

**CT-44 PROCESSO PLASMA-MIG – CONTRIBUIÇÃO DO ARCO PLASMA  
NA CAPACIDADE DE FUSÃO DO ARAME****(PLASMA-MIG PROCESS – PLASMA ARC CONTRIBUTION ON WIRE  
FUSION CAPACITY)**

Tiago Vieira da Cunha<sup>1</sup>  
Jair Carlos Dutra<sup>1</sup>  
Régis Henrique Gonçalves e Silva<sup>1</sup>  
Raul Gohr Junior<sup>1</sup>

**RESUMO**

O processo Plasma-MIG devido as suas características de controlabilidade e produtividade, conferindo a este um forte potencial, vem sendo cada vez mais estudado, visando possíveis aplicações na indústria. Este pode ser considerado como a união do processo Plasma com o processo MIG atuando simultaneamente numa mesma tocha de soldagem. No processo Plasma-MIG o arame MIG é fundido pela ação de um arco híbrido formado pela interação entre os arcos Plasma e MIG. Desta forma, a relação proposta entre a velocidade de avanço do arame MIG e as correntes do processo é estabelecida por meio de uma relação matemática, onde a velocidade de avanço do arame é dependente de duas variáveis – corrente Plasma e corrente MIG. Em situações onde somente o arco MIG participa da fusão do arame, esta relação continua sendo obedecida. Entretanto, não é conhecido se estas relações permanecem válidas para o caso onde somente o arco Plasma atua como fonte calorífica na fusão do arame. Este trabalho tem por objetivo conhecer a capacidade de fusão do arame MIG somente pela ação do arco Plasma. Para tanto ensaios foram realizados onde somente o arco Plasma atuou como fonte de calor na fusão do arame MIG. Foram analisadas as condições da transferência metálica e a estabilidade da soldagem nessas condições, além de confrontado os resultados obtidos nos ensaios com os resultados esperados teoricamente.

**Palavras-chave:** Soldagem; Estabilidade, Processo Híbrido.

**ABSTRACT**

Due to its controllability and productivity characteristic, the promising Plasma/MIG Welding process has been being studied in a continuously increasing rate in a seek for industrial applications that can benefit from it. This process can be conceived as the union of the Plasma and MIG welding processes, acting simultaneously in the same welding torch. Hereby, the MIG wire is molten by the hybrid arc resulting from the interaction of both Plasma and MIG arcs. In this way, the proposed relationship between wire feed speed and the process currents is established by means of a mathematical relation, where the wire speed is dependent on two variables: Plasma current and MIG current. In situations where only the MIG arc melts the wire, this relation is still valid. However, such behavior is not yet determined when only the Plasma arc is active. This work aims at generating knowledge on the wire melting capacity only by this heat source. For this, tests were made where only the Plasma arc was responsible for the wire melting. Metal transfer conditions and stability were analysed. Tests results and theoretically expected results were confronted.

**Key-words:** Welding; Control, Hybrid arc.

---

<sup>1</sup>UFSC, EMC/LABSOLDA, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil  
tiago@labsolda.ufsc.br, jdutra@labsolda.ufsc.br, regis@labsolda.ufsc.br, rgj@labsolda.ufsc.br

## 1. Introdução

O processo de soldagem Plasma-MIG foi desenvolvido na década de 70. Em função de apresentar certa independência entre o aporte de material fornecido pelo processo MIG e a potência adicional fornecida pelo arco Plasma, este processo apresentou vantagens na soldagem de chapas espessas, principalmente de alumínio. Entretanto, sua aplicação não ocupou um lugar significativo entre os processos de soldagem mais utilizados pela indústria, possivelmente devido a sua complexibilidade para a época.

Nos últimos anos, com a crescente demanda da indústria em processos de soldagem capazes de realizar operações cada vez mais especializadas e de alto rendimento e produtividade, o processo Plasma-MIG ressurgiu como uma atraente alternativa. Este processo agrega características únicas como a capacidade de preaquecimento sem a deposição de material, inexistência de defeitos de soldagem, além de maiores velocidades de soldagem, possibilitando uma maior produtividade.

