

# Prospecção de Novas Tecnologias nos Processos de Soldagem e Corte

## (Prospection of New Technologies in Processes of Welding and Cutting)

Richard Thomas Lermen<sup>1</sup>, Ivan Guerra Machado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, PPGEM/LS&TC, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, richard.lermen@ufrgs.br, welder@ufrgs.br

### Resumo

O presente trabalho tem como objetivo a construção e estudo de um dispositivo eletromagnético com a finalidade de produzir soldagem e corte de materiais. Esse dispositivo conhecido como “Magnetoplasmadynamic Thruster – MPDT”, é capaz de ionizar um gás, formando um fluxo de plasma com temperaturas elevadas. Primeiramente, foi construído e estudado o funcionamento do dispositivo através do relacionamento das medidas, para diferentes configurações (posição do catodo em relação ao anodo), das grandezas físicas tais como diferença de potencial elétrico (d.d.p.) entre os eletrodos; intensidade de corrente elétrica; fluxo de gás na câmara e comprimento do feixe de plasma. Então, o mesmo foi testado para corte e soldagem.

**Palavras-chave:** Soldagem; Corte; Magnetoplasmadinâmico; Plasma.

**Abstract:** The present work has as objective the construction and study of an electromagnetic device to weld and cut materials. This device, known as Magnetoplasmadynamic Thruster - MPDT, is capable to ionize a gas, forming a plasma flow with high temperatures. First, it was constructed and studied the operation of the device through its dimensions, for different configurations (position of the cathode in relation to anode), and physical factors such as electric potential difference between the electrodes; electric current intensity; gas flow in the chamber and length of the plasma beam. Then, it was tested for welding and cutting.

**Key-words:** Welding; Cutting; Magnetoplasmadynamic; Plasma.

### 1. Introdução

A prospecção de novas tecnologias em processos de soldagem e corte é uma das linhas de pesquisa do Laboratório de Soldagem & Técnicas Conexas – LS&TC da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. O desenvolvimento do Propulsor Magnetoplasmadinâmico (MPDT), dispositivo estudado e utilizado como motor eletromagnético para propulsão de foguetes e espaçonaves pela NASA e outras instituições, pode ser uma inovação tecnológica se aplicado em processos de soldagem e corte. Esse dispositivo caracteriza-se por uma geometria coaxial constituída por um catodo central e um anodo cilíndrico em forma de câmara, os quais são isolados eletricamente. Um gás é injetado através de orifícios gerando um fluxo na câmara, onde é ionizado através da passagem pela descarga elétrica difusa, entre os eletrodos, gerada por uma fonte de energia com alta frequência [1]. Através desse plasma (gás ionizado)

surge uma densidade de corrente radial, a qual atravessa o gás em direção ao catodo. Esta corrente no catodo gera um campo magnético radial, o qual interage com a densidade de corrente criando uma força, denominada “força de Lorentz”, a qual acelera as partículas e é também responsável pela exaustão do gás para o exterior da câmara [1-3].

A força de propulsão possui uma componente eletromagnética, a qual é dominante entre os dois tipos de mecanismos de propulsão para este dispositivo. Pode ser demonstrado que a mesma varia quadraticamente com a corrente elétrica total, através da integração da força  $F = j \times B$  ( $j$  é o vetor densidade de corrente elétrica e  $B$  é o vetor campo magnético) sobre o volume ocupado pela corrente elétrica na câmara ou geralmente em termos do tensor de tensão de Maxwell. Esta contribuição pode ser expressa pela Equação 1.

$$F_E = \frac{\mu I^2}{4\pi} \left( \ln \frac{r_a}{r_c} + C \right) \equiv A_E I^2 \quad (1)$$

(Recebido em 09/03/2006; Texto Final em 23/06/2006).

Artigo baseado em versão apresentada no XXXI CONSOLDA, São Paulo, 29 de Novembro a 1 de Dezembro 2005.

onde  $C$  é uma constante da ordem de 0,1, a qual depende da distribuição de corrente na extremidade do catodo,  $\mu$  é a permeabilidade magnética do meio,  $r_a$  é o raio do anodo,  $r_c$  é o raio do catodo e  $I$  é a corrente elétrica [4].

