

ESTUDO E ANÁLISE DO INTER-RELACIONAMENTO DE VARIÁVEIS EM SOLDAGEM TIG PULSADA COM ALIMENTAÇÃO AUTOMÁTICA DE ARAME

(1) Luiz Carlos Delgado

(2) Jair Carlos Dutra

(3) Moisés Alves de Oliveira

RESUMO

Este trabalho tem o propósito de obter o melhor inter-relacionamento das variáveis mais significativas, envolvidas na soldagem pelo processo TIG pulsado com alimentação automática de arame, objetivando sua aplicação em estudos que tratam do processo com Controle Sinérgico destas variáveis. Foram realizados 27 experimentos por simples deposição, em corpos de prova de aço ABNT 1020, na posição sobre-cabeça. O metal de adição utilizado foi o arame tubular "CAVITEC", com diâmetro de 1.2mm. Existe uma significativa influência dos parâmetros de soldagem (velocidade de soldagem e velocidade de alimentação do arame) e parâmetros de pulso (corrente e frequência de pulso) sobre a geometria do cordão depositado. Estes efeitos precisam ser investigados para que se possa avançar no estudo deste processo com alta taxa de deposição sem comprometimento da qualidade da geometria do depósito. Portanto, foi possível determinar um modelo matemático capaz de representar todos os resultados experimentais aceitos segundo critérios previamente estabelecidos.

Palavras-chave: TIG pulsado, Sinergismo, Parâmetros de pulso.

ABSTRACT

This work has the purpose of obtaining the best inter-relationship of the most significant variables, involved in the pulsed TIG welding process with automatic wire feeding, objectifying its application in studies that are the process with Automatic Control. 27 experiments were accomplished by simple deposition, in sample of steel ABNT 1020, in the position on-head. The addition metal was the tubular wire "CAVITEC", with diameter of 1.2mm. A significant influence of the welding parameters exists (welding speed and wire feeding speed) and pulse parameters (pulsed current and frequency) on the geometry of the deposit. These effects need to be investigated so that it can move forward in the study of this process with discharge deposition rate without commit the quality of the deposit. Therefore, it was possible to determine a mathematical model capable to represent the experimental results accepted previously according to approaches established.

Key Words: Pulsed TIG, Automatic control, Pulse parameters.

(1) Eng. Naval, Mestrando em Eng. Mecânica pelo LABSOLDA/UFSC
Rua Rui Barbosa 344, Agrônômica, Fpolis, SC, CEP : 88025-300, e-mail : delgado@emc.ufsc.br

(2) Dr. Eng., Eng. Mecânico, Prof. LABSOLDA/UFSC
Campus Universitário CP 476, Trindade, Fpolis, SC, CEP : 88040-900, e-mail : jdutra@labsolda.ufsc.br

(3) Eng. Mecânico, Mestrando em Eng. Mecânica pelo LABSOLDA/UFSC
Campus Universitário CP 476, Trindade, Fpolis, SC, CEP : 88040-900, e-mail : moises@labsolda.ufsc.br

1. INTRODUÇÃO

Em soldagem TIG pulsada com alimentação automática de arame, é grande o número de combinações possíveis dos parâmetros de pulso, que se pode estudar, para se determinar suas influências na variação da geometria do cordão soldado. Portanto, torna-se difícil um estudo completo da influência de todos estes parâmetros envolvidos. Para simplificar a análise dos resultados deste estudo, é preciso adotar critérios bem definidos que possam incorporar, pelo menos, a influência dos parâmetros de pulso mais significativos na variação da geometria do depósito. Considerando esta linha de raciocínio, pode-se eleger alguns parâmetros de pulso que certamente terão uma parcela significativa de contribuição na variação da geometria do cordão depositado. A partir daí pode-se determinar o grau de influência destes parâmetros e direcionar o estudo para aqueles mais significativos.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal o estudo e a análise do inter-relacionamento das variáveis mais significativas envolvidas na soldagem pelo processo TIG pulsado com alimentação automática de arame e a criação de um modelo matemático capaz de prever tanto a geometria do cordão quanto a velocidade de alimentação do arame indicada para as condições de soldagem preestabelecidas, objetivando sua aplicação em estudos que tratam do processo com Controle Sinérgico destas variáveis. O propósito de cada experimento realizado é investigar os efeitos de cada fator em um intervalo preestabelecido, dado por níveis dos fatores, procurando maximizar a informação destes fatores sobre a resposta.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Equipamentos e Instrumentação

Para a realização deste trabalho foi utilizada a bancada de ensaios representada esquematicamente pela figura 1:

1. Uma fonte de soldagem multiprocesso e microprocessada "MTE DIGITEC 300";
2. Os Softwares "OSCILOS" e "CALIGEN";
3. Um sistema microcontrolado de deslocamento da tocha "TARTÍLOPE V1";
4. Uma placa de aquisição de dados "INTERDATA 3";
5. Um cabeçote alimentador automático de arame "STA TIG";
6. Uma tocha TIG com suporte adaptador para alimentação automática de arame;
7. Um medidor de velocidade do arame do tipo "MVA";
8. Um medidor de velocidade do arame do tipo "tacogerador".