No processo Plasma-MIG o arco Plasma é estabelecido entre o eletrodo Plasma e a peça de trabalho – figura 1. O eletrodo Plasma possui uma geometria circular, isto faz com que o arco Plasma apresente uma geometria cônica. O arco MIG é estabelecido entre o arame MIG e a peça de trabalho, estando este localizado concentricamente ao arco Plasma. Em sua essência o processo Plasma-MIG é o processo Plasma atuando simultaneamente com o processo MIG, numa mesma tocha de soldagem. Sendo assim é utilizado um gás para o arco Plasma, outro para o arco MIG e um terceiro gás denominado gás de proteção que envolve os dois arcos e é conduzido pelo bocal de gás, além de um circuito de refrigeração para o eletrodo Plasma, eletrodo MIG e bocal constritor.

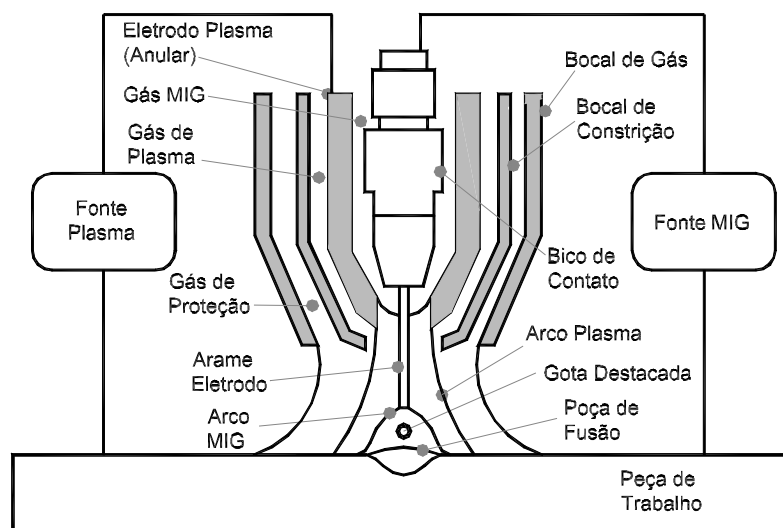


Fig. 1 – Processo Plasma-MIG [1]

Tendo em vista que o processo de soldagem Plasma-MIG é composto pelo processo MIG, este também pode operar com controle de tensão ou controle de corrente no circuito MIG.

O processo MIG, quando operando com controle de tensão, permite um auto-ajuste da taxa de fusão do arame, pelo que se conhece como controle interno. Neste, a corrente de soldagem, assume valores de modo a igualar a tensão do arco voltaico à tensão previamente regulada no equipamento. Desta forma, no instante em que a velocidade de avanço do arame aumenta, o valor da corrente também aumenta fazendo com que a taxa de fusão do arame aumente e conseqüentemente fazendo com que o arco voltaico volte a sua condição inicial.

No processo MIG com controle de corrente, o controle interno é inexistente, assim é preciso conhecer de antemão a relação entre a taxa de fusão do arame e a velocidade de alimentação do mesmo. Dentre as várias relações estabelecidas para as variáveis do processo MIG pulsado, está a relação proposta por Dutra[3] e Smati[4], esta relaciona a velocidade de avanço de arame com a corrente média por meio de uma constante específica para cada arame – equação 1.

$$V_a = K * I_m$$

(1)

Oliveira[2] afirma que no processo Plasma-MIG, em altas velocidades, a utilização do controle de tensão no circuito MIG causa instabilidade na transferência metálica, assim como flutuações no comprimento do arco híbrido devido a oscilações do valor da corrente. Uma alternativa se constitui na utilização do controle de corrente. Porém, como visto anteriormente, quando é utilizado o controle de corrente no MIG, se torna necessário conhecer a relação entre a taxa de fusão de arame e sua velocidade de alimentação. Uma vez que no processo Plasma-MIG o arco Plasma também contribui para com a fusão do arame, a velocidade de alimentação do mesmo é uma função de duas variáveis – equação 2.

