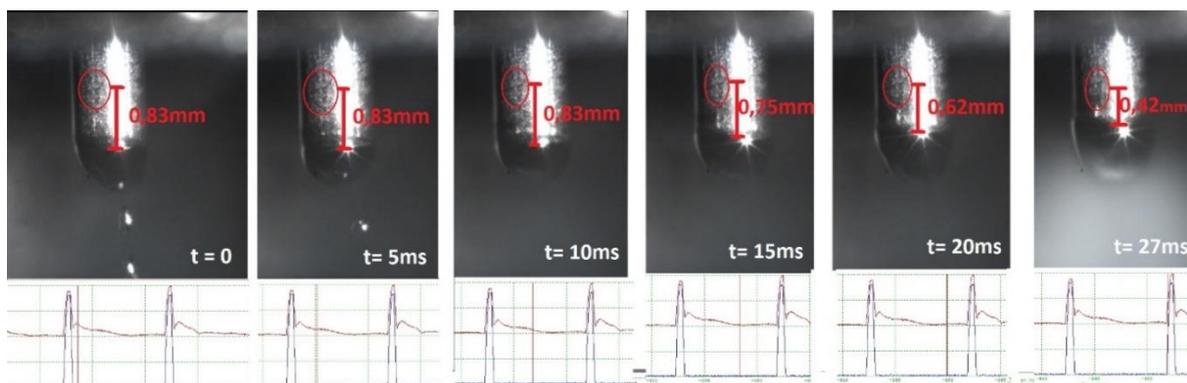


Figura 6. Filmagem em alta velocidade do ensaio M1 durante o período de base.

Esse fenômeno foi mais evidente para a menor corrente de base utilizada (40 A). A medida que a corrente de base foi elevada, o tempo necessário para iniciar a fusão do arame foi diminuindo, de modo que para correntes superiores a aproximadamente 104 A, a fusão se deu instantaneamente com o início da base. Um exemplo é ilustrado na Figura 7.

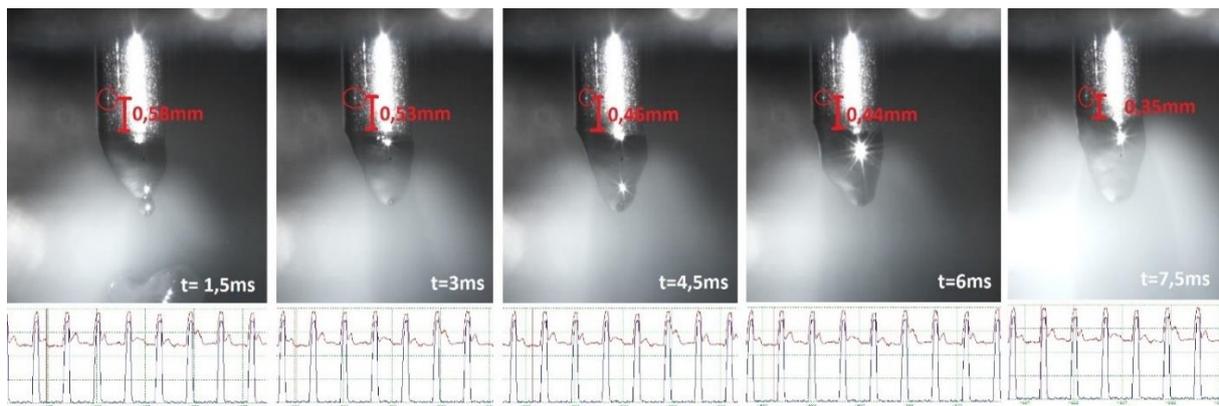


Figura 7. Filmagem em alta velocidade do ensaio M4 durante o período de base.