3.2 Metodologia

Geralmente, a determinação da influência dos parâmetros de soldagem sobre uma determinada variável é obtida por tentativa e erro, após a realização de um número elevado de experimentos. Além disso, a presença de interações dificulta a análise dos parâmetros sobre a resposta.

Entretanto, as mesmas conclusões podem ser obtidas avaliando-se um número pequeno de experimentos estabelecidos estatisticamente.

O projeto fatorial completo é a opção mais econômica na execução de um experimento, quando o número de variáveis controláveis é elevado. Por isso que os experimentos fatoriais são bastante usados para descrever o comportamento empírico dos processos de soldagem.

Portanto, como procedimento estatístico, foi utilizado um experimento fatorial completo à 3 variáveis e 3 níveis (3^3) e, para a análise dos resultados obtidos, o algoritmo de Yates.

O número total de experimentos é função do número de parâmetros de controle e do número de níveis a serem pesquisados. Como são 3 parâmetros a 3 níveis, são necessários 27 experimentos para se ter o estudo completo de todos os resultados possíveis dentro da faixa preestabelecida para cada parâmetro de controle.

Portanto, foram realizados 27 experimentos por simples deposição, em corpos de prova de aço ABNT 1020, na posição sobre-cabeça. O metal de adição utilizado foi o arame tubular "CAVITEC", com diâmetro de 1.2mm.

É claro que, dentro do ponto de vista teórico, estes 27 experimentos conseguem definir funções matemáticas que podem expressar um modelo matemático capaz de reproduzir os resultados experimentais obtidos durante os ensaios. Todavia, na prática observa-se que alguns resultados não podem ser aceitos como depósitos de soldagem, pois não atendem requisitos de qualidade estabelecidos em Normas de Soldagem.

Diante destas observações, se faz necessário a adoção de critérios para se conseguir restringir os resultados apenas àqueles que atendam aos requisitos de qualidade do cordão depositado.

Portanto, foram adotados dois critérios distintos para aceitação dos depósitos obtidos:

1. O primeiro critério procura minimizar os defeitos laterais ao longo de toda extensão do cordão, decorrentes da frequência de pulsação inadequada para determinada velocidade de soldagem e corrente de pulso, fig. 2. A fim de garantir uma boa continuidade ao longo da extensão do cordão, a solda deve progredir como uma série de poças sucessivas, com sobreposição dos pulsos superior a 60% [7]. A fig. 3 representa esquematicamente esta condição.

2. O segundo critério busca restringir a ocorrência de depósitos com convexidade excessiva, fig. 4. Na posição sobre-cabeça, um parâmetro indicativo desta convexidade é a razão entre a altura do reforço e a largura do cordão (h_r / L). Ensaios realizados mostraram que, para $(h_r / L) < 0,5$ tem-se cordões com geometria aceitável, do ponto de vista de convexidade, fig. 5.

A partir da aplicação destes dois critérios, consegue-se depurar o modelo matemático, restringindo-o apenas aos experimentos que realmente possam ter alguma aplicação prática.

A tabela 1 mostra os 27 experimentos realizados, juntamente com a aplicação dos dois critérios já definidos. Os ensaios marcados a carimim significam aqueles que foram rejeitados pelos dois critérios acima. Portanto, restam apenas 13 ensaios que satisfazem os critérios preestabelecidos.

A partir daí, é possível determinar um modelo matemático capaz de representar todos os resultados experimentais, aceitos segundo os critérios previamente estabelecidos.

3.3 Parâmetros

3.3.1 Justificativa

Segundo STREET and LUCAS [1, 2] os parâmetros recomendáveis para a soldagem TIG pulsada são:

- A corrente de pulso mínima a ser usada é determinada principalmente pela condutibilidade térmica do material, sendo da ordem de 150 A para os aços. Esta corrente é a mínima necessária para formar uma poça fundida consistente e permitir seu deslocamento juntamente com o arco voltaico formado, ao longo de toda extensão do cordão soldado. Este fato justifica a escolha dos níveis adotados para a corrente de pulso durante a realização dos ensaios, (160, 226 e 320) A;
- A corrente de base deve ser ajustada num valor pequeno, o suficiente para manter um arco estável e permitir a rápida dissipação de calor na peça. Quanto menor for a corrente de base, maior será a quantidade de calor dissipado na peça por unidade de tempo [3].

Q = quantidade de calor dissipado na peça por unidade de tempo (kcal/s).

m = massa total da peça (kg).

c = calor específico do metal base (kcal/kg.s.°C).

DT = gradiente de temperatura na peça (°C).

Quanto menor a corrente de base, para uma corrente de pulso fixa, maior será o gradiente de temperatura na peça, conseqüentemente, maior também será a quantidade de calor dissipado na peça por unidade de tempo. Portanto, tem-se uma condição favorável à soldagem na posição sobre-cabeça, pois a quantidade elevada de calor dissipado na peça por unidade de tempo tende à aumentar a velocidade de resfriamento da poça fundida, solidificando-a mais rapidamente e reduzindo, assim, a possibilidade de ocorrer o escorrimento do cordão depositado.