$$V_a = f(I_{mig}, I_{plasma})$$

(2)

Oliveira[2], propõe relações entre a velocidade de avanço de arame e correntes MIG e Plasma, para arames de alumínio 1,2mm (ER-4043) – equação 3, e aço carbono 1,2mm (ER70S-6) - equação 4.

$$V_a = 0,053 * I_{mig} + 0,017 * I_{plasma} + 0,91$$

(3)

$$V_a = 0,0618 * I_{mig} + (-0,00011321 * I_{mig} + 0,027792) * I_{plasma} - 3,1865$$

(4)

Com o intuito de conhecer mais profundamente os princípios físicos do processo Plasma-MIG, se torna objetivo deste trabalho verificar se estas relações (3) e (4) continuam válidas, do ponto de vista da capacidade de fusão do arame eletrodo, para o caso em que somente atua o arco Plasma, já que a literatura referente a este processo com controle de corrente no circuito MIG é escassa.

## 2. Materiais e Métodos

Os ensaios foram conduzidos na bancada Plasma-MIG do LABSOLDA. Esta é composta por uma fonte de soldagem microcontrolada –DIGITEC 450 responsável pelo arco MIG, uma fonte de soldagem multi-processo INVERSAL 450 responsável pelo arco Plasma. Dois computadores, um responsável pelo controle das fontes de soldagem e outro pela aquisição dos valores de correntes e tensões do processo. Ambos os computadores são equipados com uma placa de aquisição e controle de dados - INTERDATA. Um robô de seis graus de liberdade - UP6 e uma tocha de soldagem Plasma-MIG – figura 2.



Fig. 2 – Tocha de soldagem Plasma-MIG

Com o intuito de verificar a capacidade de fusão do arame eletrodo somente pela ação do arco Plasma, foram calculadas, primeiramente, as velocidades de avanço de arame esperadas para diferentes valores de corrente Plasma (tomando-se corrente MIG igual a zero) por meio das equações (3) e (4). Foi verificado que para o arame de alumínio a equação 3 forneceu valores de velocidade de avanço de arame condizentes com a prática, diferentemente da equação 4 que, para o arame de aço carbono, forneceu valores de velocidade de avanço de arame negativos.

Na seqüência, ensaios foram realizados com os parâmetros da tabela 1, utilizando arame de alumínio de 1,2 mm de diâmetro (ER-4043), distância entre o bico de contato e a peça de 26 mm, Argônio como gás de proteção (15 l/min), gás de Plasma (5 l/min), gás MIG (5 l/min) e diâmetro do eletrodo Plasma igual a 9 mm.

Para o arame de aço carbono de 1,2mm de diâmetro (ER70S-6), ensaios foram realizados utilizando-se as mesmas configurações utilizadas para o arame de alumínio. Entretanto, diferentemente do alumínio, não foram utilizados os parâmetros fornecidos pela tabela 1, pois os valores fornecidos pela equação quatro não se mostram condizentes, uma vez que a mesma forneceu valores negativos de velocidade de avanço de arame.

Tendo isto em vista, partiu-se para a determinação das velocidades de avanço do arame, de aço carbono, correspondentes para cada valor de corrente Plasma descrito na tabela 1.

### 3. Resultados e Discussão

Nos ensaios conduzidos com o arame de alumínio, verificou-se que para todas as situações previstas pela tabela 1, o eletrodo apresentou um comprimento aproximado de 15mm, sendo a formação e o destacamento das gotas metálicas ocorridas ainda dentro do bocal constrictor. Entretanto, foi verificado que as gotas metálicas, destacando-se em vôo livre somente pela ação do fluxo de gás e pela força da gravidade, apresentaram uma transferência regular, como mostra a figura 3.