A componente eletrotérmica, a qual é predominante nos propulsores eletrotérmicos (“arcjet”, tochas de plasma e outros), depende do tipo de gás, do fluxo de gás e da corrente elétrica, sendo que para o argônio pode ser descrita pela Equação 2.

$$F_T = 0,098(\dot{m})^{0,3} I^{1,5} \quad (2)$$

onde  $\dot{m}$  é a taxa do fluxo de massa de gás injetada na câmara do dispositivo (em g/s) e  $I$  é a corrente elétrica (em kA) [4].

Como a contribuição eletrotérmica para este dispositivo é menor que 10% da propulsão total, o impulso específico do mesmo pode ser, aproximadamente, descrito pela Equação 3.

$$T = \frac{F}{\dot{m}g} \approx A_E \frac{I^2}{\dot{m}g} \quad (3)$$

onde  $g$  é a intensidade do campo gravitacional.

Um alto impulso pode ser observado quando a razão  $F/\dot{m}$  é aumentada [4]. O esquema do propulsor magnetoplasmadinâmico com a representação das linhas de densidade de corrente é mostrado na Figura 1.

Através desse dispositivo foi analisado seu funcionamento e depois testado sua aplicação em soldagem e corte buscando atingir o objetivo deste trabalho.

## 2. Materiais e Métodos

Para a construção e estudo do dispositivo eletromagnético, o propulsor magnetoplasmadinâmico (MPDT), voltado à aplicação em processos de soldagem e corte, em princípio deve-se conhecer as características dos materiais utilizados na composição do mesmo e no restante do sistema experimental tais como: anodo, catodo, isolantes, fonte de energia, gás e outros. Além disso, deve-se escolher uma metodologia apropriada para a utilização do equipamento em testes de funcionamento e em processos de soldagem e corte.

Um esquema do dispositivo MPDT é mostrado na Figura 2. Esse dispositivo possui um anodo cilíndrico com diâmetro externo de 25,4 mm e diâmetro interno de 5 mm, refrigerado a água, e um catodo sólido centralizado AWS E WTh – 2, com 2,4 mm de diâmetro e 150 mm de comprimento. Os eletrodos foram fixados através do corpo de uma tocha TIG (Figura 3) que também é refrigerada a água. O corpo da tocha TIG foi conectado em uma fonte de potência, do tipo corrente constante, a qual possui regulagens de alta frequência, de pré-fluxo e pós-fluxo. O gás (argônio) foi injetado na câmara, através de um difusor (corpo fixador – tocha TIG), com diferentes vazões (5 litros/min, 10 litros/min e 14 litros/min). Os testes com o dispositivo foram feitos com variações da intensidade de corrente elétrica no intervalo de 95 A – 230 A; baixas diferenças de potenciais entre os eletrodos ( $U_{\text{Entrada}}$  – 8 V à 18 V) foram medidas. As coletas dos dados experimentais foram realizadas através de um shunt (60 mV à 400 A); um divisor de tensão; um multímetro e uma máquina fotográfica, com dois filtros número três (AWS) fixados em frente a lente.