Por questões de limitação do Cabeçote Alimentador Automático de Arame (STA – TIG), que necessita de uma corrente mínima de 34 A para poder dar início a alimentação automática do arame, foi adotada uma corrente de base igual a 40 A;

- Normalmente, o tempo de base é escolhido igual ao de pulso, podendo ser duas a três vezes maior quando se tem espessuras elevadas. Este, porém, é o caso específico da aplicação em reparo de turbinas hidráulicas erodidas por cavitação. Todavia, neste trabalho, para facilitar a realização dos ensaios e análise dos resultados, adotou-se a igualdade entre os tempos de base e de pulso.

3.3.2 Fatores fixos

- Tipo de corrente: Corrente Contínua Pulsada com polaridade negativa (CCP -);
- Corrente de Base: $I_b = 40$ A;
- Eletrodo de Tungstênio com 2% de Tório e diâmetro de 3.2 mm;
- Gás de Proteção: Argônio puro com vazão de 15 l/min;
- Distância Eletrodo-Peça: 5 mm;
- Espessura da Chapa: 19 mm;
- Fator de Ciclo: $\alpha = \text{tempo de pulso} / \text{período} = 0.5$ ($t_p = t_b$);
- Ângulo de ponta: 45 graus.

3.3.3 Parâmetros de controle

- Velocidade de Soldagem: (10, 20 e 30) cm/min;
- Corrente de Pulso: (160, 226 e 320) A;
- Tempo de Pulso: (0.2, 0.6 e 1.0) s.

3.3.4 Respostas

- Largura do Cordão (L);
- Altura do Reforço do Cordão (h_r);
- Velocidade de Alimentação do Arame (v_a);
- Sobreposição (S).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na posição sobre-cabeça a ação contrária da gravidade tenta vencer o efeito favorável da tensão superficial. Como consequência, o cordão tende a ficar mais estreito e convexo (fig. 4).

Portanto, nesta posição de soldagem, o arco longo (acima de 7 mm) resulta numa falta de continuidade na fusão do arame e, conseqüentemente, a formação de gotas fundidas que não conseguem se manter na poça da solda e caem sobre o eletrodo de tungstênio, contaminando-o, e também sobre o bocal da tocha, dando origem à turbulências no gás inerte e, conseqüentemente, comprometendo a eficiência da proteção do gás sobre a região aquecida da solda. Nesta situação a tensão superficial não é suficiente para vencer a ação contrária da gravidade que atua na gota em formação.

Da mesma forma, o arco curto (abaixo de 3 mm) também é problemático pois, além de dificultar o correto posicionamento do arame na poça fundida, também pode causar a extinção do arco devido à proximidade excessiva do eletrodo com a poça em fusão, como consequência da altura elevada do cordão, com convexidade excessiva, nesta condição crítica.

A utilização da corrente pulsada em soldagem TIG na posição sobre-cabeça visa possibilitar o aquecimento e a formação de uma poça fundida durante o tempo de pulso (de elevada corrente) e permitir seu rápido resfriamento e solidificação durante o tempo de base (de baixa corrente), no qual a amplitude da corrente é apenas a necessária para manter um arco estável. A escolha correta dos parâmetros de pulso pode evitar o escorrimento indesejável da solda. Mediante o controle dos parâmetros de pulso é possível alterar o modo de solidificação e, conseqüentemente, melhorar a geometria do cordão soldado na posição sobre-cabeça.

Todavia, os ensaios realizados mostraram que a tendência ao escorrimento do cordão ocorre, geralmente, com tempo de pulso próximo à 1 segundo. Este problema é agravado ainda mais quando se usa uma corrente de pulso de valor elevado. A comprovação desta afirmativa pode ser observada pelos resultados obtidos durante os ensaios 9, 12, 15, 18 e 21, que constam do anexo "A".

A utilização da máxima corrente de pulso (320 A), ou valores superiores, tende a aumentar a taxa de deposição do metal de adição, conforme os resultados apresentados pelos gráficos 1, 2 e 3. Todavia, não se pode deixar de considerar também que, na posição sobre-cabeça o elevado valor desta corrente aumenta a probabilidade de ocorrência do escorrimento do cordão. Isto pode ser comprovado pela análise dos resultados experimentais mostrados nos gráficos 1, 2 e 3. Nestes gráficos verifica-se que, de todos os ensaios realizados com corrente de pulso de 320 A (ensaios 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 e 27), apenas o ensaio 6 foi aceito por estar de acordo com os critérios citados acima.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) para v_s , t_p e I_p , apresentados na tabela 2, mostraram que estes três parâmetros foram significativos, para um nível de significância de 5 %.

Através de regressão múltipla dos resultados obtidos pela análise de Yates, com a adoção de um modelo linear de regressão, tem-se a seguinte expressão para o valor esperado da velocidade de alimentação do arame, como função dos principais parâmetros de controle:

Onde : $a = 0,15$ m/min; $b = -0,023$ m/cm; $c = 1,2$ m/min.s; $d = 0,0045$ m/min.A.

δe = erro do modelo; v_a [m/min]; v_s [cm/min]; t_p [s]; I_p [A].

Coefficiente de correlação "R" igual à 0,91.

Esta expressão matemática pode auxiliar bastante na resolução de vários problemas relacionados com a determinação das condições ótimas de soldagem.