Foi constatado que a tensão no arame é dependente do comprimento do mesmo, ou seja, quanto maior a distância entre o arame e a peça maior é a tensão do mesmo. Isto explica o comportamento da tensão no arame.

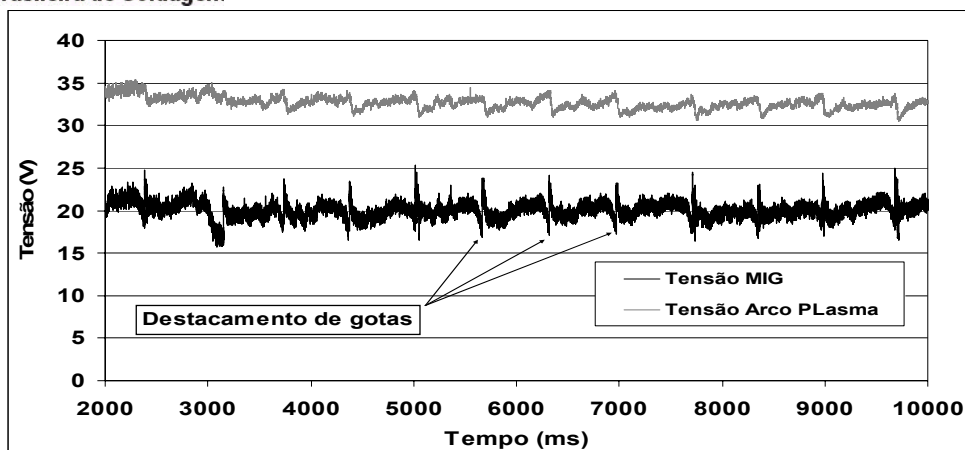
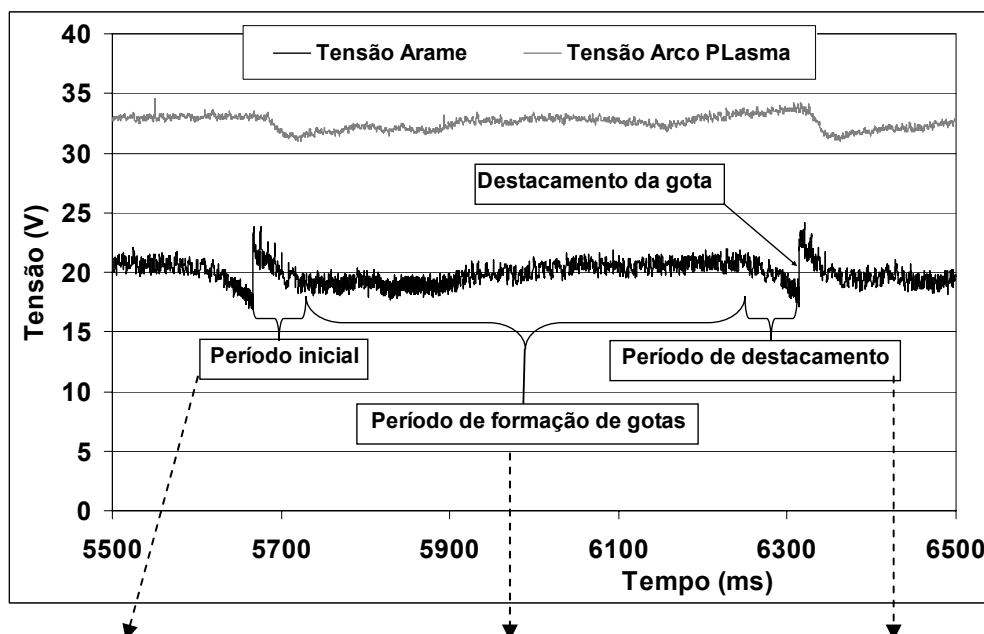


