

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DA SOLDAGEM ARAME TUBULAR USANDO CO₂ E MISTURA DE AR E CO₂ NOS PROCESSOS CONVENCIONAL E PULSADO ¹

Juscelino Chaves Sales²
Jesualdo Pereira Farias³
Temístocles de Sousa Luz⁴
Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues⁵
Belchior Ferreira Pinto⁶

Resumo

A análise das características econômicas na soldagem com arame tubular AWS E71T-1, quando o CO₂ puro é substituído pela mistura de Ar + CO₂ como gás de proteção na soldagem convencional em tensão constante e na soldagem com corrente pulsada, é o objetivo do trabalho. Para isso, soldagens com arame tubular AWS E71T-1 de 1,2 mm de diâmetro, em simples deposição, na posição plana, foram feitas em corpos de prova de aço ABNT 1020 com dimensões de 150 x 50 x 8 mm. Empregou-se uma fonte eletrônica de soldagem e um sistema automático de posicionamento da pistola. A tensão de soldagem foi mantida em 23 V. A relação entre a velocidade de alimentação do arame, v_a , e a velocidade de soldagem, v_s , foi mantida entre 20 e 23 para garantir uma área adicionada aproximadamente constante de 18 mm². Analisaram-se os efeitos do tipo de gás de proteção (CO₂ e Ar + CO₂), da “distância bico de contato peça” (20 e 25 mm), dos níveis de corrente (160, 180 e 200 A) e a natureza do processo (convencional e pulsado) sobre as soldas produzidas. Os resultados indicam que o tipo de gás de proteção afeta de maneira significativa as características econômicas.

Palavras-chave: Arame tubular; Gás de proteção; Características econômicas.

ECONOMIC CHARACTERISTICS ANALYSIS IN THE FLUX CORED ARC WELDING USING THE CONVENTIONAL AND THE PULSED PROCESS : THE EFFECT OF THE SHIELDEDING GAS

Abstract

The economic characteristics analysis was performed using the flux cored wire AWS E71T-1 with a diameter of 1,2 mm, in flat position on samples of ABNT 1020 steel with a size of 150x50x8 mm. An electronic welding source and a positioning system were used. It was sustained a welding tension of 23 V. The relationship between the wire feed speed and the travel speed was kept constant between 20 and 23 to guarantee a deposit area of approximately 18 mm². The influence of shielding gas (CO₂ and Ar and CO₂), the contact tube-to-work (TTW) (20 and 25 mm), the welding current (160, 180 and 200 A) and its nature (conventional and pulsed) were analyzed regarding the economic characteristics. The results showed that the shielding gas type influences in the economic characteristics. It was also shown that the effect of the current intensity on economic characteristics of the flux cored wire AWS E71T-1 depends perceptibly on the current type (conventional or pulsed).

Key words: Shielding gas; Flux cored arc welding; Economic characteristics.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Mestre Engenharia de Materiais, Faculdade Católica Rainha do Sertão/Univ. Estadual Vale do Acaraú*

³ *Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará*

⁴ *Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo*

⁵ *Mestre em Engenharia e Ciências dos Materiais, Petrobras SA*

⁶ *Graduado em Engenharia Mecânica, Tecbio LTDA*

1 INTRODUÇÃO

Em função do desenvolvimento dos processos de fabricação e da engenharia de materiais, os processos de soldagem sofreram um grande avanço tecnológico nos últimos anos, tanto relacionado aos processos quanto ao desenvolvimento de novos consumíveis. Com o intuito de se conseguir processos mais contínuos e econômicos que os processos manuais, desenvolveram-se nestes últimos anos fontes eletrônicas mais modernas, proporcionando um maior controle operacional dos processos contínuos como é o caso da soldagem MIG/MAG, do Arco Submerso e do Arame Tubular (AT). Este último é um processo de relevante importância tecnológica, uma vez que une as principais vantagens dos processos Eletrodo Revestido e MIG/MAG.^[1,2]

