

**CT-23 UMA DISCUSSÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DA CORRENTE PULSADA NO PROCESSO MIG/MAG DUPLO ARAME COM POTENCIAL ISOLADO**<sup>(1)</sup> **Marcelo Ferreira Motta**<sup>(2)</sup> **Jair Carlos Dutra****RESUMO**

O processo MIG/MAG Duplo Arame com Potencial Isolado tem sido utilizado em aplicações que requerem alta taxa de fusão de material, permitindo o emprego de velocidades de soldagem também superiores. Em alguns casos, as soldagens são executadas com corrente pulsada, empregando-se a tecnologia de defasagem nos pulsos de corrente entre as duas fontes de soldagem. Esse trabalho faz uma discussão sobre a utilização da corrente pulsada em níveis mais altos de corrente média e a influência da tecnologia da defasagem dos pulsos de corrente sobre as características geométricas dos cordões de solda. Foi observado que o uso dessa defasagem tem efeito sobre a deflexão dos arcos elétricos, porém não é uma condição essencial para uma boa performance do processo. O perfil geométrico e o acabamento superficial dos cordões de solda não sofreram influência do uso dessa tecnologia nas soldagens com corrente pulsada.

**Palavras chave:** MIG/MAG; Duplo Arame; Sopro magnético; Corrente pulsada.

**ABSTRACT**

The Twin Wire GMAW process with Isolated Potential has been used in welding applications that request high deposition rates, allowing the utilization of high speeds weldings. In some cases, the welding process is executed with pulsed current and the out of phase in the current pulses technology between the two welding sources. This work makes a discussion about the use of the pulsed current in higher levels of medium current and the influence of the out of phase in the current pulses technology on the fillet shape. It was observed that the use of out of phase technology has effect on the distortion of the arcs, even so it is not an essential condition for a good performance of the process. Either superficial finish and the fillet shape didn't suffer influence of the use of that technology in the welding with pulsed current.

---

(1) M.Sc., Eng. Mecânico, Doutorando e Prof. da Universidade Federal do Ceará  
LABSOLDA – Campus Universitário – C.P. 88040-900 – Florianópolis - SC:

(2) Dr., Eng. Mecânico, Professor da Universidade Federal de Santa Catarina  
LABSOLDA - Campus Universitário – C.P. 88040-900 – Florianópolis - SC

## 1. INTRODUÇÃO

A soldagem MIG/MAG com dois arames tem sido utilizada principalmente com o objetivo de aumentar a produtividade por intermédio de uma maior taxa de fusão de material depositado, uma vez que são empregados dois eletrodos simultaneamente. Essa característica permite imprimir ao processo velocidades de deslocamento também superiores.

Casos práticos de utilização do duplo arame nessas condições de operação foram observados em artigos disponíveis na literatura<sup>(1,2)</sup>, em prospectos de fabricantes de equipamentos na internet<sup>(3,4)</sup> e em aplicações reais do processo em linhas de produção industrial (soldagem de vasos de pressão, de rodas de aço de veículos automotivos e de alumínio).

Em algumas dessas aplicações industriais, a corrente pulsada tem sido empregada para se atingir as altas taxas de fusão de material, porém, sem nenhuma preocupação com a faixa de trabalho na qual essa forma de corrente é recomendada. Cabe ressaltar que o uso da corrente pulsada apresenta como característica positiva uma transferência metálica em vôo livre, com baixo índice de salpicos e se aplica às situações de soldagem que requerem um menor aporte térmico. Por isso, o uso da corrente pulsada é recomendado em níveis de corrente média inferiores à corrente de transição, pois acima dessa, a transferência metálica passa a ser por escoamento goticular axial (spray) ou rotacional e os aspectos vantajosos da corrente pulsada não são mais verificados.

Um outro aspecto que deve ser inserido na discussão é o uso da corrente pulsada no processo MIG/MAG Duplo Arame Potencial Isolado<sup>1</sup>, empregando-se a defasagem entre os pulsos de corrente entre ambas as fontes de soldagem.

Um dos problemas anunciados na literatura decorrente da soldagem com dois arcos elétricos próximos um do outro é a interferência eletromagnética entre eles (sopromagnético). Na tentativa de amenizar o problema, alguns autores propõem a utilização de uma técnica que emprega a transferência metálica com corrente pulsada em ambas as fontes que compõem o sistema com potencial isolado<sup>(1,2,5)</sup>. Nessa técnica, as fontes são ajustadas para atuarem com corrente imposta e interligadas para permitir uma defasagem sincronizada na pulsação de corrente (figura 1). Nesse sincronismo, o início da pulsação de uma das fontes (escrava) é comandado pela outra (mestra), de tal forma que os pulsos de corrente de ambas não ocorram simultaneamente. Esse procedimento resultaria na redução do efeito eletromagnético que um arco elétrico exerce sobre o outro (sopromagnético).

