

## **INFLUÊNCIA DO USO DO TECIMENTO NA GEOMETRIA E NA DILUIÇÃO DOS CORDÕES DE SOLDA REALIZADOS COM O PROCESSO MIG/MAG COM TRANSFERÊNCIA METÁLICA POR CURTO-CIRCUITO EMPREGANDO O ELETRODO AWS ERNiCrMo-3**

**Antonio Rodolfo Paulino Pessoa, antrodolfo.pessoa@bol.com.br<sup>1</sup>**

**Francisco de Assis Filho, assisfilho@yahoo.com.br<sup>1</sup>**

**Hélio Cordeiro de Miranda, hmiranda@ufc.br<sup>1</sup>**

**Jesualdo Pereira Farias, jpfarias@ufc.br<sup>1</sup>**

**Willys Machado Aguiar, willys@ifce.edu.br<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará, Bloco 715 - Campus do Pici - cep. 60455-760 - Pici - Fortaleza, CE.

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Indústria – Av. 13 de maio, 2081 - cep. 60040-531- Benfica - Fortaleza, CE

**Resumo:** Neste trabalho foi estudada a influência do uso de tecimento sobre as características geométricas dos cordões de solda (largura, reforço, penetração, razão reforço/largura e diluição) depositados com a liga AWS ERNiCrMo-3, com o intuito de ajudar na escolha dos melhores parâmetros de soldagem para realização de operações de revestimentos com ligas de níquel através do processo MIG/MAG com transferência metálica por curto-circuito. As soldagens foram realizadas na posição plana por simples deposição do arame eletrodo ERNiCrMo-3 (Inconel 625®) com diâmetro de 1,2mm sobre chapas de aço baixo carbono ASTM A36 com dimensões de 200 x 50 x 6 mm. Os ensaios foram feitos na forma de um fatorial completo dos parâmetros de soldagem, onde foram utilizados dois tipos de tecimento (Sem Tecimento e Tecimento triangular). Os resultados obtidos mostraram que o uso do tecimento proporcionou cordões com baixos valores da razão R/L, tornando-os mais indicados para soldagens de revestimento, pois minimizam a possibilidade da ocorrência de defeitos ao se efetuar a sobreposição dos cordões. Com relação à diluição, os cordões de solda apresentaram valores bastante baixos chegando à ordem de 2% quando se efetua o tecimento.

**Palavras-chave:** Tecimento, Características geométricas, Ligas de Níquel, MIG/MAG, Curto-Circuito

### **1. INTRODUÇÃO**

Em âmbito nacional o esgotamento de jazidas de petróleo leve e a descoberta de grandes jazidas com petróleo pesado somada atratividade econômica da produção de poços com petróleo de baixa qualidade fizeram com que as unidades de refino passassem a processar petróleos pesados com alto índice de acidez, o que vem levando as unidades de refino e processamento de petróleo das indústrias do setor petróleo e gás apresentarem problemas de corrosão, uma vez que estas unidades não foram inicialmente projetadas para processar petróleos pesados. As causas da corrosão são associadas principalmente ao contato dos materiais com substâncias extremamente corrosivas, elevadas temperatura de operação e problemas metalúrgicos.

Estes fatores têm ocasionado um desgaste prematuro dos equipamentos destas unidades, acarretando em paradas não programadas (inesperadas) para realização de reparos. Os custos associados com a parada de uma unidade de processamento são extremamente elevados, além de ocasionar atrasos no fornecimento de seus produtos.

Então como forma de solucionar os problemas relativos a vida útil dos equipamentos e reduzir o número de paradas as ligas de níquel vêm sendo sugeridas como uma das alternativas para adequar ou substituir componentes metálicos que compõem os equipamentos das unidades de refino e processamento. Apesar das ligas de níquel constituírem uma alternativa viável, o elevado custo de fabricação de equipamentos maciços constituídos por estas ligas faz com que os equipamentos na indústria do petróleo sejam normalmente construídos com materiais menos nobres, como aços C-Mn e baixa liga e posteriormente revestidos com materiais de excelente resistência à corrosão como no caso deste trabalho onde foi empregada uma liga à base de níquel.