Após vários anos de pesquisa, o arame tubular alcançou o nível de desenvolvimento exigido no metal de solda das modernas estruturas. A soldagem arame tubular com proteção gasosa (AT-G) é um processo que vem sendo bastante utilizado nos últimos anos.^[3] Neste processo, o arco voltaico se forma entre a peça e o eletrodo, sendo protegido pela ação de um gás externo e pela decomposição de um fluxo alojado no interior do arame.^[3,4] Hoje, o processo AT-G, devido à versatilidade dos arames, possibilita a obtenção de um melhor nível de resistência mecânica e melhor tenacidade com uma maior taxa de deposição, possibilitando a soldagem em todas as posições.^[4,5]

Para o processo de soldagem com proteção gasosa, muitos estudos vêm avançando, principalmente na área metalúrgica, como é o caso do estudo da influência do gás de proteção sobre as propriedades metalúrgicas do metal depositado por esse processo. Alguns resultados da influência benéfica da mudança do gás CO₂ (comumente utilizado na proteção gasosa do arame tubular) para uma mistura de Argônio e CO₂ são verificados através da obtenção de melhores propriedades metalúrgicas.^[6]

Portanto, o objetivo desse trabalho é realizar um levantamento das características operacionais, do arame tubular AWS E71T-1 com base na análise das características econômicas, empregando-se como gás de proteção CO₂ puro e uma mistura de Ar e CO₂, variando-se a DBCP - distância bico de contato peça- em 20 mm e 25 mm, em três níveis de corrente tanto em soldagem com corrente convencional (tensão constante) como em corrente pulsada.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados usando como metal base o aço ABNT 1020 nas dimensões de 150 x 50 x 8 mm, empregando uma fonte eletrônica multiprocesso, com tocha de soldagem tendo deslocamento promovido por um posicionador eletrônico linear. Como consumível foi utilizado o arame tubular para soldagem com proteção gasosa, pertencente à classe AWS E 71T-1, com 1,2 mm de diâmetro. Os gases de proteção usados neste trabalho foram uma mistura de 25% de CO₂ e 75% de Argônio, e CO₂ puro. Após a operação de corte dos corpos de prova a partir de uma barra chata, foi feito um esmerilhamento para a limpeza da superfície a ser soldada. Cada corpo de prova foi pesado antes de iniciar-se o processo de soldagem.

Foram feitas soldagens de simples deposição na posição plana. Utilizou-se o processo AT convencional (tensão constante) e o AT pulsado. Os níveis de corrente eficaz empregados para o processo convencional foram os mesmos do processo com pulsação de corrente. A distância bico de contato peça, DBCP, foi regulada em 20

mm e 25 mm. Nivelou-se o suporte da chapa e a seguir ajustou-se o ângulo da tocha a 90° da superfície do corpo de prova tanto em relação ao eixo longitudinal como transversal do suporte. A vazão do gás utilizada para todos os corpos de prova ensaiados foi de 14 l/min. Para executar testes de análise de variância (ANOVA), foram feitas três repetições para cada condição de soldagem, totalizando 72 corpos de prova. Os parâmetros de soldagem e os níveis dos fatores de controle foram determinados a partir de testes preliminares. Esses parâmetros de soldagem adotados são mostrados nas Tabelas (1) e (2).

Em todos os experimentos procurou-se manter a relação v_a/v_s (velocidade de alimentação/ velocidade de soldagem) entre 20 e 23 para garantir uma área adicionada aproximadamente constante de 18mm².

Tabela 1. – Parâmetros de soldagem no Processo Convencional.

Corrente Eficaz Desejada (A)	160	180	200
DBCP (mm)	20	25	
Gás	CO2	Ar+25%CO2	

Tabela 2 – Valores de pulso e de base para corrente e tempo (Processo Pulsado).