Percebe-se que há um impasse envolvendo a utilização da corrente pulsada no processo MIG/MAG dois arames com potencial isolado em aplicações que requerem alta taxa de fusão de material. Se por um lado a literatura e os fabricantes de equipamentos recomendam a utilização de corrente pulsada com defasagem nos pulsos de corrente para proporcionar uma transferência metálica mais estável para o processo, por outro, os níveis de corrente média normalmente empregados são bem acima da corrente de transição para os arames eletrodos utilizados. Diante do exposto, pretende-se mostrar nesse trabalho algumas aplicações do processo nas quais são discutidas questões relativas ao uso adequado da corrente pulsada e da eficiência da técnica de defasagem dos pulsos de corrente na melhora do desempenho do processo.

---

<sup>1</sup> O processo apresenta duas variações principais: **MIG/MAG Duplo Arame Potencial Único e MIG/MAG Duplo Arame com Potencial Isolado**. Na primeira, os eletrodos são submetidos ao mesmo potencial elétrico uma vez que ambos estão em contato elétrico no bico da tocha. Na segunda, os eletrodos são isolados eletricamente e os arcos são mantidos por duas fontes de soldagem. Essa segunda configuração apresenta como vantagem a possibilidade de comandar os arcos elétricos separadamente.

## **2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

Todas as soldagens que serão descritas a seguir foram realizadas empregando-se duas fontes de soldagem multiprocesso, microprocessadas e com uma capacidade máxima de corrente de 450 A. A velocidade de alimentação do arame em cada equipamento foi monitorada através de instrumentos dotados de sensores ópticos para medir velocidades.

Para fazer a aquisição dos sinais de tensão e de corrente de ambas as fontes foi utilizada uma placa de aquisição de sinais dotada de um conversor A/D de 12 bit que permite a aquisição de dados analógicos em até 14 canais.

Uma bancada de filmagem foi usada para a visualização das transferências metálicas nos ensaios que serão discutidos no item 2.3 (Estudo dos efeitos da defasagem dos pulsos de corrente nas características geométricas dos depósitos e nas transferências metálicas). Essa bancada consistia de um sistema laser/ópticos He-Ne de 20 mW, que permitia produzir as sombras dos eletrodos e das gotas de metal fundido transferidas para a peça – técnica conhecida como shadowgrafia laser. Essas sombras projetadas foram filmadas com uma câmera de alta velocidade que permitia obter até 2000 quadros por segundo.

### **2.1 Soldagem de chapas chanfradas na posição horizontal**

Esses ensaios foram realizados com o objetivo de se verificar a aplicação do processo MIG/MAG com dois arames na soldagem de uma junta específica (figura 2). Requisitos de produtividade e de aceitação da junta foram preestabelecidos para a execução dos ensaios. Assim, em um menor tempo possível, toda a junta deveria ser preenchida em um único passe e garantir ainda uma penetração total na raiz.

Foram usadas chapas de aço carbono ABNT 1020 nas dimensões especificadas no desenho e arames eletrodos ER 70S-6 de 1,0 mm de diâmetro.

### **2.2 Soldagem de vasos de pressão**

Uma outra aplicação do processo estudada foi a soldagem da tampa de um vaso de pressão fabricado com chapas finas. Uma representação esquemática das características da junta pode ser vista na figura 3. Uma mesa rotativa foi confeccionada para permitir a fixação do vaso e das tochas do duplo arame, onde também foi adaptado um sistema copiador de perfil para permitir o seguimento da junta (figura 4).

As soldagens foram executadas com arames de 1,0 mm de diâmetro e com as fontes operando nos modos convencional e pulsado.

O critério adotado dessa vez foi a produtividade, ou seja, a execução da operação em um tempo mínimo.

### **2.3 Estudo dos efeitos da defasagem dos pulsos de corrente nas características geométricas dos depósitos e nas transferências metálicas**

O terceiro conjunto de ensaios foi executado com o objetivo de verificar o efeito da variação da defasagem nos pulsos de corrente sobre as características geométricas dos cordões de solda e na transferência metálica.

As soldagens foram feitas sobre chapas de aço ABNT 1020 na posição plana. Os corpos de prova foram cortados nas dimensões de 12 x 100 x 150 mm. Os ensaios foram conduzidos com os eletrodos posicionados “lado a lado” em relação ao sentido de deslocamento das tochas (eletrodos ER 70S-6 com 1,0 mm de diâmetro). As velocidades de soldagem foram variadas visando-se manter o mesmo volume de material depositado na unidade de tempo para cada condição testada.