5. CONCLUSÕES

- No processo TIG pulsado com alimentação automática de arame, na posição sobre-cabeça, existe uma significativa influência dos parâmetros de soldagem (velocidade de soldagem e velocidade de alimentação de arame) e parâmetros de pulso (corrente de pulso e frequência) sobre a geometria do cordão depositado. Estes efeitos precisam sempre ser investigados para que se possa avançar no estudo deste processo com alta taxa de deposição sem comprometimento da qualidade da geometria do depósito. Portanto, é possível se obter cordões de solda com geometria otimizada, mediante a correta combinação dos parâmetros controláveis do pulso;
- Os resultados obtidos sugerem a criação de um modelo matemático capaz de inter-relacionar as variáveis de mérito envolvidas no processo, em função das condições de soldagem preestabelecidas. Portanto, tem-se uma ferramenta básica e fundamental para ser usada no Controle Sinérgico do Processo;
- Normalmente, a corrente e o tempo de pico são indicados como sendo os parâmetros críticos no controle da qualidade do cordão depositado na posição sobre-cabeça [4, 5, 6]. Entretanto, outros parâmetros, como a velocidade de soldagem, exercem uma influência significativa na qualidade do cordão de solda formado;

- A automação dos processos de soldagem tem por objetivo aumentar a produtividade e assegurar a qualidade pela obtenção de maior repetibilidade da produção. Atualmente, no setor industrial brasileiro, se fala muito sobre qualidade total. Portanto, para a garantia da sobrevivência de diversas empresas, se busca o estudo da automação dos processos de soldagem para aumentar a qualidade de seus produtos e diminuir custos de fabricação. Neste aspecto, o processo TIG com alimentação automática de arame ocupa uma posição de destaque que, em breve, será reconhecida por várias empresas do setor produtivo brasileiro.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de manifestar seus sinceros agradecimentos a todo o pessoal técnico do LABSOLDA / UFSC, em especial aos engenheiros Larry Fiori Ollé, Erwin Werner Teichmann, Raul Gohr Jr. e Carlos I. Baixo pelo apoio técnico e sugestões. Agradecem também às seguintes instituições pelo suporte financeiro necessário à execução deste trabalho : PROJETO ROBOTURB / PADCT III, CNPq e MARINHA DO BRASIL.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ¹ STREET J. A., "Pulsed Arc Welding", 1ª edição, Cambridge – England, Abington Publishing, 1990, p. 6-19.
- ² LUCAS W., "TIG and Plasma Welding", 1ª edição, Cambridge – England, Abington Publishing, 1990, p. 3-25.
- ³ TUSEK J., "Wirkungsgrad des Lichtbogenschweißens", Schweissen & Schneiden, 51 (1999) Heft 7, p. 406-411.
- ⁴ GONZALEZ A. R., CASSINA J. C., MACHADO I. G., "Técnicas Fatoriais na Avaliação da Influência dos Parâmetros de Pulso sobre a Geometria do Cordão em Soldagem por Processo TIG com Corrente Pulsada", Anais do XXI ENTS, Caxias do Sul – R.S., jun. 1995, p. 851-866.
- ⁵ JORGE J. C. F., MOSCIARO H. B., COSTA J. F. M., JUNIOR V. P. C., "Estudo da Avaliação dos Parâmetros de Soldagem do Processo TIG Pulsado nas Características do Cordão de Solda", Anais do XIII ENTS, Guarujá – SP, out. 1987, p. 45-55.
- ⁶ GUIMARÃES A. S. e ALMEIDA NETO J.C. P., "Efeito dos Parâmetros de Pulso sobre a Geometria do Cordão de Solda em Soldagem de Chapa Fina de Aço Inox AISI 304, pelo Processo TIG Pulsado", Soldagem & Inspeção, ano 4 – nº 6, jun. 1998, p. 9-16.
- ⁷ BECKER D. W. and ADAMS JR. C. M., "Investigation of Pulsed GTA Welding Parameters", Welding Journal, Mai. 1978, p. 134-138.

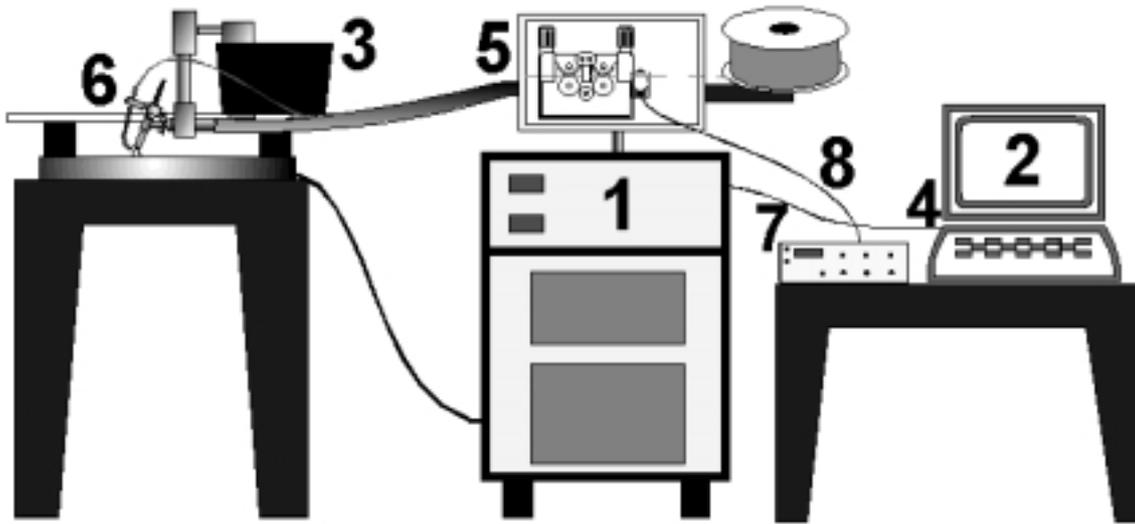


Figura 1 – Representação esquemática da bancada da ensaios.