Corrente desejada-I (A)	Corrente de pulso – I _p (A)	Corrente de base – I _b (A)	Tempo de pulso- t _p (ms)	Tempo de base - t _b (ms)
160	260	60	2,0	3,4
180	260	80	2,0	2,7
200	260	100	2,0	2,2

2.1 Critérios para a Análise do Desempenho das Características Econômicas

As características econômicas foram avaliadas por meio da Taxa de Fusão (TF), Taxa de Deposição (TD) e Eficiência de Deposição (ED), conforme equações abaixo.

$$TF = 3,6 \cdot \frac{\rho_a \cdot l}{t} [\text{kg/h}] \quad (01)$$

$$TD = 3,6 \cdot \frac{(M_f - M_i)}{t} [\text{kg/h}] \quad (02)$$

$$ED = \frac{(M_f - M_i)}{m_a} 100 [\%] \quad (03)$$

onde l é comprimento de arame consumido (m); t o tempo de soldagem (s); M_i a massa inicial da chapa (g); M_f a massa final da chapa (g); ρ_a a densidade linear do arame (g/m) e m_a (ρ_a · l) a massa de arame consumida (g).

3 RESULTADOS

As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores médios de tensão e os valores médios e eficazes de corrente, para soldagem em modo convencional e pulsado respectivamente, obtidos na realização dos ensaios. A última coluna à direita da tabela, mostra os valores obtidos para as relações v_a/v_s .

Tabela 3. Parâmetros de soldagem para o processo convencional.

Gás	DBCP (mm)	I _{ef} (A)	I _m (A)	U _m (V)	v _a (m.min ⁻¹)	v _s (m.min ⁻¹)	Razão (v _a /v _s)
CO ₂ + Ar	20	161	160	23	5,4	0,24	22
		180	177	23	6,3	0,28	22
		203	200	23	7,9	0,34	23
	25	160	159	23	6,4	0,28	22
		182	179	23	7,8	0,34	23
		200	194	23	9,3	0,40	23
CO ₂	20	161	160	23	5,7	0,24	23
		182	181	24	7,3	0,31	23
		201	199	24	8,7	0,37	23
	25	160	160	23	7,1	0,29	24
		183	174	24	8,2	0,36	23
		199	192	24	10,2	0,43	23

Tabela 4 – Parâmetros de soldagem para o processo pulsado.

Gás	DBCP (mm)	I _{ef} (A)	I _m (A)	U _m (V)	v _a (m.min ⁻¹)	v _s (m.min ⁻¹)	Razão (v _a /v _s)
CO ₂ e Ar	20	156	132	23	4,6	0,21	21,9
		173	153	23	5,7	0,25	22,8
		184	170	23	6,2	0,30	20,7
	25	154	130	23	5,0	0,25	20,0
		170	152	23	6,1	0,30	20,3
		185	172	23	7,3	0,40	20,9
CO ₂	20	160	134	23	5,0	0,22	22,7
		175	156	23	5,8	0,27	21,5
		188	173	23	6,6	0,31	21,3
	25	160	135	23	5,7	0,25	22,8
		175	155	23	6,6	0,30	22,0
		188	175	23	7,8	0,35	22,3

3.1 Processo AT Convencional (Tensão Constante)

A Tabela 5 apresenta os valores médios das características econômicas representadas pela taxa de fusão (TF), taxa de deposição (TD) e eficiência de deposição (ED), para os ensaios realizados. Esses dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Os valores de α estão indicados na Tabela 6.

O desempenho de um consumível com relação a sua característica econômica poderá ser influenciado por muitos fatores e variáveis do processo. A Tabela 6 indica que o tipo de gás de proteção não afetou as características econômicas do eletrodo empregado e que a corrente foi o fator de maior importância.

Tabela 5 – Resultado das características econômicas (processo convencional).

Tipo de gás	DBCP (mm)	Corrente (A)	TF (kg/h)	TD (kg/h)	ED (%)
CO ₂ + Ar	20	161	2,12	1,97	92,86
		180	2,48	2,29	92,56
		203	3,10	2,76	89,20
	25	160	2,49	2,27	91,02
		182	3,04	2,83	92,95
		200	3,61	3,12	86,28
CO ₂	20	161	2,26	2,04	90,47
		182	2,89	2,58	89,39
		201	3,35	3,01	89,66
	25	160	2,76	2,51	91,12
		183	3,16	2,90	91,69
		199	3,96	3,28	82,77

Tabela 6 – Análise de variância (ANOVA) para as características econômicas.