Tal fenômeno pode ser explicado pois é observado na Figura 7 que no início da base apenas uma pequena parcela da ponta do eletrodo está na forma líquida, ou seja, a energia fornecida pelo arco elétrico e por efeito joule terá que elevar o metal do estado sólido até a temperatura de fusão para que inicie a formação da gota. IAEA [12] mostrou que a condutividade térmica do aço inox diminui drasticamente quando o mesmo passa do estado sólido para o líquido, e o mesmo acontece com a difusividade térmica, ou seja, o líquido tem capacidade de absorver muito mais calor que o sólido. Quanto mais baixa a corrente fornecida para o sistema, maior será a demora para a formação da gota e automaticamente maior será a energia dispersada pelo eletrodo sólido.

Ao desconsiderar o tempo para o início da fusão ( $t_{if}$ ) para calcular a taxa de fusão, pode-se obter outro dado interessante, a chamada taxa de fusão específica do material ( $T_{fe}$ ), apresentado na equação 2. Os dados são explicitados na Tabela 4.

$$T_{fe} = \frac{L}{(t - t_{if})} \quad (2)$$

Onde:

L – Comprimento de arame fundido

t - duração do tempo de base ou pulso

$t_{if}$  – Tempo para o início da fusão

Tabela 4. Resultados da quantidade de material fundido para o inox

		I (A)	t (ms)	L (mm)	$t_{if}$ (ms)	$T_{fe}$ (mm/s)
<b>M1</b>	Base	40	27	0,41	13,2	30
	Pulso	430	1,8	0,57		
<b>M2</b>	Base	70	17,1	0,33	5,8	29
	Pulso	430	1,8	0,62		
<b>RefM</b>	Base	104	11,2	0,25	1,8	27
	Pulso	430	1,8	0,64		
<b>M3</b>	Base	130	9,9	0,27	0,0	27
	Pulso	430	1,8	0,58		
<b>M4</b>	Base	160	7,7	0,23	0,0	30
	Pulso	430	1,8	0,62		

A partir dos dados expostos na tabela 4, ainda é possível verificar que a  $T_{fe}$  da base se mantém praticamente constante mesmo elevando a corrente de base utilizada. Isso pode ser explicado, pois em todos os casos a relação

$Va/I_m$  é conservada, ou seja, a corrente média fornecida por volume de material se mantém constante, permitindo inferir mais uma vez a correlação direta entre a  $Va$  e  $I_m$  para determinação dos parâmetros.

Apesar de evidenciado que há fusão na base para o aço inoxidável durante o processo pulsado, também foi mostrado, como é descrito na tabela 4, que o pulso é o responsável pela fusão da maior parcela do eletrodo, e que o mesmo ocorre em uma velocidade muito superior a fusão apresentada na base. A Figura 8 ilustra a fusão do eletrodo no pulso.

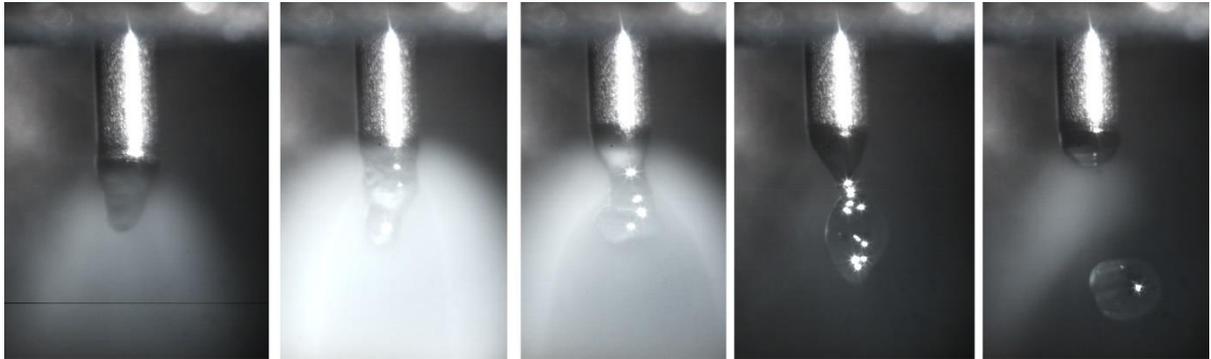


Figura 8. Filmagem em alta velocidade do ensaio RefM durante o período de pulso.