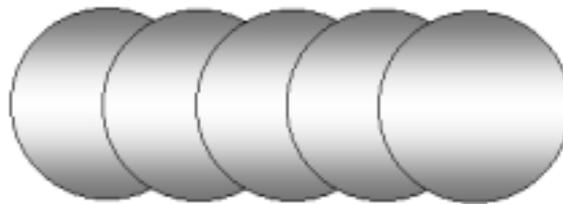


Figura 2 – Representação esquemática de cordão com freqüência de pulsação incorreta (sobreposição de 50 %).

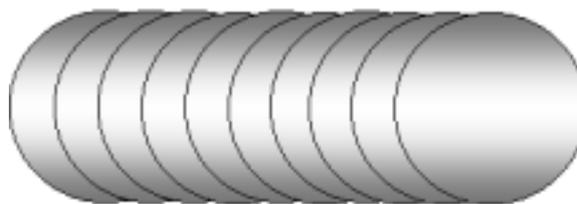


Figura 3 - Representação esquemática de cordão com freqüência de pulsação adequada (sobreposição de 80 %).

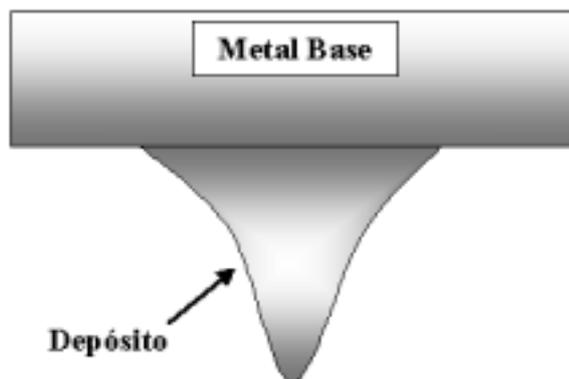


Figura 4 - Representação esquemática de depósito muito convexo, na posição sobre-cabeça.

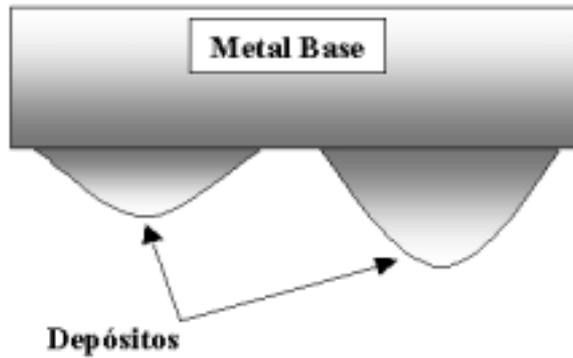


Figura 5 - Representação esquemática de depósitos com convexidade adequada

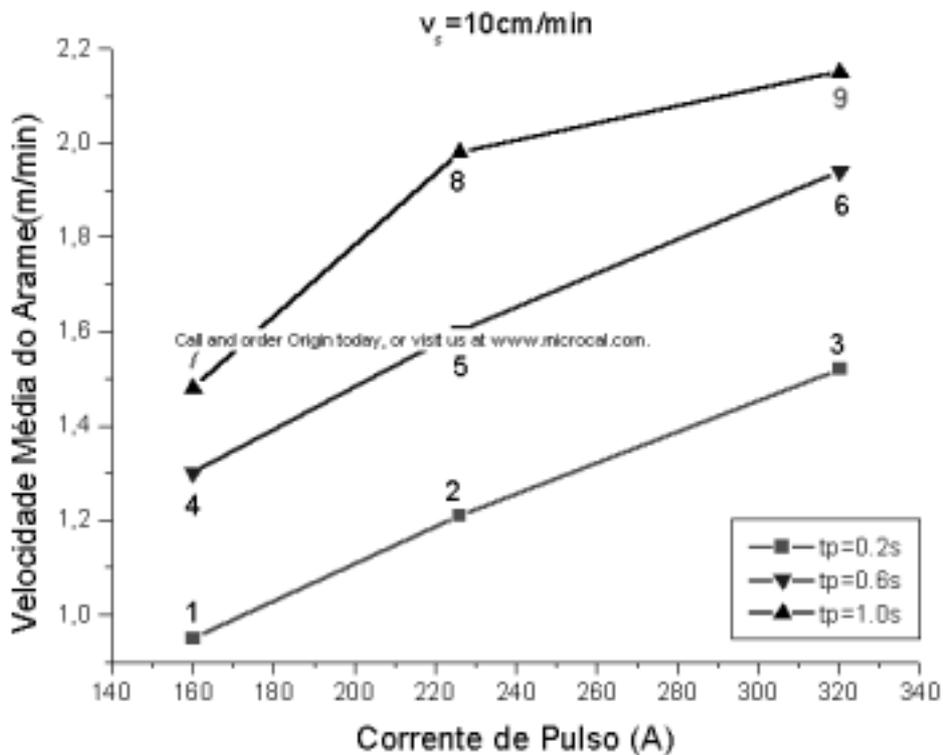


Gráfico 1 – $v_a = f(I_p; t_p)$; $v_s = 10 \text{ cm/min}$.