Fator	Fator α (%)		
	Características Econômicas		
	TF	TD	ED
1 – Gás	15,29	19,22	10,79
2 – DBCP	0,63	0,48	17,35
3 – I_{ef}	0,00	0,00	0,00
Interação – 1 x 2	93,86	85,71	94,46
Interação – 1 x 3	88,91	96,38	81,64
Interação – 2 x 3	48,09	52,09	0,01

Nas Figuras 1 e 2 pode-se observar a influência da DBCP sobre TF e TD respectivamente. Na Figura 1 verifica-se que com o aumento no valor da DBCP tem-se um aumento na TF. Tal efeito era esperado, o calor desenvolvido no arco elétrico e o calor desenvolvido por efeito Joule na extensão fora do bico de contato são as principais causas responsáveis pela fusão do arame, ou seja, pela TF [7]. As expressões para a soldagem em corrente contínua e pulsada são as seguintes (Equações 4 e 5):

$$w = \alpha \cdot \bar{I} + \beta \cdot \ell \cdot I_{ef}^2 \quad (4)$$

e

$$w = \alpha \cdot \bar{I} + \beta \cdot \ell \cdot I_p^2 \cdot t_p \cdot F \quad (5)$$

Onde w é a velocidade de alimentação, α e β são constantes de fusão, \bar{I} é a intensidade de corrente média, I_p é a corrente de pico, ℓ é o comprimento livre de arame, t_p é o tempo de pico e F a frequência de pulsação [7].

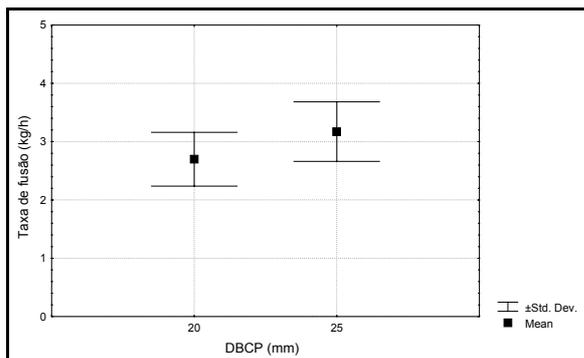


Figura 1 – Influência da DBCP sobre a taxa de fusão.

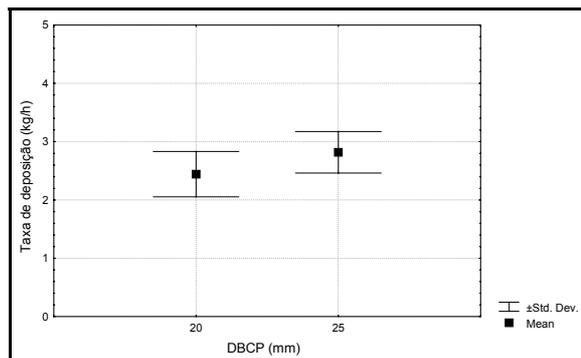


Figura 2 – Influência da DBCP sobre a taxa de deposição.

Através dessas relações e mantendo-se constantes os valores de corrente média e eficaz, é de se esperar que, para soldagem com corrente contínua, haja variações em w com a variação da DBCP. Assim com o aumento no valor da DBCP, ter-se-á o aumento na TF.

De acordo com a Tabela 6, não se verifica a influência da DBCP sobre ED, logo é de se esperar que TD acompanhe o mesmo comportamento de TF. Pela Figura 2 verifica-se esse comportamento, onde se pode perceber um crescimento da TD com o aumento no valor da DBCP.

Em relação à corrente de soldagem, pela Tabela 6 verifica-se uma influência marcante sobre todos os índices ($\alpha = 0,00\%$ para todos os índices). A corrente de soldagem é um dos fatores que está diretamente ligado a TF.^[7] Pela equação citada anteriormente observa-se que quanto maior for a intensidade de corrente para um mesmo valor de DBCP, maior será TF. Isto pode ser confirmado quando se observa a Figura 3. Pela observação dessa figura é possível verificar a validade da equação, onde se observa que quanto maior for a intensidade de corrente, maior o valor de TF. Pela Figura 4 é possível se observar o mesmo efeito para TD.