Uma possível explicação para esse fenômeno pode estar na energia que o pulso fornece para fundir parte do eletrodo e destacar a gota. Durante o pulso ocorre a fusão e simultaneamente o destacamento da gota, logo toda a energia do pulso é dissipada junto com o destacamento, sendo necessário o denominado  $t_{if}$  para que a fusão inicie novamente.

#### 4. Conclusões

As análises dos resultados obtidos nos ensaios comprovaram a existência da fusão do eletrodo durante o período de base no processo MIG/MAG pulsado, mesmo para valores mínimos de corrente. Além disso, pode-se aferir que:

- A medida que o intitulado D calculado para base se aproxima do D do pulso o processo pulsado é descaracterizado devido que a energia fornecida pela base se torna muito elevada ocasionando mais de um destacamento por período e desestabilizando o processo;
- Para o aço inoxidável foi observado que para correntes de base mais baixas existe um tempo necessário para o início da fusão do arame ( $t_{if}$ ), e a medida que a corrente de base é elevada  $t_{if}$  diminui;
- Para correntes de base acima de 115 A, a fusão do arame ocorre logo após o destacamento na base;
- A taxa de fusão específica permanece constante independente da corrente de base utilizada, devido ao fato que, para todos os casos, os parâmetros foram definidos a partir da relação  $Va/I_m$ ;

#### 5. Agradecimentos

Gostaria de agradecer a toda equipe do LABSOLDA pelo apoio técnico prestado. À Universidade Federal de Santa Catarina e ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

#### 6. Referências Bibliográficas

- [1] AMIN, M. Pulse current parameters for arc stability and controlled metal transfer in arc welding. Metal Construction, 1983. 15: p. 272-8.
- [2] SCOTTI, A.; V. PONOMAREV, Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho. 2008: Artliber.
- [3] DUTRA, J. C.; MARQUES, C.; SILVA, R. H. G. Consonâncias e Dissonâncias Interpretativas no Interrelacionamento das Variáveis da Corrente Pulsada Aplicada à Soldagem com arame de Alumínio 4043. Soldagem & Inspeção. São Paulo, Vol.17, Nº. 3, p.201-209, Jul/Set 2012.
- [4] GALEAZZI, D.; ZANINI, J. B.; FAGUNDES, R. F. Seleção de Parâmetros de Corrente Pulsada na Soldagem MIG/MAG utilizando arame de aço inoxidável 309L-SI em depósito sobre chapa. Relatório final da disciplina EMC 410063 – Fund. Físicos e Base Tecnológica dos Processos de Soldagem a Arco. UFSC. 2017.
- [5] 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, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017, p. 210

- [6] AMSON, J. C., Lorentz force in the molten tip of an arc electrode. BRIT. J. APPL. PHYS., pp. 1169 - 1179, Mar 1965.
- [7] GHOSH, P.K. Concept of Pulse Current Gas Metal Arc Welding Process. In: Pulse Current Gas Metal Arc Welding. Materials Forming, Machining and Tribology. Springer, Singapore. 2017 p. 31-45
- [8] PALANI, P.K.; MURUGAN, N. Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding. Journal of Materials Processing Technology 172 (2006) p. 1–10
- [9] ASHIDH K; A. SANTHA KUMARI; A. SUMESH; N. RAJASEKARAN. Influence of stick-slip effect on gas metal arcwelding. Applied Mechanics and Materials. 2015 Trans Tech Publications, Switzerland.
- [10] BENGISU, M. T; AKAY, A; Stick-Slip Oscillations: Dynamics of Friction and Surface roughness. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 105, No. 1, January 1999.
- [11] G. ADAM, T. A; SIEWERT, T. P; QUINN, D. V. VIGLIOTTI. Contact-Tube Temperature During GMAW. NIST.
- [12] IAEA. Thermophysical properties of materials for nuclear engineering: a tutorial and collection of data. IAEA, Vienna, Austria, 2008