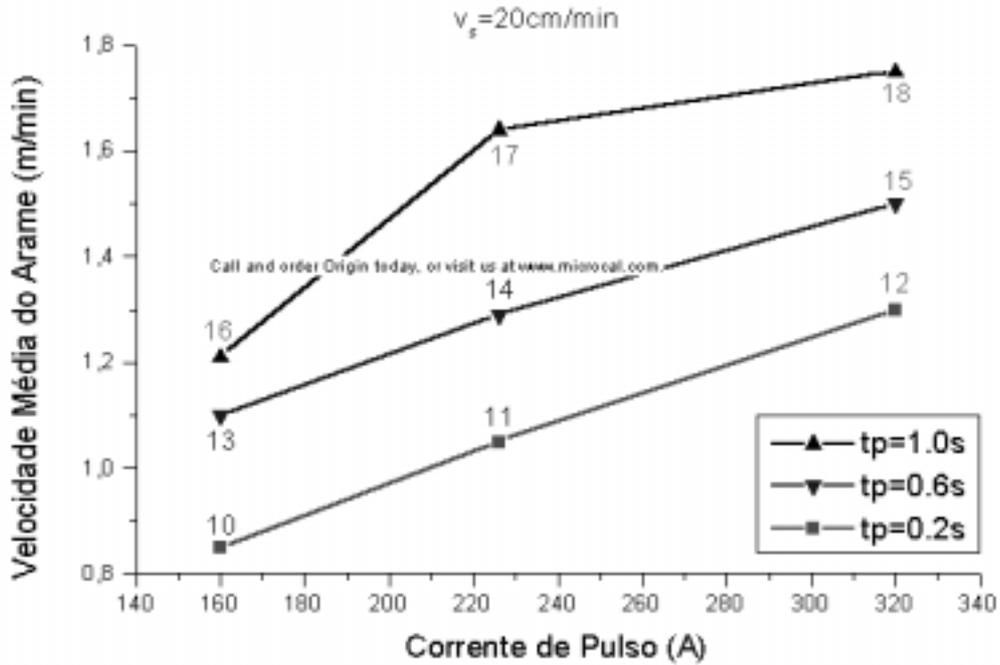


Gráfico 2 – $v_a = f(I_p; t_p)$; $v_s = 20$ cm/min.