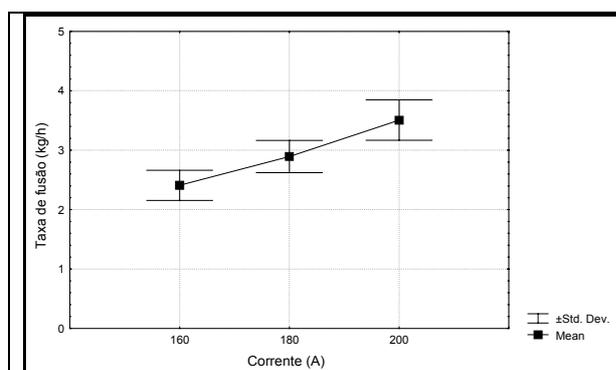


Figura 3 – Influência da corrente de soldagem sobre TF.

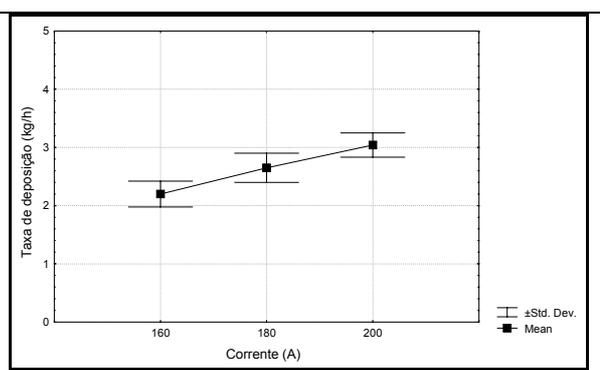


Figura 4 – Influência da corrente de soldagem sobre TD.

Na Figura 5 verifica-se a influência da corrente de soldagem sobre ED. Nota-se, nitidamente que para níveis de corrente acima de 180 A, a tendência é de decréscimo na eficiência de deposição do arame. A eficiência de deposição é a relação entre a TD e a TF. Assim, durante a soldagem existem alguns fenômenos que interferem diretamente nesse índice. Um deles é a geração de respingos. Tal fato é, geralmente, decorrente da instabilidade do arco durante a soldagem. Pode-se analisar também que com o aumento da corrente de soldagem, aumenta-se a energia, diminuindo assim a viscosidade do metal fundido. É possível que a

diminuição da viscosidade provoque o aumento do tamanho das gotas geradas na extremidade livre do arame durante a soldagem. Essas gotas maiores podem vir a provocar, a geração de respingos quando estas se chocam com a poça de fusão. Assim, com o aumento da corrente de soldagem é de se esperar que haja uma maior incidência de respingos e, conseqüentemente, menor valor de ED, já que esses respingos representam material desperdiçado. Este efeito é mais significativo para maiores valores de DBCP, como indica a Figura 6 e o efeito da interação (2x3), apresentado na Tabela 6.

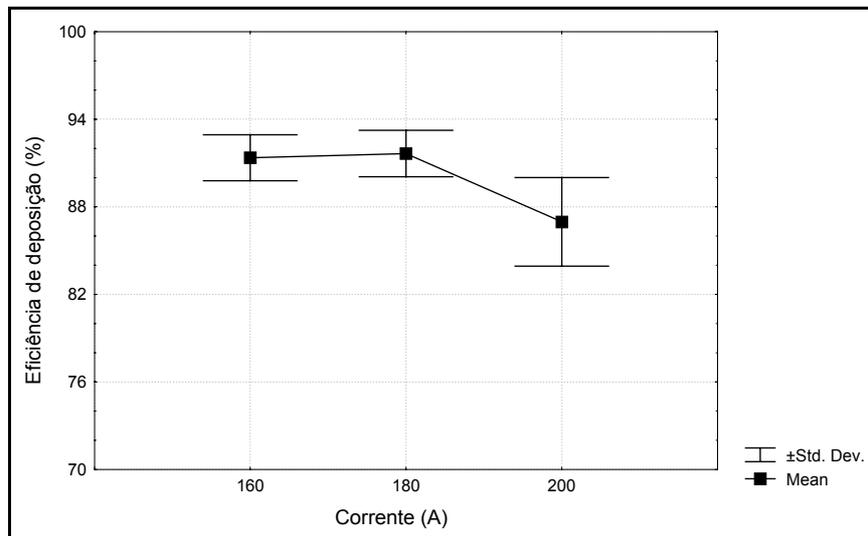


Figura 5 – Influência da corrente de soldagem sobre ED.