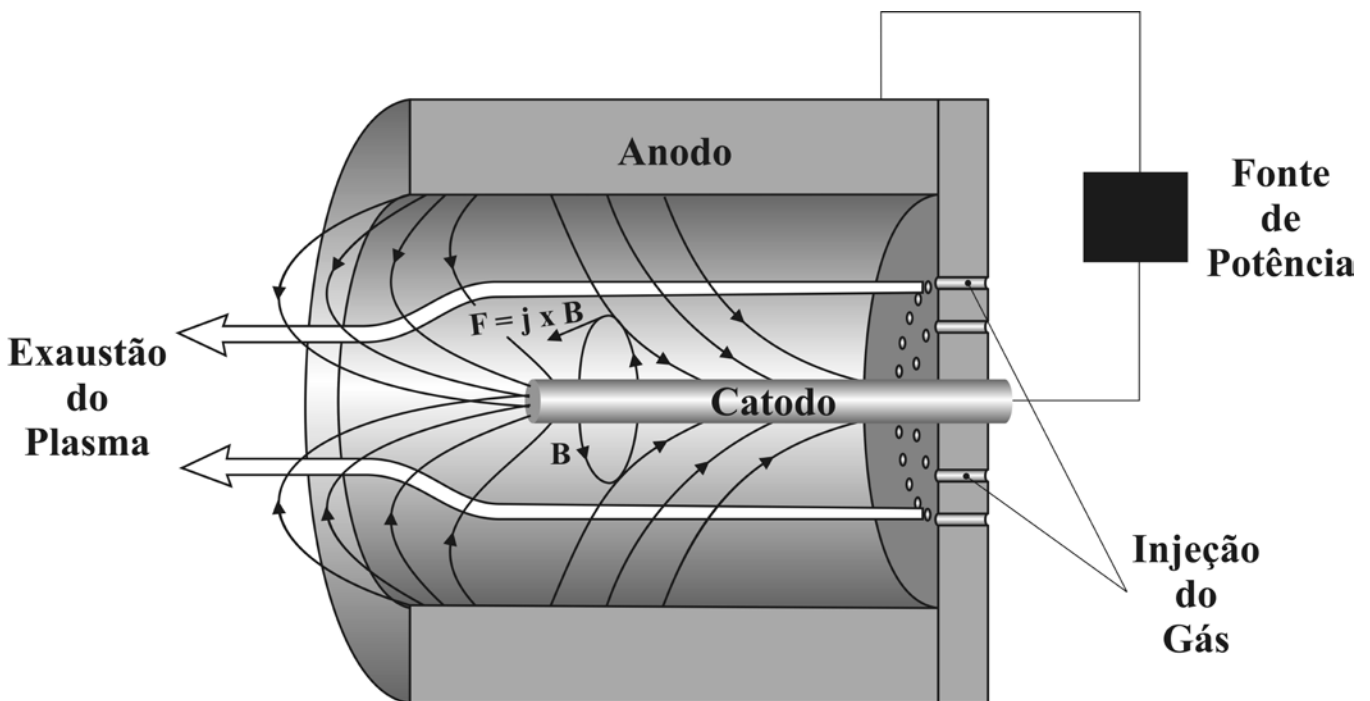


Figura 1. Representação esquemática de um propulsor magnetoplasmadinâmico (MPDT).

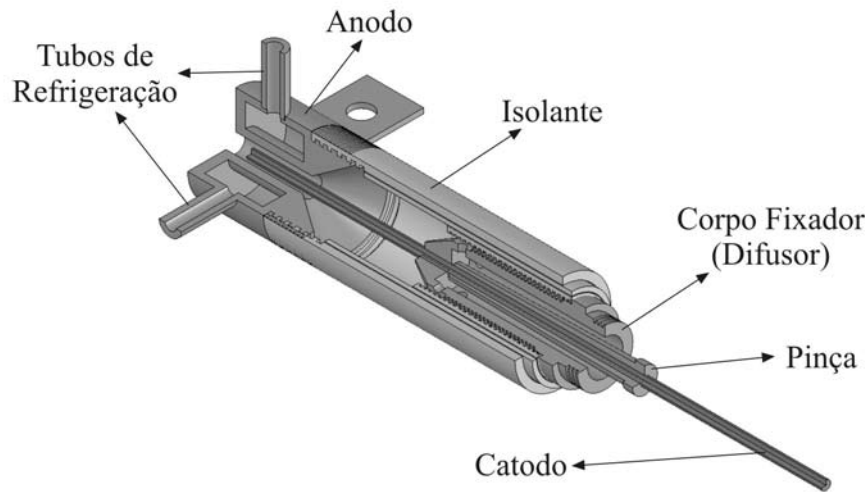


Figura 2. Desenho esquemático do dispositivo MPDT construído no LS&TC.