Contudo faz-se necessário um estudo sistemático para uma aplicação apropriada destas ligas como revestimentos metálicos de elevada resistência à corrosão e a oxidação. Justificando assim o desenvolvimento deste trabalho com o intuito realizar uma avaliação da influência do uso do tecimento sobre as características geométricas dos cordões de

solda depositados com a liga AWS ERNiCrMo-3. Algumas destas características geométricas como a razão R/L e a diluição são muito importantes para se obter um revestimento isento de defeitos (falta de fusão e concentração de tensão no pé do cordão de solda), os quais estão associados a altos valores de R/L e uma melhor proteção contra a corrosão, a qual esta associada a uma baixa diluição.

## 2. METODOLOGIA

Para a realização dos experimentos foram utilizadas: uma fontes eletrônicas de soldagem multiprocesso, uma bancada de ensaio composta por Robô industrial para deslocamento automático da tocha de soldagem e um sistema de aquisição de dados. As soldagens foram realizadas na posição plana por simples deposição do arame eletrodo AWS ERNiCrMo-3(Inconel 625) com diâmetro de 1,2 mm em chapas de aço baixo carbono ASTM A36 com dimensões de 200 x 50 x 6 mm. Foi empregado, como gás de proteção, argônio puro a uma vazão de 20 L/min e a distância entre o bico de contato e a peça (DBCP) foi mantida em 20 mm para todas as soldagens. Antes de serem soldados, os corpos de prova passaram por uma limpeza mecânica, através de uma escova com cerdas de aço, para a remoção de possível contaminação da superfície do corpo de prova.

Nos ensaios a influência do uso do tecimento sobre as características geométricas dos cordões de solda (largura, reforço, penetração, diluição e a razão reforço/largura) foram avaliadas através de um fatorial completo onde foram utilizadas quatro tensões de referência ( $U_r = 20, 22, 24$  e  $26V$ ), quatro velocidades de alimentação ( $V_{lim} = 5, 6, 7$  e  $8$  m/min), duas velocidades de deslocamento na direção de soldagem ( $V_s = 0,2$  e  $0,4$  m/min) e por fim dois tipos de tecimento (ST = Sem Tecimento e TT = Tecimento triangular). A sequência de execução dos ensaios e os níveis dos parâmetros de soldagem são apresentados na Tabela (1) e na Tabela (2).

**Tabela 1. Parâmetros de soldagem para os ensaios com  $V_s = 0,2$  m/min.**

Ensaio	$U_r$ (V)	$V_{lim}$ (m/min)	Tecimento	$U_{ef}$ (V)	$I_{ef}$ (A)
1	20	5,0	ST	21,6	121,5
2	20	6,0	ST	20,5	137,3
3	20	7,0	ST	20,9	152,6
4	20	8,0	ST	*	*
5	22	5,0	ST	22,3	124,0
6	22	6,0	ST	21,7	136,4
7	22	7,0	ST	21,9	151,9
8	22	8,0	ST	21,8	165,7
9	24	5,0	ST	21,5	124
10	24	6,0	ST	22,1	139,8
11	24	7,0	ST	22,1	151,5
12	24	8,0	ST	23,1	166,4
13	26	5,0	ST	23,6	131,8
14	26	6,0	ST	23,2	146,4
15	26	7,0	ST	23,3	154,2
16	26	8,0	ST	23,7	165,7
17	20	5,0	TT	20,1	124,8
18	20	6,0	TT	19,9	137,8
19	20	7,0	TT	20,3	151,6
20	20	8,0	TT	20,4	165,1
21	22	5,0	TT	21,4	126,7
22	22	6,0	TT	21,5	142,3
23	22	7,0	TT	21,4	157,1
24	22	8,0	TT	21,3	165,6
25	24	5,0	TT	22,5	125,0
26	24	6,0	TT	22,0	140,9
27	24	7,0	TT	21,7	155,4
28	24	8,0	TT	21,6	167
29	26	5,0	TT	23,6	129,3
30	26	6,0	TT	23,2	145,8
31	26	7,0	TT	23	159,6
32	26	8,0	TT	22,9	169,3