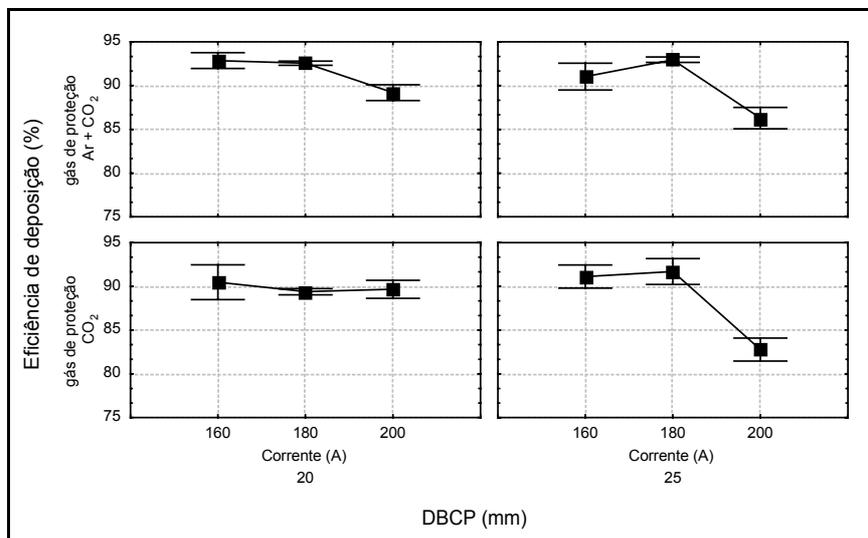


Figura 6 – Relação entre os parâmetros de soldagem e ED.

3.2 Soldagem AT com Corrente Pulsada

A Tabela 7 nos apresenta os valores médios das características econômicas representadas pela taxa de fusão (TF), taxa de deposição (TD) e eficiência de deposição, para os ensaios realizados.

A Tabela 8 apresenta o resultado da análise de variância das características econômicas (taxa de fusão, taxa de deposição e eficiência de deposição) na soldagem em corrente pulsada.

Tabela 7 – Resultado das características econômicas (processo pulsado).

Tipo de gás	DBCP (mm)	Corrente (A)	TF (kg/h)	TD (kg/h)	ED (%)
CO ₂ + Ar	20	156	1,77	1,53	86,30
		173	2,21	1,92	86,76
		184	2,42	2,14	88,45
	25	154	1,93	1,68	86,99
		170	2,38	2,07	86,96
		185	2,80	2,47	88,20
CO ₂	20	160	1,92	1,63	84,77
		175	2,26	1,92	85,15
		188	2,53	2,18	86,05
	25	160	2,19	1,87	85,23
		175	2,55	2,18	85,49
		188	3,01	2,54	84,28

Tabela 8 – Análise de variância (ANOVA) para as características econômicas.

Fatores	Fator α (%)		
	TF	TD	ED
1 – Gás	19,42	43,08	0,05
2 – DBCP	1,42	1,70	93,18
3 – I_{ef}	0,00	0,00	50,27
Interação – 1 x 2	61,70	70,29	63,55
Interação – 1 x 3	83,03	75,82	41,43
Interação – 2 x 3	8,93	15,25	59,76

Observa-se na Tabela 8 que a corrente de soldagem e a DBCP, de maneira global afetaram significativamente a taxa de fusão (TF) e a taxa de deposição (TD), como era esperado, não tendo afetado sobremaneira a eficiência de deposição (ED), (Figuras 7, 8 e 9). O aumento de TF com a corrente é mais acentuado na DBCP de 25mm, efeito decorrente da maior contribuição do efeito Joule nessa condição.