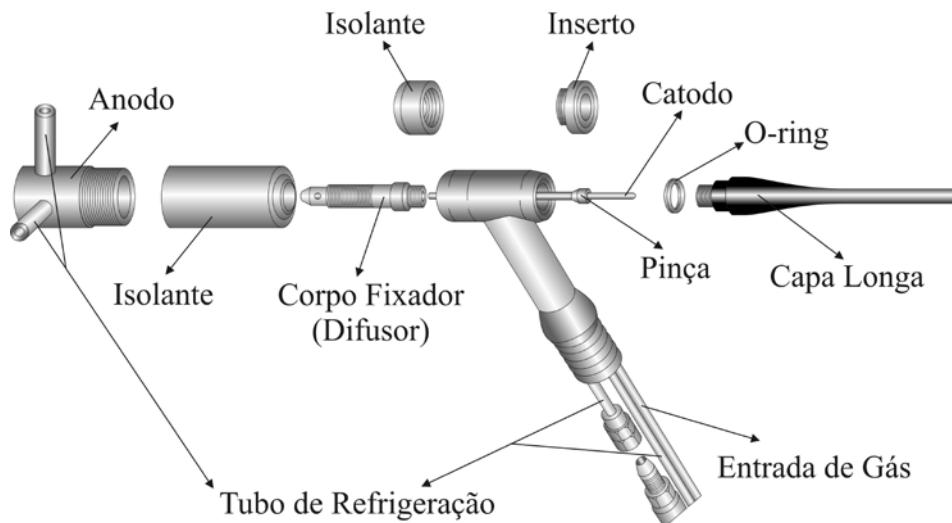


Figura 3. MPDT fixado no corpo de uma tocha TIG.

Os testes de soldagem e corte foram realizados através de um dispositivo de deslocamento, onde o MPDT e as chapas foram fixados. As chapas utilizadas foram de aço inoxidável (AISI 430 e AISI 304). As chapas constituídas do aço AISI 430 tinham dimensões de 130x130x0,7 e 84x130x0,7 mm, já as chapas de aço AISI 304 tinham dimensões de 61x166x1 mm.

Os testes de funcionamento do dispositivo foram realizados através de dois experimentos. As configurações na fonte foram iguais para os dois (alta-freqüência, pré-fluxo, pós-fluxo) e corrente contínua. As diferenças entre os experimentos estão na posição do catodo em relação ao anodo.

No primeiro experimento a distância do catodo em rela-

ção ao anodo é mostrada através da Figura 4, onde os valores de X e Y são, respectivamente, 15 mm e 5 mm. Ao acionar o dispositivo esperava-se a estabilização do feixe de plasma, o que ocorre em segundos. Feito isso, em seguida foram realizadas medidas de diferença de potencial no shunt e no divisor de tensão; também foram registradas as imagens do feixe de plasma expulso para o exterior da câmara através de uma máquina fotográfica com dois filtros número três (AWS) adaptados. A determinação e cálculos das dimensões das imagens foram realizados através de um software e uma relação de triângulos respectivamente. Esses procedimentos de coleta dos dados experimentais foram realizados para valores diferentes de intensidade de corrente elétrica e vazões do gás.

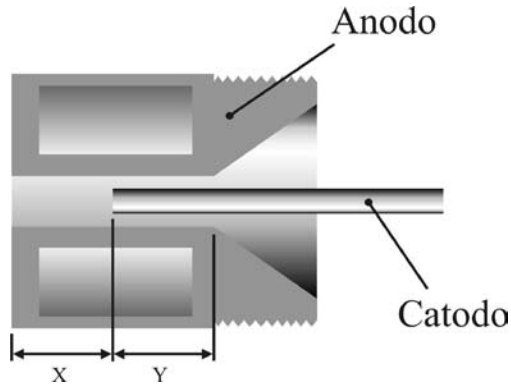


Figura 4. Esquema relacionando as distâncias entre o catodo e o anodo.