Fig. 3 - Oscilograma da tensão do arame eletrodo e do arco Plasma

Supõe-se que no período de formação de gotas (figura 4), a taxa de alimentação de arame e a taxa de fusão do mesmo se anulam. Assim, a formação da gota metálica se dá praticamente a uma distância constante em relação a peça de trabalho. Durante este período a tensão no arame é um reflexo da tensão do arco Plasma. Na medida em que a gota metálica cresce demasiadamente, a distância entre o arame e a peça de trabalho diminui, até que haja o destacamento da mesma – período de destacamento. Todavia, devido a esta aproximação, a tensão no arame cai relativamente. Após o destacamento da gota, o comprimento do arame diminui subitamente, conseqüentemente a distância entre o mesmo e a peça aumenta, acarretando no aumento da tensão sobre o arame – período inicial. Com o avanço do arame esta tensão decresce até que o mesmo atinja a região mais quente do arco, onde as taxas de fusão e alimentação do arame se igualam e o mesmo entre novamente no período de formação de gotas.



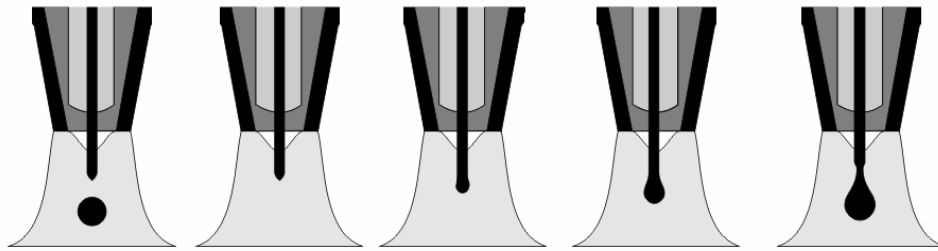


Fig. 4 – Períodos da formação e destacamento das gotas metálicas

Analisando o comportamento da tensão do arco Plasma, através dos oscilogramas de tensão das figuras 3 e 4, pode-se perceber que a mesma sofre influências devido ao destacamento das gotas metálicas. Presume-se que a presença da gota metálica dentro da coluna de arco Plasma deve diminuir a resistência elétrica do mesmo, tendo em vista que a queda de tensão num metal líquido (gota metálica) é sensivelmente menor comparada com a queda de tensão para o mesmo volume de gás ionizado.

Incrementos na velocidade de avanço do arame foram experimentadas na tentativa de aumentar o comprimento do arame eletrodo. Contudo, em situações onde o arame não se encontra alinhado concentricamente ao eletrodo Plasma, torna-se praticamente impossível estabelecer uma situação de estabilidade, dado ao fato do arame dirigir-se para a periferia do arco Plasma, perdendo assim sua capacidade de fusão e conseqüentemente extinguindo o arco devido ao toque na peça de trabalho.

Já em condições favoráveis, onde o arame encontra-se alinhado concentricamente ao eletrodo Plasma, constatou-se que o mesmo também apresenta um comportamento instável. Neste caso o problema é ocasionado pelas características de condução térmica e ductilidade do alumínio. Quando o comprimento do eletrodo de alumínio se torna consideravelmente maior, este se torna extremamente maleável devido ao seu aquecimento provocado pela coluna de arco Plasma. Nestas condições o arame eletrodo apresenta um aspecto incandescente, semelhante a um filamento. Desta forma, o arame eletrodo não permanece mais concêntrico ao arco Plasma, mas num movimento desordenado. Desta forma a taxa de fusão do arame eletrodo torna-se inconstante, causando oscilações no seu comprimento e conseqüentemente instabilidades do processo – fig. 5.