Nesses ensaios foi empregado apenas o modo corrente pulsada em ambas as fontes de soldagem. Variou-se nos testes a condição defasagem de tempo nos pulsos de corrente (coluna 8 da tabela 1). Três situações distintas foram investigadas. a) Defasagem total

**Associação Brasileira de Soldagem**

(Def.), ou seja, situação ilustrada na figura 1 onde os pulsos de corrente de ambas as fontes estão integralmente defasados. B) Pulsos em fase (Fase), ou seja, os pulsos de ambas ocorrem praticamente no mesmo instante. C) Situação denominada aqui de meio pulso (MP). Nesse caso, as fontes foram programadas para que o pulso da fonte escrava se iniciasse logo após o início da pulsação da fonte mestra, porém antes que essa última finalizasse o seu tempo de pulso. A corrente média foi também analisada em três níveis (coluna 1 da tabela 1). Como resultados dos ensaios (variáveis dependentes), foram medidas a largura e altura média do reforço dos cordões. Cada condição foi repetida uma vez, totalizando 18 ensaios. Nessa etapa foram realizadas também as filmagens dos arcos elétricos.

### 3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Soldagem de chapas grossas chanfradas na posição horizontal

A primeira tentativa de soldagem da junta foi feita com as fontes operando no modo corrente pulsada e os eletrodos posicionados em “Tandem”<sup>2</sup>. Foi selecionada uma corrente média de 160 A em cada eletrodo e os comprimentos dos arcos ajustados em aproximadamente 5 mm. Foi verificado que nessas condições os arcos elétricos se desviavam para as paredes da junta causando falta de penetração na raiz. Em decorrência da necessidade de se utilizar uma velocidade de soldagem baixa (aproximadamente 15 cm/min) para se tentar preencher toda a junta em único passe, a poça metálica tornou-se excessivamente grande, o que causou excesso de mordeduras.

Três fatores foram determinantes para que se realizasse a segunda tentativa de soldagem da junta no modo convencional: 1) O valor de corrente média adotado já estava próximo à corrente de transição para o arame de 1mm. 2) No modo convencional, uma maior taxa de fusão de material poderia ser obtida, o que possibilitaria aumentar a velocidade de soldagem. 3) O acesso à raiz da junta era fundamental para se obter êxito no requisito penetração, por isso, havia a necessidade de se trabalhar com arco curto no arame dianteiro (“arco enterrado”). Condição essa que resultaria na ocorrência de curtos circuitos.

No entanto, o problema de formação de poça metálica de grandes dimensões permanecia, causando mordeduras e falta de fusão na raiz da junta. Na terceira tentativa para solucionar os problemas decidiu-se por separar os arcos elétricos de tal forma que duas poças de material fundido se formassem. O primeiro arco elétrico foi direcionado para a raiz da junta empregando-se uma corrente mais alta de soldagem (250 A) e uma tensão de 30 V, o que resultou em um arco mais curto. O segundo arco foi afastado de aproximadamente 100 mm do primeiro e operando com uma corrente menor (150A). Nessas condições conseguiu-se obter o preenchimento da junta em um único passe e a penetração total, garantida pelo arco dianteiro. A foto da figura 5 mostra uma seção transversal da junta após a soldagem.

Os resultados desses ensaios mostraram que, para se obter a penetração desejada, foi necessária a aplicação de uma alta corrente de soldagem no arame dianteiro (acima da corrente de transição). A tensão de soldagem foi reduzida para que se obtivesse um arco elétrico curto e bem direcionado para a raiz da junta, o que resultou na ocorrência de curtos circuitos (condição não desejável para as soldagens com corrente pulsada). Devido a esses aspectos, nessa aplicação específica, não se recomenda a utilização da corrente pulsada.

Ficou claro que o fator geometria da junta foi determinante na restrição a uma melhor performance do processo. A solução encontrada para esse caso (separação dos arcos) iria requerer do usuário despesas extras com adaptações nos atuais sistemas de duplo arame disponíveis no mercado, em função de não haver, na maioria deles, a flexibilidade de separação dos arcos elétricos nos dispositivos de fixação das tochas.

---

<sup>2</sup> Na configuração “Tandem” os eletrodos são posicionados um a frente do outro em relação ao sentido de deslocamento da soldagem.

Nesse caso há dúvida sobre a superioridade do duplo arame em relação ao convencional com um arame. Um estudo criterioso de custo-benefício deve ser feito considerando, inclusive, a possibilidade de realização dos ensaios em dois passes. Custos com preparações de máquinas e complexidade no ajuste de parâmetros devem ser também contabilizados.

### **3.2 Soldagem de vasos de pressão**

#### **3.2.1 Ensaios realizados com corrente pulsada**

O objetivo nesses ensaios era soldar a junta representada na figura 3 em um menor tempo possível. Os primeiros testes foram feitos com ambas as fontes operando no modo corrente pulsada e eletrodos posicionados em “tandem”. A tabela 2 mostra os parâmetros de pulso adotados. O melhor desempenho foi alcançado soldando-se com o primeiro arco mais curto (“enterrado na junta”) e o segundo com um comprimento aproximado de 5 mm. As figuras 6 e 7 apresentam os oscilogramas de corrente e tensão em função do tempo de cada arco. Observa-se no oscilograma de tensão da figura 6 (arco posicionado a frente na configuração tandem) a ocorrência de curtos circuitos. Com esses parâmetros obteve-se um tempo médio para a soldagem da peça de aproximadamente 26s com uma velocidade média de soldagem de 138 cm/min.