A Tabela 8 mostra que a eficiência de deposição (ED) é afetada com certa relevância pela mudança de Ar + CO₂ para CO₂ puro. Observa-se, pela Figura 9 um decréscimo em ED com a utilização de CO₂ puro. Este resultado é devido ao aumento no teor de respingos gerado pela maior incidência de curtos-circuitos com a utilização desse gás, pois estes curtos junto com a oscilação da poça de fusão, provocada pela pulsação da corrente, incrementam o teor de respingos. Algumas pequenas explosões, características da aplicação de CO₂ puro também contribuem para esta queda na eficiência de deposição.

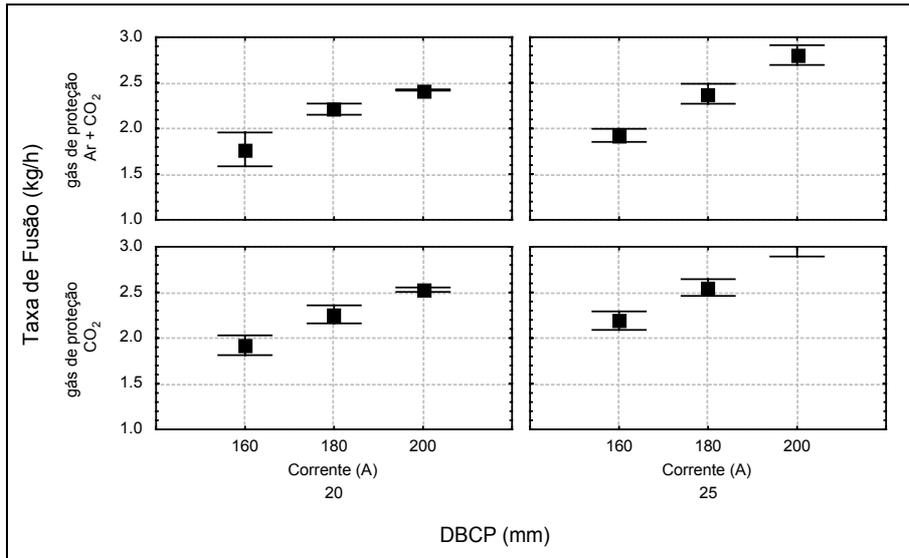


Figura 7 – Efeito dos fatores sobre TF.

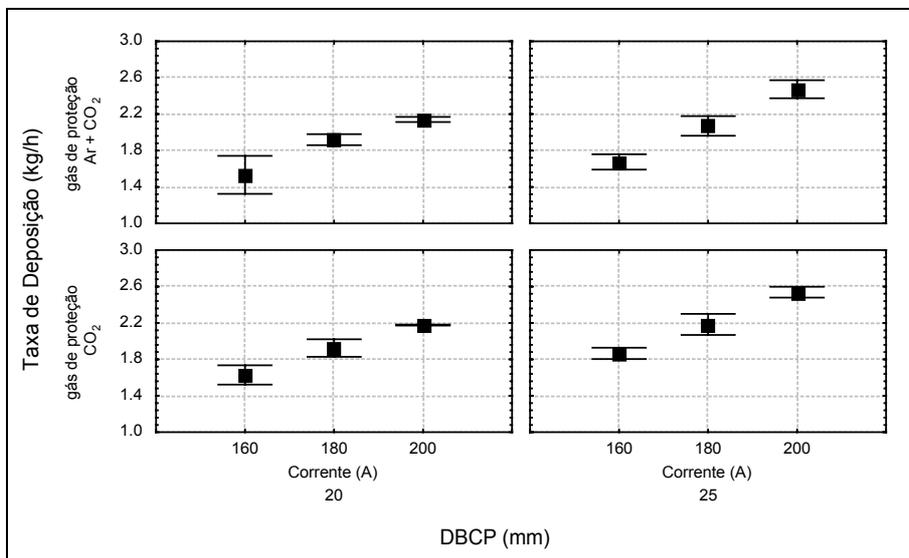


Figura 8 – Efeito dos fatores sobre TD.