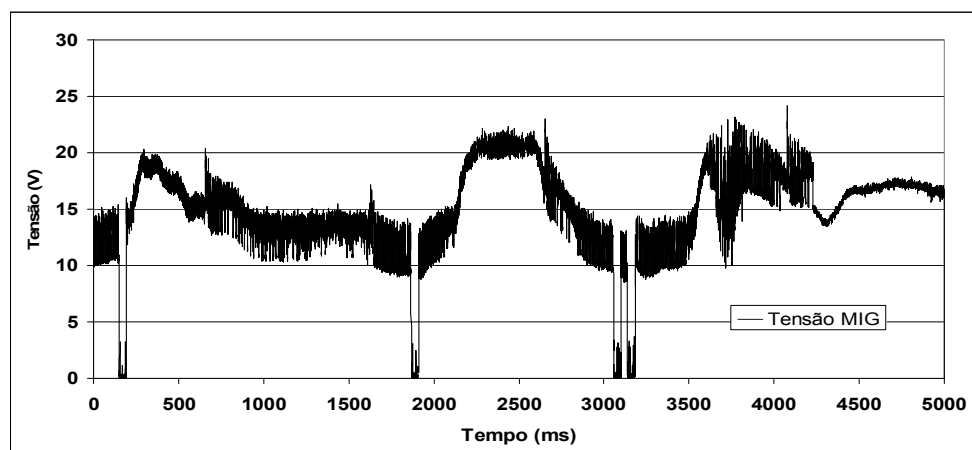


Fig. 5 – Oscilograma de tensão no arame

Presume-se que o mesmo não ocorre no processo Plasma-MIG, devido ao fato de o arco MIG, por apresentar uma atmosfera ionizada, se constituir num “caminho” mais fácil para o arco Plasma. Desta forma, mesmo em situações onde o arame MIG não se encontra concentricamente alinhado ao eletrodo Plasma, a coluna de arco Plasma assume uma geometria curva de modo a acompanhar o arco MIG e formando assim o arco híbrido.

Nos ensaios com arame de aço carbono (ER70S-6), os mesmos problemas de alinhamento ocorridos com o arame de alumínio também se fizeram presentes. Contudo, uma vez solucionado este problema, conseguiu-se, para todos os valores de corrente Plasma da tabela 1, um comprimento do arame eletrodo de aproximadamente 23 mm. O critério para a determinação do comprimento do eletrodo foi o comprimento do mesmo no período de formação das gotas. O arame de aço carbono, diferentemente do arame de alumínio, não apresentou instabilidades causadas pelo aquecimento do eletrodo por exposição ao arco Plasma.

A figura 6 mostra as velocidades de avanço de arame obtidas para cada corrente valor de corrente Plasma.

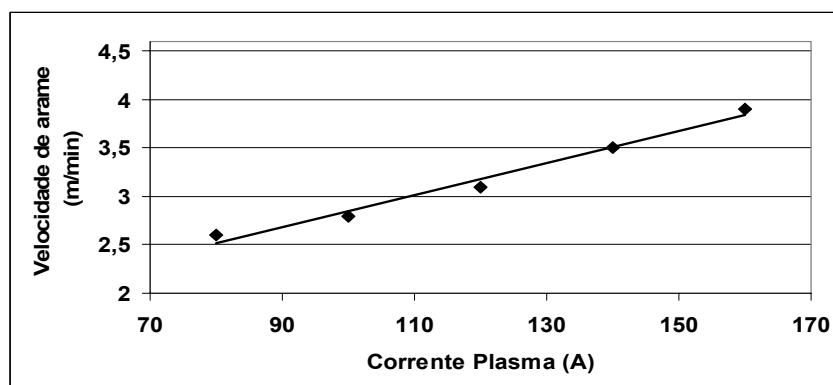


Fig. 6 – Velocidade de avanço de arame X corrente Plasma. Arame de aço carbono (ER70S-6), Ø 1,2mm

Fazendo-se a regressão linear dos pontos, obtém-se a equação 5, que relaciona a velocidade de avanço do arame e a corrente Plasma.

$$V_a = 0,0165 * I_{Plasma} + 1,2$$

(5)

Uma análise qualitativa mostrou que a transferência metálica para o arame de aço carbono ocorreu de forma regular, mesmo estando o arame eletrodo com um comprimento de 23 mm. A figura 3 mostra os oscilogramas de tensão no arame MIG, onde é possível observar o destacamento das gotas. Nota-se que para este comprimento de eletrodo, a gota metálica atinge a peça antes de destacar-se, ocorrendo num breve intervalo de tempo o curto circuito entre o arame e a peça de trabalho. Estes curtos circuitos apresentaram uma duração média de vinte milissegundos, não sendo tempo suficiente para que ocorra extinção do arco Plasma.