#### **3.2.2 Ensaios realizados no modo convencional**

No ensaio anterior verificou-se que um melhor acabamento e o preenchimento total da junta foram obtidos soldando-se com o primeiro arco mais curto (com a ocorrência de curtos circuitos) e bem direcionado para a raiz da junta. Por isso, decidiu-se por realizar a soldagem da junta também no modo convencional. Velocidades de 17 m/min (300A) e 12 m/min (260A) foram impostas aos arames (anterior e posterior respectivamente na configuração “tandem”) a uma velocidade de soldagem de 300 cm/min, resultando em uma taxa de fusão de material de 10,65 kg/h. A foto da figura 4 mostra uma das peças soldadas e a da figura 8, a seção transversal da junta. O tempo de soldagem foi de aproximadamente 12s.

De forma semelhante aos ensaios descritos no item 3.1, os resultados encontrados nessa segunda aplicação do MIG/MAG Duplo Arame com Potencial Isolado mostraram que a utilização do processo no modo convencional oferece vantagens significativas em relação ao modo pulsado, (ganho de produtividade), desde que se respeite a faixa de trabalho recomendada à corrente pulsada. Fundamentando-se nessa questão argumenta-se: faz sentido utilizar-se a corrente pulsada em aplicações com o duplo arame que requerem altas taxas de fusão de material, sabendo-se que nessas condições a eficiência esperada para esse tipo de transferência metálica não está sendo alcançada? Uma provável argumentação para justificar tal procedimento seria o uso da corrente pulsada com defasagens nos pulsos de corrente em ambas as fontes. Essa tecnologia poderia estar proporcionando uma maior estabilidade ao processo em níveis mais altos de energia.

Apesar de visualmente não se perceber diferenças significativas entre os resultados obtidos entre os dois procedimentos (soldagem com corrente pulsada e no modo convencional), decidiu-se por realizar uma bateria de ensaios com o intuito de verificar os efeitos da defasagem sobre a geometria dos cordões e a transferência metálica.

### **3.3 Estudo dos efeitos da defasagem dos pulsos de corrente nas características geométricas dos depósitos e nas transferências metálicas.**

Na tabela 3 são apresentados os valores medidos para a largura e a altura do reforço das soldas. Ao longo de um cordão foram feitas 6 medidas aleatórias empregando-se um paquímetro. Dessa forma, o valor da tabela indica a média de 12 leituras realizadas, uma

**Associação Brasileira de Soldagem**

vez que cada condição de soldagem foi repetida uma vez. Tomou-se o cuidado de desconsiderar no mínimo 15mm no início e no fim das soldas.

A tabela 4 apresenta o resultado da análise de variância. Com um nível de significância de 5%, observa-se que apenas a variável “Im” influenciou de forma significativa a largura média dos cordões de solda ( $F > F_{crit.}$ ). O gráfico da figura 9 confirma esse resultado, mostrando o efeito das variáveis analisadas sobre a largura das soldas. Uma metodologia similar foi feita para medir os efeitos das variáveis investigadas sobre a altura do reforço. A análise de variância mostrou que nem a corrente média e nem a defasagem dos pulsos de corrente têm influência significativa sobre a altura do reforço dos cordões. As variações nos valores apresentados na tabela 3 devem-se a erros aleatórios inerentes ao processo. O gráfico da figura 10 ratifica esse resultado.

As figuras 11a, 11b e 11c mostram a influência que a defasagem dos pulsos têm sobre a deflexão dos arcos e, conseqüentemente, sobre a direção de saída das gotas. Na figura 11c, arcos defasados, observa-se que as gotas saem na direção axial aos eletrodos, sofrendo poucos desvios. Na figura 11a, arcos pulsando em fase, percebe-se um pequeno desvio dessas gotas em direção ao centro do cordão. O mesmo comportamento é verificado nas gotas da figura 11b (condição de meio pulso).

A foto da figura 12 mostra três cordões de solda realizados nas condições descritas anteriormente. Pode se observar que há pouca diferença visual entre as soldas que apresentaram acabamento superficial bastante similar.

Esses resultados obtidos mostraram que, para essas situações de soldagem estudadas, o efeito do uso de defasagem dos pulsos de corrente entre ambas as fontes não influenciou de forma significativa o acabamento dos cordões de solda.