Os mesmos procedimentos foram aplicados para o segundo experimento, onde a diferença em relação a distância entre o catodo e o anodo também é esquematizada na Figura 4, porém os valores de X e Y são ambos iguais a 10 mm.

Vários testes foram realizados em soldagem e corte com o dispositivo, variando-se as seguintes grandezas: intensidades de corrente, vazões do gás, velocidades de soldagem e corte e distância entre o bocal chapa. Isso tudo, devido à procura da melhor performance do dispositivo. Portanto, após estes testes, para que o dispositivo propicie soldagem e corte, foram empregados os seguintes fatores: intensidade de corrente elétrica acima de 200 A, posição relativa entre os eletrodos (catodo e anodo) do segundo experimento, vazão do gás para o processo de soldagem menor ou igual a 5 litros/min e maior ou igual a 5 litros/min para os processos de corte. As velocidades de soldagem empregadas foram de 4,3, 5,7 e 7,2 mm/s.

### 3. Resultados e Discussões

Este trabalho conduz à dois tipos de resultados, um de acordo com o funcionamento do dispositivo (MPDT) e outro com a aplicação do mesmo em processos de soldagem e corte.



Figura 5. Imagens dos feixes de plasma para o primeiro experimento. A imagem “14” corresponde ao feixe de plasma formado com intensidade de corrente de 226,7 A, d.d.p. de 11,5 V, vazão do gás de 5 l/min e comprimento real do feixe de, aproximadamente, 12,5 mm; a imagem “15” corresponde ao feixe de plasma formado com intensidade de corrente de 213,3 A, d.d.p. de 14,6 V, vazão do gás de 10 l/min e comprimento real do feixe de, aproximadamente, 14,4 mm; a imagem “16” corresponde ao feixe de plasma formado com intensidade de corrente de 210,0 A, d.d.p. de 14,6 V, vazão do gás de 14 l/min e comprimento real do feixe de, aproximadamente, 13,0 mm.

### 3.1. Funcionamento do MPDT

Para ambos experimentos foram calculados os comprimentos reais do plasma expulso para o exterior da câmara, a diferença de potencial ( $U_{\text{Entrada}}$  – entre anodo e catodo) e a intensidade de corrente elétrica entre os eletrodos. Os dados foram analisados através de gráficos e imagens. A Figura 5 mostra algumas imagens do feixe em forma de cone gerado pelo dispositivo para a configuração do primeiro experimento. A Figura 6 mostra a diferença de potencial (d.d.p.) entre os eletrodos em função da intensidade de corrente elétrica para três vazões de gás (5 l/min, 10 l/min e 14 l/min), onde a d.d.p. se mantém, praticamente, constante para cada vazão de gás e, também, ocorre aumento da d.d.p. com o aumento da vazão para as mesmas correntes. Na Figura 7 encontra-se o comprimento real do feixe expulso para o exterior da câmara em função da intensidade de corrente elétrica. Nesse caso ocorreu um pico de mínimo valor do comprimento do feixe para um intervalo de corrente de 160 A à 180 A, isso para as três vazões de gás.

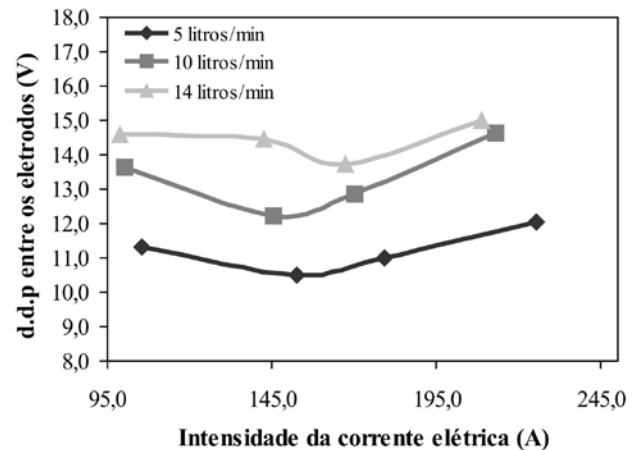


Figura 6. Diferença de potencial em função da intensidade de corrente elétrica para diferentes vazões do gás.