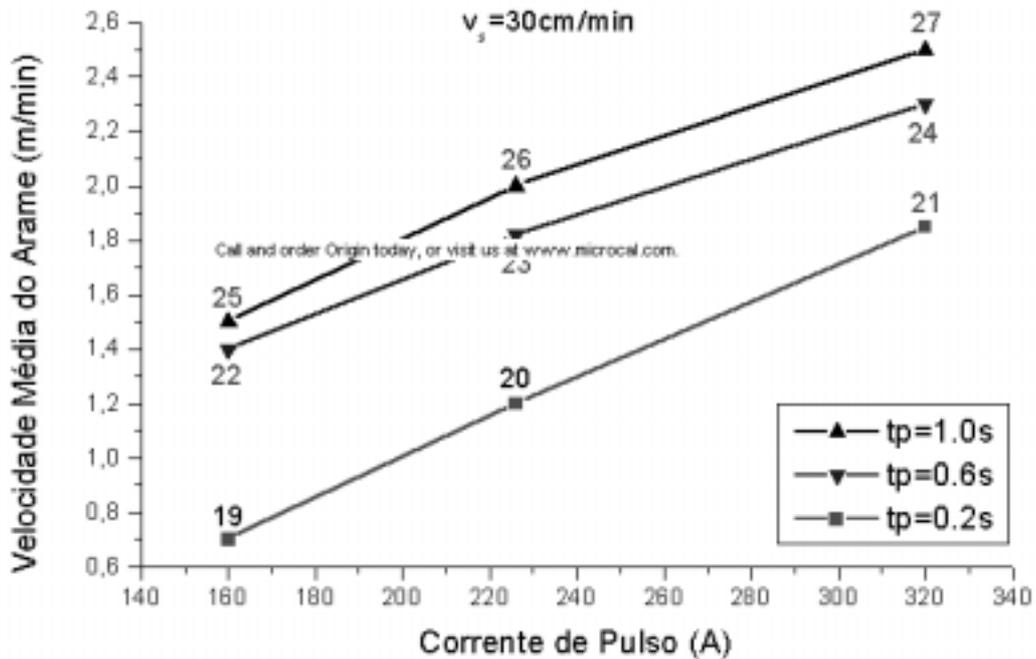


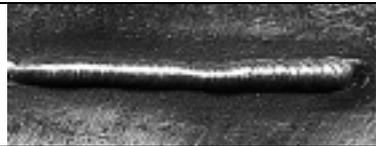
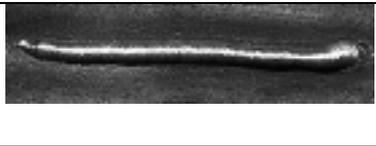
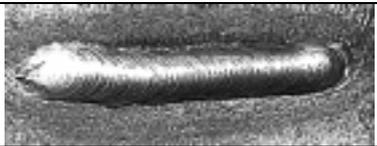
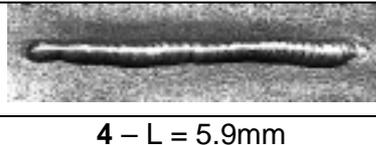
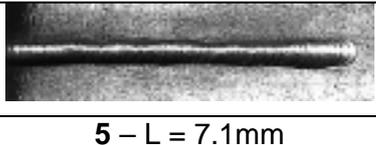
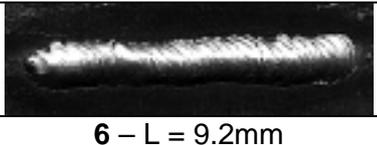
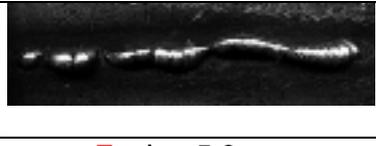
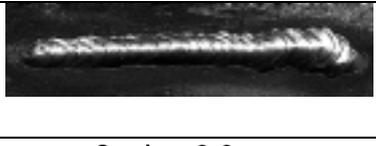
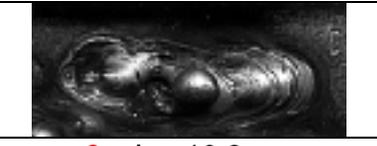
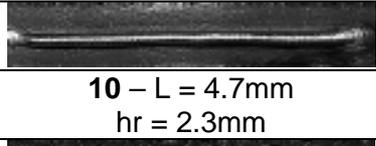
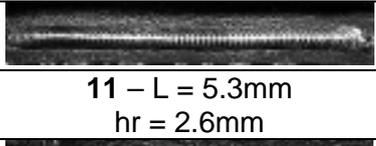
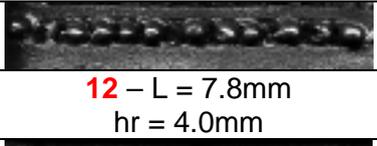
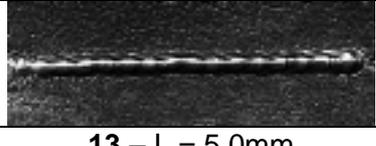
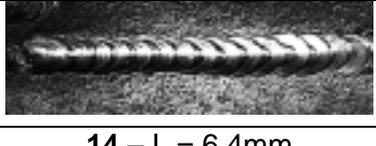
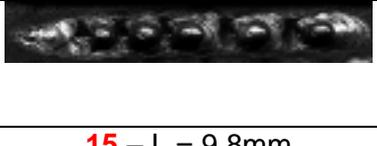
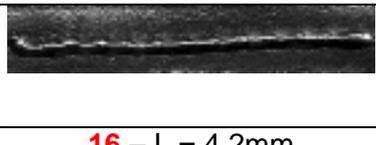
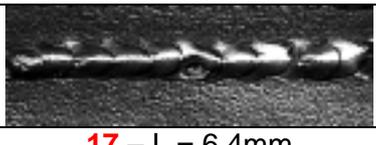
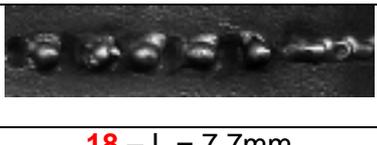
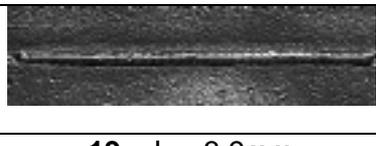
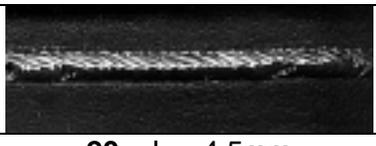
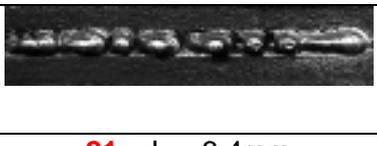
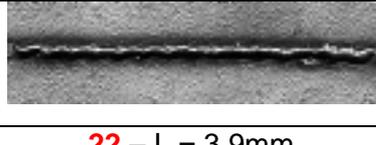
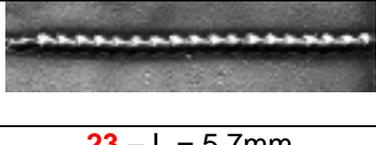
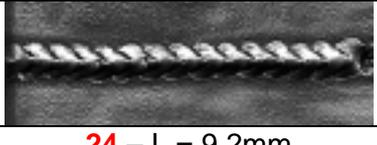
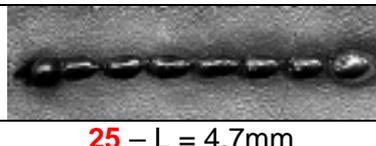
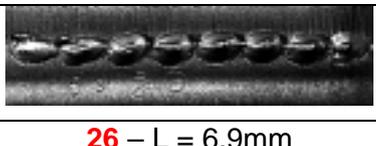
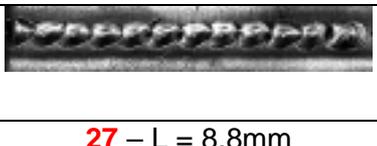
Gráfico 3 – $v_a = f(I_p; t_p)$; $v_s = 30$ cm/min.