Pelas figuras 11a, 11b e 11c percebe-se que a redução das interferências eletromagnéticas entre os arcos ocorre com o uso da defasagem nos pulsos de corrente entre as fontes. Isto pôde ser verificado com as variações nas direções das trajetórias das gotas transferidas. Para a situação de pulsos ocorrendo ao mesmo instante, ou seja, em fase, essa interferência foi mais acentuada, o que resultou em uma aproximação dos arcos e conseqüentemente, das trajetórias das gotas de ambos os eletrodos. No entanto, até que ponto esse comportamento dos arcos é indesejável e prejudicial ao resultado da soldagem. Nas condições de realização desses ensaios, uma menor ou maior deflexão sofrida pelos arcos mostrou não influenciar de forma significativa a estabilidade do processo. Aparentemente a molhabilidade das peças metálicas não foi afetada pelo fator defasagem de pulsos. Essa suposição é confirmada pela análise de variância feita na tabela 4, que indicou a não influência dessa variável sobre a largura dos cordões.

Considerando-se que esses últimos ensaios foram realizados na posição plana e apenas depositando material sobre chapas, uma outra questão deve ainda ser levantada: nas condições dos primeiros ensaios - soldagem de juntas a uma alta velocidade de fusão de arames - a defasagem dos pulsos de corrente não poderia estar contribuindo para uma melhor estabilidade do processo, e assim, justificar a sua utilização?

Naqueles níveis de corrente média testados (250 A), duas análises podem ser feitas conforme o modo de operação dos sistemas de duplo arame atualmente disponíveis no mercado: a) imposições de correntes no pulso e na base b) modo misto (imposições de corrente na base e de tensão no pulso). No primeiro caso, os valores selecionados para as correntes de pulso e de base deverão ser altos. O valor de pulso deverá estar acima da corrente de transição, porém com um tempo de duração suficiente para permitir o destacamento de apenas uma gota. O valor de base terá que ser obrigatoriamente alto (porém abaixo da transição) e com um tempo de duração no mínimo igual ao de pulso, para que seja possível efetuar a defasagem. Condição essa difícil de ser ajustada para se atingir uma corrente média de 250 A pulsada em forma de onda retangular. Um cálculo simples de corrente média mostra que se a corrente de pulso é 270 A e os tempos de pulso e de base são 3,9 ms e 4 ms respectivamente, a corrente de base deverá ser de 230 A, valor acima da corrente de transição para arame de 1,0 mm (180 A)<sup>6</sup>. Com esses ajustes não se verifica mais a condição de transferência de uma única gota por pulso. A seqüência de imagens

Associação Brasileira de Soldagem

mostrada na figura 13<sup>3</sup> ilustra uma soldagem realizada com uma corrente média de 200 A empregando-se arames de 1,0 mm de espessura. Nessas condições, o valor da corrente de pulso adotada foi de 270 A e o tempo de 3,9 ms. A corrente de base foi de 150 A com duração de 5,4 ms. Percebe-se nas imagens a forte interação entre os arcos nos instantes de pulsação. O arco que está no período de base é fortemente atraído pelo arco pulsante, mostrando que o efeito desejado de redução na interação eletromagnética entre os mesmos não ocorre com a mesma eficiência, devido à alta intensidade da corrente de base (nesse caso ainda inferior à corrente de transição).

Nos sistemas que trabalham no modo misto, fazendo-se o cálculo dos parâmetros de pulso para uma forma de onda retangular, verifica-se que para atingir uma corrente média de 250 A, o valor de corrente média deverá ser acima de 430 A por um tempo mínimo de 2ms (valor encontrado na literatura para arames de 1mm de diâmetro<sup>6</sup>) e a corrente de base deverá permanecer num patamar baixo escolhido de aproximadamente 80 A (valor médio selecionado a partir de algumas aplicações práticas com o modo misto) por 2,1 ms. Dessa forma, pelos valores encontrados acima se verifica que a transferência no período de pulso está na faixa do goticular rotacional e o tempo de permanência no período de base é muito reduzido, deixando em dúvida se está havendo transferências de gotas com esse ajuste de parâmetros.

Todos esses pontos até aqui levantados colocam em dúvida a eficiência da tecnologia de defasagem nos pulsos de corrente e a utilização de corrente pulsada na soldagem com o duplo arame em aplicações que requerem altas taxas de deposição de material.