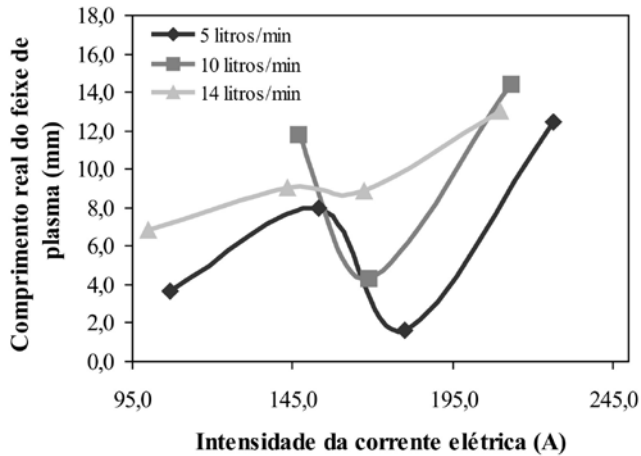


Figura 7. Comprimento do feixe de plasma expulso para o exterior da câmara em função da intensidade de corrente elétrica para diferentes vazões do gás.

A Figura 8 mostra algumas imagens do feixe em forma de cone gerado pelo dispositivo para a configuração do segundo experimento. Para este experimento, a Figura 9 indica um pequeno aumento da d.d.p. para um intervalo de corrente de 90 A à 150 A; após esse valor a d.d.p. se mantém, praticamente, constante, com exceção do teste em que se usa a vazão de 14 l/min, onde a d.d.p. continuou aumentando com a intensidade de corrente. Relacionando-se a d.d.p. em função da corrente elétrica, para as três vazões de gás, o comportamento é semelhante ao do primeiro experimento, ou seja, a d.d.p. aumenta com o aumento da vazão. A Figura 10 ilustra o comprimento real do feixe expulso para o exterior da câmara em função da intensidade de corrente; o resultado é contrário ao primeiro experimento, pois constatou-se um máximo valor de comprimento do feixe para um intervalo de corrente elétrica de 150 A à 180 A.



Figura 8. Imagens dos feixes de plasma para o segundo experimento. A imagem “10” corresponde ao feixe de plasma formado com intensidade de corrente de 206,7 A, d.d.p. de 17,7 V, vazão do gás de 14 l/min e comprimento real do feixe de, aproximadamente, 16,7 mm; a imagem “11” corresponde ao feixe de plasma formado com intensidade de corrente de 218,0 A, d.d.p. de 13,0 V, vazão do gás de 10 l/min e comprimento real do feixe de, aproximadamente, 8,9 mm; a imagem “12” corresponde ao feixe de plasma formado com intensidade de corrente de 221,3 A, d.d.p. de 11,7 V, vazão do gás de 5 l/min e comprimento real do feixe de, aproximadamente, 5,0 mm.

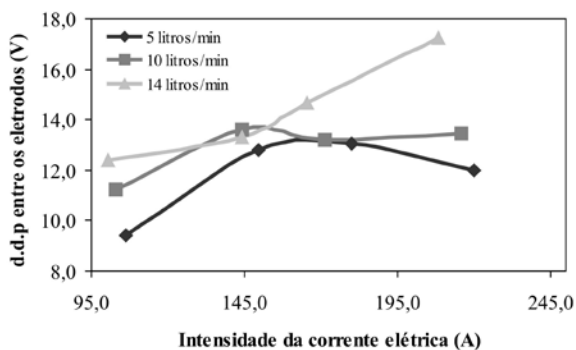


Figura 9. Diferença de potencial em função da intensidade de corrente elétrica para diferentes vazões do gás.