Tabela 1 – Ensaios realizados com aplicação dos critérios preestabelecidos.

ensaio	v_s (cm/min)	t_p (s)	I_p (A)	v_a (média) (m/min)	L (mm)	h_r (mm)	h_r/L	A (mm)	S (%)
1	10	0,2	160	0,95	6,3	3,1	0,49	1,0	84,1
2	10	0,2	226	1,21	6,1	3,0	0,49	1,0	83,6
3	10	0,2	320	1,52	9,0	1,9	0,21	1,0	88,9
4	10	0,6	160	1,30	5,9	2,9	0,49	2,0	66,1
5	10	0,6	226	1,60	7,1	3,5	0,49	2,0	71,8
6	10	0,6	320	1,94	9,2	2,1	0,23	2,5	72,8
7	10	1,0	160	1,48	5,8	3,7	0,64	3,5	39,7
8	10	1,0	226	1,98	8,8	3,0	0,34	3,5	60,2
9	10	1,0	320	2,15	10,2	3,1	0,30	--	--
0	20	0,2	160	0,85	4,7	2,3	0,49	1,5	68,1
1	20	0,2	226	1,05	5,3	2,6	0,49	1,5	71,7
2	20	0,2	320	1,30	7,8	4,0	0,51	--	--
3	20	0,6	160	1,10	5,0	2,2	0,44	2,0	60,0
4	20	0,6	226	1,29	6,4	2,5	0,39	2,5	61,0
5	20	0,6	320	1,50	9,8	3,4	0,35	--	--
6	20	1,0	160	1,21	4,2	2,4	0,57	4,0	4,8
7	20	1,0	226	1,64	6,4	2,6	0,41	5,0	21,9
8	20	1,0	320	1,75	7,7	4,6	0,60	--	--
9	30	0,2	160	0,70	3,9	1,7	0,44	1,5	61,5
0	30	0,2	226	1,20	4,5	1,9	0,42	1,5	66,7
1	30	0,2	320	1,85	6,4	3,0	0,47	--	--
2	30	0,6	160	1,40	3,9	2,5	0,64	3,5	10,3
3	30	0,6	226	1,82	5,7	2,1	0,37	4,0	29,8
4	30	0,6	320	2,30	9,2	2,0	0,22	6,0	34,8
5	30	1,0	160	1,50	4,7	2,3	0,49	8,0	-70,2
6	30	1,0	226	2,00	6,9	2,0	0,29	8,0	-15,9
7	30	1,0	320	2,50	8,8	1,8	0,20	8,0	9,1

Tabela 2 - Resultados da análise de variância (ANOVA) para v_s , t_p e I_p ($\alpha = 5\%$).

Fonte	GDL	SQ	MS	Fcal	Ftab	Signif.
v_s	2	0.8981	0.4490	26.43	4.46	Signif.
t_p	2	2.0757	1.0379	61.08	4.46	Signif.
I_p	2	0.6139	0.3069	18.07	4.46	Signif.
$v_s \times t_p$	4	0.0778	0.0194	1.14	3.84	Não Signif.
$v_s \times I_p$	4	0.1381	0.0345	2.03	3.84	Não Signif.
$t_p \times I_p$	4	0.2588	0.0647	3.81	3.84	Não Signif.
Resíduo	8	0.1359	0.0170			
Total	26	4.1982				

		
1 - L = 6.3mm hr = 3.1mm	2 - L = 6.1mm hr = 3.0mm	3 - L = 9.0mm hr = 1.9mm
		
4 - L = 5.9mm hr = 2.9mm	5 - L = 7.1mm hr = 3.5mm	6 - L = 9.2mm hr = 2.1mm
		
7 - L = 5.8mm hr = 3.7mm	8 - L = 8.8mm hr = 3.0mm	9 - L = 10.2mm hr = 3.1mm
		
10 - L = 4.7mm hr = 2.3mm	11 - L = 5.3mm hr = 2.6mm	12 - L = 7.8mm hr = 4.0mm
		
13 - L = 5.0mm hr = 2.2mm	14 - L = 6.4mm hr = 2.5mm	15 - L = 9.8mm hr = 3.4mm
		
16 - L = 4.2mm hr = 2.4mm	17 - L = 6.4mm hr = 2.6mm	18 - L = 7.7mm hr = 4.6mm
		
19 - L = 3.9mm hr = 1.7mm	20 - L = 4.5mm hr = 1.9mm	21 - L = 6.4mm hr = 3.0mm
		
22 - L = 3.9mm hr = 2.5mm	23 - L = 5.7mm hr = 2.1mm	24 - L = 9.2mm hr = 2.0mm
		
25 - L = 4.7mm hr = 2.3mm	26 - L = 6.9mm hr = 2.0mm	27 - L = 8.8mm hr = 1.8mm