#### 4. CONCLUSÕES

- Devido às características geométricas da junta representada na figura 2, e às condições operacionais impostas aos ensaios (penetração total e enchimento da junta em passe único) não foi possível utilizar o processo MIG/MAG Duplo Arame Potencial Isolado com os arcos elétricos operando próximos um do outro e sobre a mesma peça metálica.
- Na soldagem dos vasos de pressão, uma alta taxa de fusão de material foi alcançada (10,65 kg/h) a uma velocidade de soldagem de 300 cm/min.
- Respeitando-se a faixa operacional recomendada à utilização da corrente pulsada, os resultados dos testes executados nesse trabalho mostraram que a soldagem com o duplo arame no modo convencional proporciona uma maior produtividade em relação à operação no modo pulsado, mantendo-se a mesma qualidade final da solda (redução no tempo de operação em mais de 100% na soldagem de vasos de pressão).
- Nas soldagens por simples deposição sobre chapas, empregando-se corrente pulsada em arames eletrodos para aço carbono, a variação na defasagem dos pulsos de corrente entre as fontes de soldagem não teve efeito sobre a largura, a altura média do reforço e o acabamento superficial dos cordões.
- A redução pretendida na interação eletromagnética entre os arcos foi verificada quando se aplicou a defasagem dos pulsos de corrente entre as fontes. Isso foi observado por intermédio de variações nas trajetórias das gotas. No entanto, a seqüência de imagens da figura 13 mostrou que essa redução deixa de ser significativa quando níveis mais altos de corrente média são utilizados em ambos os eletrodos.
- O uso da tecnologia de defasagem dos pulsos de corrente mostrou não ser uma condição essencial para uma melhor performance do processo em níveis mais baixo de corrente média, e menos ainda, em patamares superiores.

---

<sup>3</sup> Nessas filmagens foi retirado do sistema laser/óptico o filtro passa banda, responsável pela filtragem da luz do arco. Filtros neutros foram inseridos no sistema para permitir uma melhor visualização dos arcos e das gotas transferidas.

## 5 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à equipe LABSOLDA que colaborou com a realização desse trabalho e ao POSMEC/UFSC pelo apoio financeiro. Agradecem também à equipe de pesquisadores e técnicos do laboratório de soldagem da UFU - LAPROSOLDA, em especial aos professores Américo Scotti e Valtair Ferrarezi, sem os quais não seria possível executar as filmagens apresentadas nesse trabalho.

## 6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1 MICHIE, K. (1999) et al, Twin Wire GMAW: Process Characteristics and Applications, Welding Journal, nº 5: May 1999, p. 31 a 34.
- 2 HACKL, H. (1997). Faster with Two Wire Electrodes Metal Inert Gas Welding of Aluminium Materials, Proceedings, Exploiting Advances in Arc Welding Technology.
- 3 CLOOS. Products Ver em: <http://www.cloos.de/uk/produkte/tandem/index.html>  
Acessado em: 27 de maio de 2001.
- 4 FRONIUS. Welding Processes. Disponível em:  
<[http://www.fronius.com/welding.technology/focus.welding/weldprocesses\\_timetwin.htm](http://www.fronius.com/welding.technology/focus.welding/weldprocesses_timetwin.htm).  
Acessado em 27 de maio de 2001.
- 5 LASSALINE, B. (1989). et al, Narrow Groove Twin-Wire MIG/MAG of High-Strength Steel, Welding Journal, nº 9: September, 1989, p. 53-58.
- 6 NORRISH, J. (1992) Gas metal arc welding. In: Advanced Welding Process. IOP Publishing, Bristol, Philadelphia and New York, 1992. pp. 131-173.

**Tabela 1 –** Parâmetros de corrente pulsada empregados nos ensaios defasagem dos arcos.

Im (A) /arame	Va (m/min) /arame	Ip (A)	Tp (ms)	Ib (A)	tb (A)	Vs (cm/min)	Td (ms)		
							Fase	Def.	M.P
80	3,3	270	3,9	35	16,4	32	0,01	10,2	2,0
120	5,3	270	3,9	58	9,4	50	0,01	6,7	2,0
160	7,3	270	3,9	85	5,7	69	0,01	4,8	2,0

**OBS:** Im – Corrente média de soldagem; Va – velocidade de arame; Ip – corrente de pulso; tp – tempo de pulso; Ib – tempo de base; Vs – velocidade de soldagem e TD – tempo de defasagem.

**Tabela 2 –** Parâmetros de pulsação de corrente utilizados na soldagem dos vasos de pressão.

Im/ar (A)	Va1(m/min)	Va2(m/min)	Ip (A)	tp (ms)	Ib (A)	tb (ms)	Df (ms)
160	7,3	6,9	240	4,1	106	6,1	5,1

**Tabela 3 -** Valores medidos de largura e reforço médio dos cordões

Im / ar (A)	Fase		Meio Pulso		Defasado	
	Larg. (mm)	Ref. (mm)	Larg. (mm)	Ref. (mm)	Larg. (mm)	Ref. (mm)
80	10,6 ± 0,44	2,19 ± 0,19	11,40 ± 0,43	2,12 ± 0,11	11,53 ± 0,64	2,13 ± 0,16
120	12,6 ± 0,31	2,22 ± 0,11	11,94 ± 0,46	2,16 ± 0,12	12,10 ± 0,26	2,26 ± 0,16
160	13,06 ± 0,26	2,25 ± 0,16	12,88 ± 0,34	2,10 ± 0,13	13,04 ± 0,41	2,10 ± 0,18