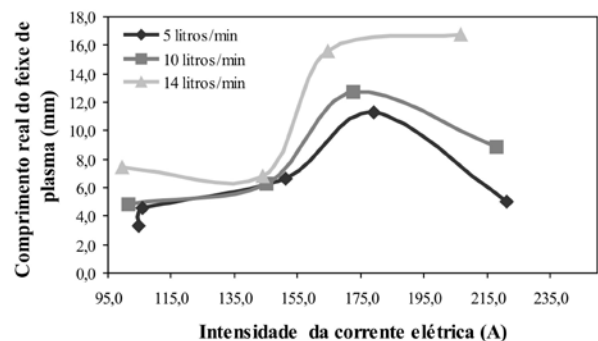


Figura 10. Comprimento do feixe de plasma expulso para o exterior da câmara em função da intensidade de corrente elétrica para diferentes vazões do gás.

### 3.2. Aplicação em Processos de Soldagem e Corte

Os dados experimentais coletados e calculados como: intensidade de corrente, diferença de potencial entre os eletrodos velocidades de soldagem e corte, e outros são apresentados na Tabela 1.

Para os testes onde ocorreram soldagens (2, 5, 6 e 7), em todos obteve-se penetração total. A Figura 11 e a Figura 12 mostram os resultados obtidos, respectivamente, para o teste 2 e 7.

Os testes 1, 3 e 4 apresentam a aplicação do dispositivo para corte dos materiais. Os resultados são mostrados na Figura 13.

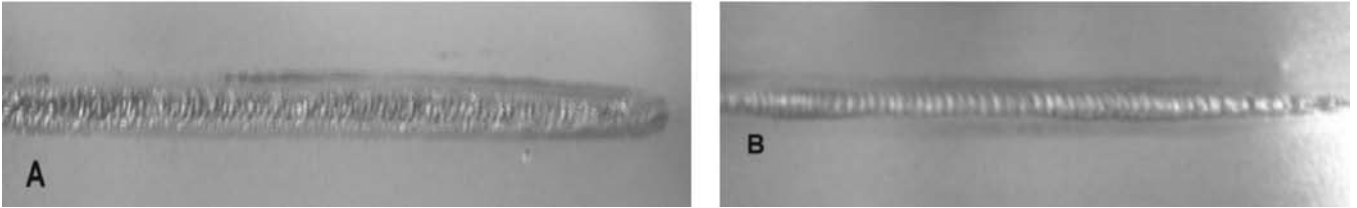


Figura 11. Vista de uma secção de uma chapa de aço AISI 304, com um passe de solda, obtida a partir do teste 2, onde “A” é a parte anterior e “B” é a parte posterior da chapa. As configurações para obter este resultado de soldagem estão expostas na Tabela 1.

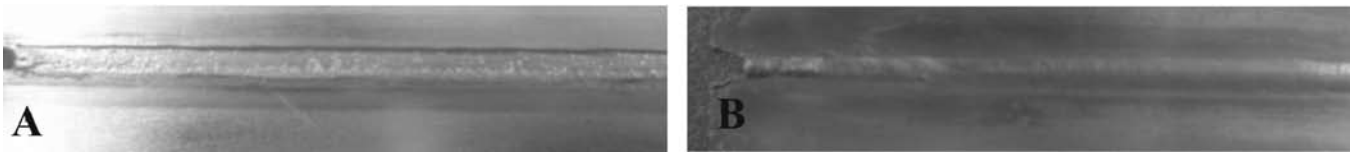


Figura 12. Vista de uma secção de uma chapa de aço AISI 430 com 0,7 mm de espessura soldada através do MPDT, onde “A” é a parte anterior e “B” é a parte posterior da chapa. Esta imagem refere-se ao teste 7, o qual apresenta os dados experimentais na Tabela 1.