A figura 7 mostra que na medida em que o valor da corrente Plasma aumenta a frequência de destacamento das gotas aumentam. Como já era de se esperar, isto ocorre em função do tamanho de gota ser constante, em decorrência da tensão superficial do arame e a força da gravidade, principais forças envolvidas no destacamento das gotas metálicas, permanecerem constantes durante todo o processo. Assim, a frequência de destacamento aumenta com a corrente em virtude da gota metálica atingir o seu tamanho de destacamento num menor espaço de tempo, devido ao maior aporte de calor fornecido pelo arco Plasma.

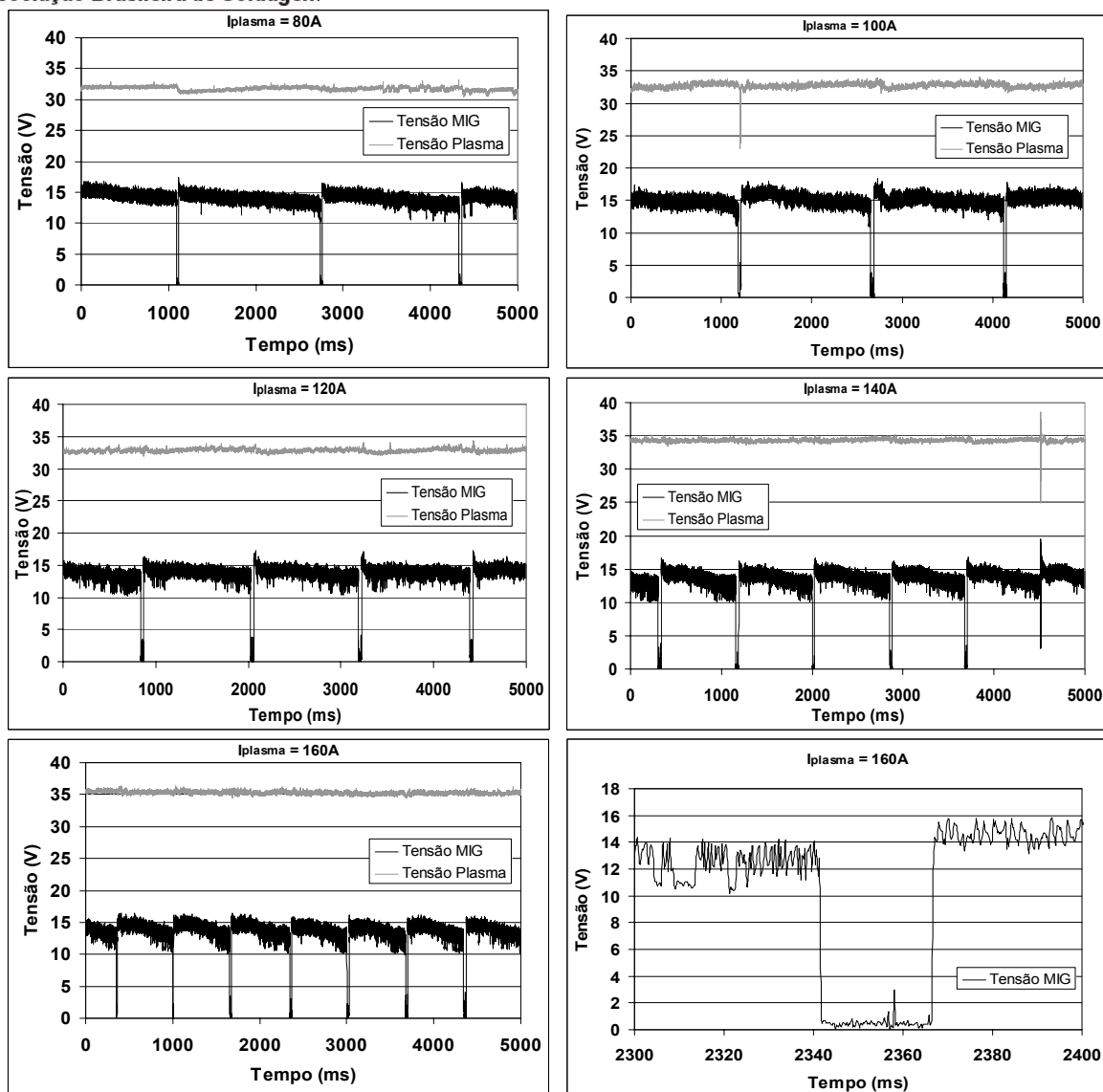


Fig. 7 – Oscilogramas das tensões no arame MIG

## 4 . Conclusões

Diante dos resultados obtidos, pode-se afirmar que o arco Plasma atuando exclusivamente na tocha de soldagem do processo híbrido Plasma-MIG, possui capacidade de fusão suficiente para fundir o arame MIG de alumínio e de aço carbono. Contudo, para o arame de alumínio não foi possível atingir uma condição de estabilidade do processo onde haja uma transferência metálica regular com um comprimento do arame eletrodo adequado, pois na medida em que o comprimento do arame eletrodo aumenta, o mesmo, em virtude de suas próprias características, se mostra de forma extremamente instável.

No caso do arame de aço carbono, conseguiu-se uma transferência metálica regular com o comprimento do arame eletrodo adequado. Contudo, isto só foi possível depois de solucionado os problemas de alinhamento concêntrico do arame eletrodo ao eletrodo anular Plasma.

Supõe-se que estes problemas de alinhamento do arame não ocorram no processo Plasma-MIG uma vez que o arco híbrido formado logo abaixo da extremidade do arame eletrodo, atue como um “caminho” mais fácil para o arco Plasma.