**Tabela 4 -** Análise de variância sobre os valores medidos de largura dos cordões. Nível de significância de 5%.

Fonte da variação	F calculado	F crítico	Valor P
Corrente média	64,31923	4,256492	< 0,001 *
Defasagem	0,512529	4,256492	0,615461
Interações	4,717211	3,63309	0,025013

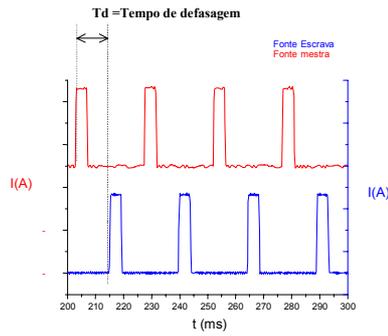


Fig.1 – Defasagem de tempo entre os pulsos de corrente.

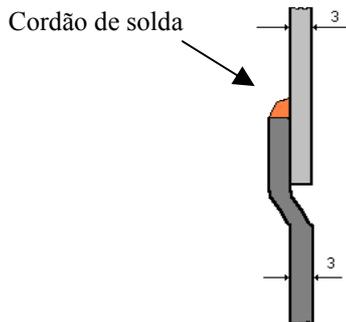


Fig.3 – Representação da junta dos vasos de pressão.

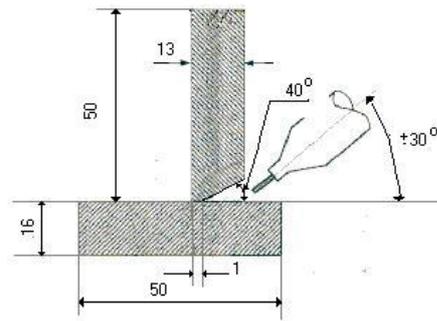
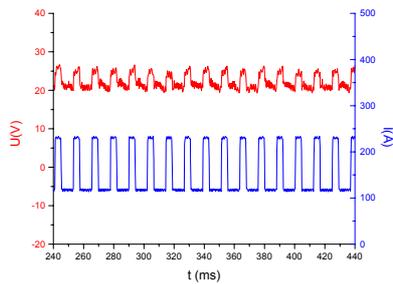


Fig.2 - Representação esquemática da junta.

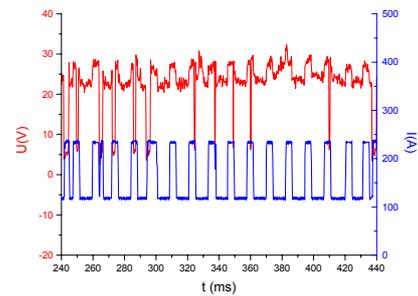
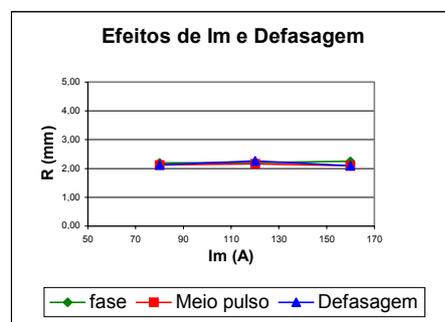
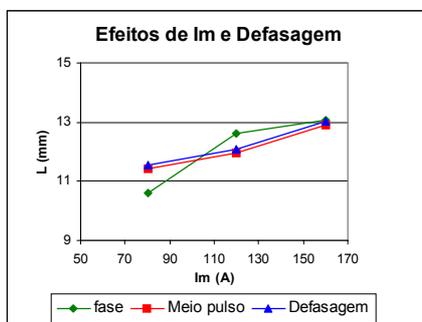
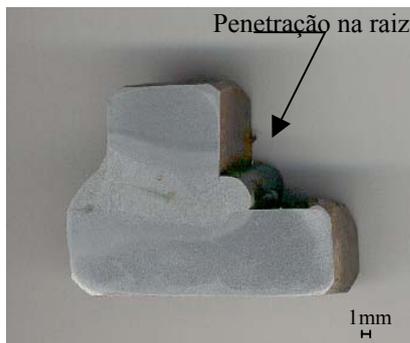


Fig. 4 - Foto do vaso de pressão soldado.