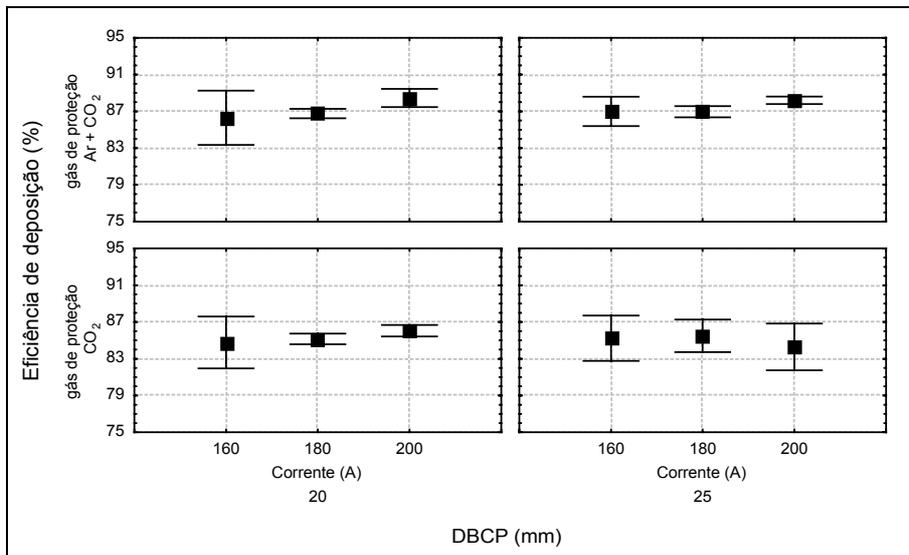


Figura 9 – Efeito dos fatores sobre ED.

4 CONCLUSÕES

Tendo em vista os objetivos apresentados, conclui-se que:

- A mudança de CO₂ puro para uma mistura de CO₂ + Ar melhora a eficiência de deposição na soldagem em corrente pulsada, mas não exerce efeito sobre as características econômicas no modo tensão constante.
- O aumento da DBCP de 20 mm para 25 mm afeta a Taxa de Fusão e a Taxa de Deposição, mas não exerce efeito significativo sobre a Eficiência de Deposição;
- Para uma relação V_a/V_s constante, o efeito da intensidade de corrente sobre as características econômicas do arame tubular E71T-1 depende sensivelmente do tipo de corrente (convencional ou pulsada) e do tipo de gás de proteção.

REFERÊNCIAS

- 1 BONISZEWSKY, T. **Self-shielded arc welding**. Woodhead Publishing Ltd. In Association with the Welding Institute, Cambridge England, 1992
- 2 OTEGUI, J. L. e DE VEDIA, L. A. **Soldadura com alambres tubulares sin protección gaseosa**. Boletín Técnico Conarco, n. 81, p. 2-14/27-29, Jan., 1985.
- 3 WELDING HANDBOOK. Chapter 5, vol. 2, eighth edition, 1991.
- 4 MOTA, C. A. M. **Níquel e manganês como controladores da tenacidade na soldagem com arames tubulares autoprotégidos**. Tese de Doutorado, UFSC, Dezembro, 1997.
- 5 MACHADO, I. G. **Soldagem e técnicas conexas**. Livro editado pelo autor, 1997.
- 6 SURIAN, E. S., RISSONE, N. M. R. **Efeito del gas de protección y del procedimiento de soldadura sobre las características del metal depositado por alambre tubular tipo AISI/AWS A5.20-95 E71T-1**. DEYTEMA, Fac. Reg. San Nicolás, Buenos Aires, Argentina 1998.
- 7 MEDEIROS, R. C.; QUINTINO, L.; SANTOS, J. F.O. **Estudo da aptidão dos arames tubulares à soldagem MIG com transferência controlada**. Soldagem & Materiais, Nº 4, setembro/dezembro, 1989.