A relação entre a velocidade de avanço de arame e as correntes Plasma e MIG proposta por Oliveira para o arame de aço carbono não permaneceu válida para o caso onde somente o arco Plasma atuou como fonte de calor na fusão do arame. Já para o arame de alumínio, a relação proposta forneceu um comprimento de eletrodo muito pequeno, tornando inadequado para a estabilidade do processo. Em ambos casos é coerente admitir que estas relações não sejam válidas, uma vez que todas as condições de fusão do arame mudam drasticamente.

No desenvolver deste trabalho, percebeu-se que os principais fatores responsáveis pelo destacamento da gota metálica são inerentes ao processo, uma vez que não se pode atuar na força da gravidade e na tensão superficial do arame. Sendo assim, constatou-se, para o arame de aço carbono, que a frequência de destacamento das gotas metálicas varia conforme a corrente do arco Plasma.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem a toda equipe do LABSOLDA.

## 6. Referências Bibliográficas

- [1] Essers, W. G; Willems, G. A. M; Buelens, J. J. C; van Gompel, M. R. M. **Plasma-MIG welding – a new torch and arc starting method**. Metal Construction, january 1981, p. 36 – 42..
- [2] Oliveira, M. A. **Progressos no desenvolvimento do processo híbrido Plasma-MIG para operações de soldagem e brasagem**. Tese de Doutorado. UFSC, Janeiro de 2006.
- [3] Dutra, J. C. **Procedimento computadorizado de determinação, seleção e controle de variáveis na soldagem MIG/MAG**. Tese de Doutorado. Pós-graduação em engenharia mecânica – UFSC. Agosto de 1989.
- [4] Smati, Z. **Automatic pulsed MIG welding**. Metal Construction, Jan. 1986, p 38R – 44R.