Associação Brasileira de Soldagem

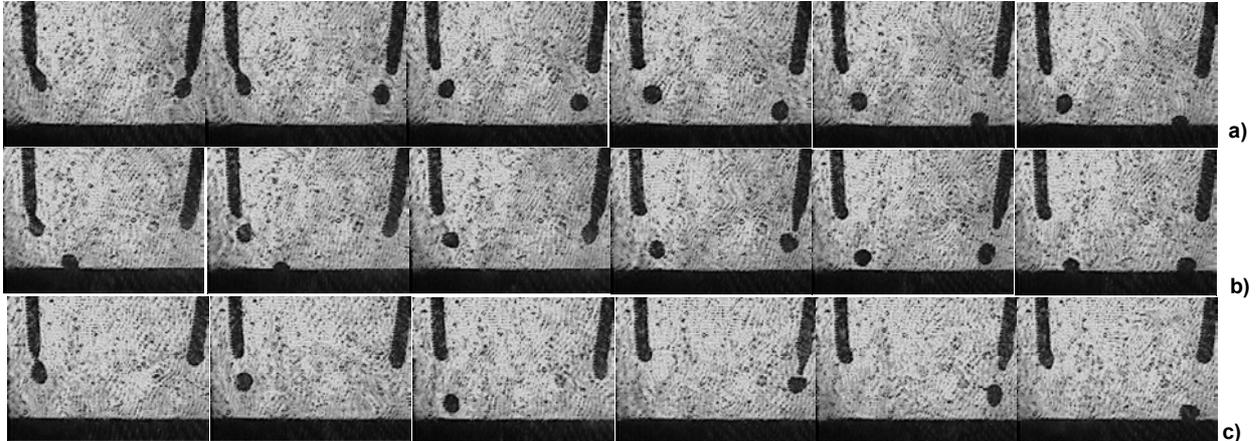
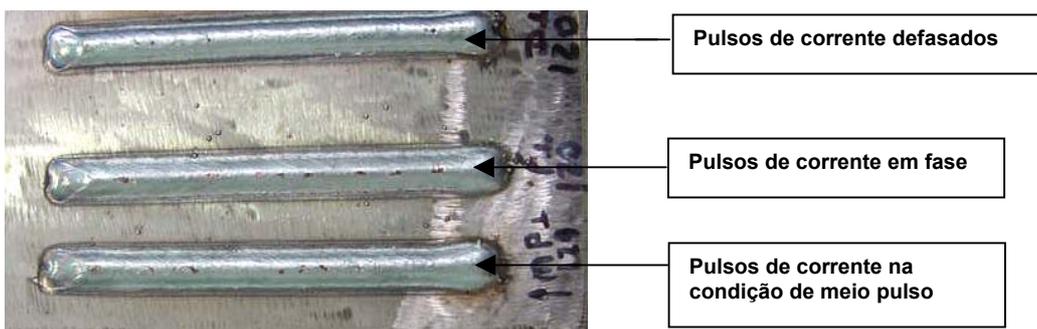
**Fig.5** - Seção transversal de um dos corpos de prova.

**Fig.6** -Oscilogramas de tensão e corrente do primeiro arco.

**Fig.7** –Oscilogramas de tensão e corrente do segundo arco.

**Fig.8** - Seção da junta soldada de um vaso de pressão.

**Fig.9** – Efeitos de “Im” e defasagem de pulsos de corrente sobre a largura dos cordões

**Fig.10** - Efeitos de “Im” e defasagem de pulsos de corrente sobre a altura do reforço dos cordões.

**Fig.11** – Imagens das trajetórias das gotas metálicas transferidas. Diâmetro dos eletrodos de 1 mm. a) Pulsos de corrente ocorrendo em fase. b) Condição de meio pulso. c) Condição de defasagem total entre os pulsos.

**Fig.12** – Soldagens realizadas variando-se a defasagem dos pulsos de corrente para uma corrente média de 120 A.

Associação Brasileira de Soldagem

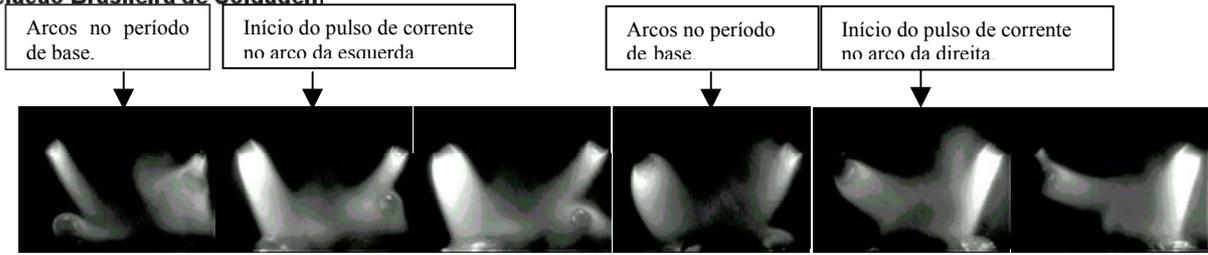


Fig 13. – Imagens das deflexões dos arcos.  $I_m = 200A$ ;  $I_p = 270 A$ ;  $t_p = 3,9 ms$ ;  $I_b = 150 A$  e  $t_b = 5,4 ms$ .