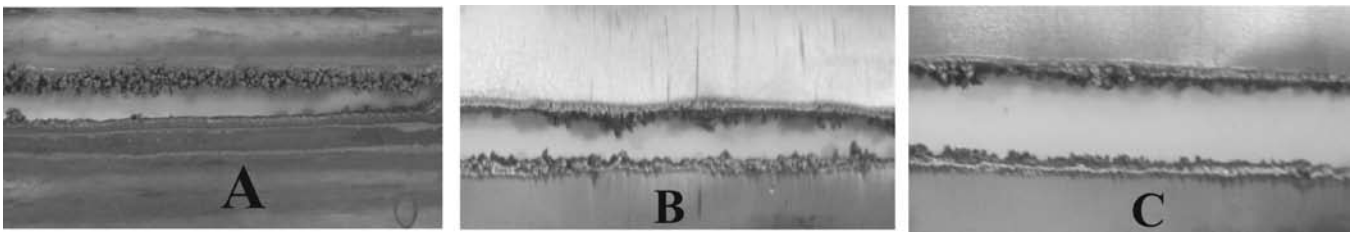


Figura 13. Resultados dos testes de corte do AISI 304 através do MPDT. “A” refere-se ao teste 1, “B” ao teste 3 e “C” ao teste 4; as configurações de corte são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados experimentais dos testes de soldagem e corte utilizando o dispositivo (MPDT)

Testes	1			2			3			4		
U <sub>Saída</sub> (V)	5,6	5,9	6	5,5	5,4	5,6	5,9	6,4	6,3	6,7	6,3	5,3
U <sub>Shunt</sub> (mV)	33,2	34	33,5	33,2	33	29,9	32,4	32	32,3	32,1	32,4	32,3
U <sub>Entrada</sub> (V)	12,9			12,2			13,7			14,3		
I (A)	223,8			213,6			214,9			215,1		
Velocidade de Soldagem ou Corte (mm/s)	4,3			5,7			5,7			7,2		
Distância entre bocal e chapa (mm)	6,1			7			7			8		
Fluxo de Gás (l/min)	5			5			10			14		
Dimensões da chapa (mm)	61x166x1			61x166x1			61x166x1			61x166x1		
Testes	5			6			7					
U <sub>Saída</sub> (V)	5,3	5	5,2	5,4	5,1	5,3	5,8	6,2	5,9			
U <sub>Shunt</sub> (mV)	31	31,9	31,4	31,3	31,6	31,4	32	31,5	32,4			
U <sub>Entrada</sub> (V)	11,4			11,6			13,2					
I (A)	209,6			209,6			213,1					
Velocidade de Soldagem ou Corte (mm/s)	4,3			5,7			5,7					
Distância entre bocal e chapa (mm)	7			7			7					
Fluxo de Gás (l/min)	3			3			5					
Dimensões da chapa (mm)	61x166x1			84x130x0,7			130x130x0,7					

#### 4. Conclusão

Estas são as constatações iniciais de um trabalho que encontra-se em desenvolvimento. Alguns fatores ainda não ficaram esclarecidos devidamente, entre eles, os efeitos da intensidade de corrente elétrica e da vazão do gás sobre o comprimento real do feixe de plasma (Figura 7 e Figura 10), além da questão de intensa oxidação do cordão de solda. Também, não foi ainda possível determinar os envelopes operacionais ótimos para o sistema. Entretanto, devido aos resultados serem promissores, este trabalho deverá ser continuado.

#### 5. Agradecimentos

Um dos autores (R.T.L.) agradece ao CNPq pela bolsa de estudo.

#### 6. Referências

- [1] JAHN, R. G. Physics of Electric Propulsion, McGraw-Hill Book Co, New York, 1968.339 p.
- [2] BLANDINO, J.J. e GOODWIN, D.G. Magnetoplasma-dynamic (MPD) accelerator assisted synthesis of diamond. ICMCTF, April 12, 1999.
- [3] CLARK, K.E. e JAHN, R.G. The magnetoplasma-dynamic arcjet, Astronautica Acta., Pergamon Press Ltd v. 13. p. 315 – 325, 1967.
- [4] BURTON, R.L., CLARK, K.E e JAHN, R.G. Measured performance of the multimegawatt MPD thruster , AIAA Journal, v. 20, n. 3, p. 299 – 304, May – June 1983.