Onde:

$U_{ef}$  = Tensão Eficaz e  $I_{ef}$  = Corrente Eficaz

\* = não soldou

Tabela 2. Parâmetros de soldagem para os ensaios preliminares com  $V_s = 0,4$  m/min.

Ensaio	Ur (V)	Valim (m/min)	Tecimento	Uef (V)	Ief (A)
33	20	5,0	ST	20,1	133,3
34	20	6,0	ST	19,3	134,2
35	20	7,0	ST	19,1	150,5
36	20	8,0	ST	19,6	164,2
37	22	5,0	ST	20,9	126,3
38	22	6,0	ST	20,3	141
39	22	7,0	ST	20,1	149,2
40	22	8,0	ST	20,1	163,5
41	24	5,0	ST	22,5	130,8
42	24	6,0	ST	21,7	142,1
43	24	7,0	ST	21,5	151,9
44	24	8,0	ST	21,4	166,3
45	26	5,0	ST	23,7	131,9
46	26	6,0	ST	21,4	145,4
47	26	7,0	ST	21,3	157,3
48	26	8,0	ST	22,8	173,6
49	20	5,0	TT	19,2	125,3
50	20	6,0	TT	19,1	155,9
51	20	7,0	TT	19,2	156,8
52	20	8,0	TT	19,3	163,2
53	22	5,0	TT	20,8	125,7
54	22	6,0	TT	20,2	141,3
55	22	7,0	TT	19,1	154,6
56	22	8,0	TT	20,4	168,1
57	24	5,0	TT	21,6	127,9
58	24	6,0	TT	21,5	143,3
59	24	7,0	TT	20,4	149,6
60	24	8,0	TT	21,3	165,4
61	26	5,0	TT	22,2	128,1
62	26	6,0	TT	23,2	145,4
63	26	7,0	TT	23,0	169,7
64	26	8,0	TT	21,5	169,9

Após a realização das soldagens os corpos de prova foram submetidos a uma preparação metalográfica para obtenção das características geométricas: largura, reforço, penetração, diluição e razão R/L. A largura, o reforço e a penetração são mostrados na Figura (1), enquanto a diluição é calculada através da Eq. (1).

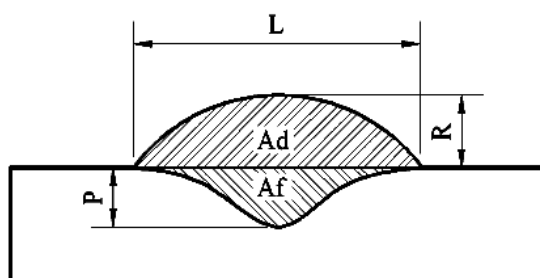


Figura 1. Perfil geométrico dos cordões de solda.

$$D = \frac{Af}{(Ad + Af)} \times 100 (\%) \quad (1)$$

Onde:

Ad – Área depositada do cordão (Figura 1)

Af – Área fundida do metal de base (Figura 1)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Características geométricas

A Tabela (3) e a Tabela (4) mostram os valores das características geométricas dos cordões de solda: largura (L), reforço (R), penetração (P), diluição (D), razão reforço/largura (R/L), área depositada (Ad) e área fundida (Af) obtidos a partir das soldagens dos ensaios mostrados na Tabela (1) e na Tabela (2) respectivamente.

**Tabela 3. Valores das características geométricas para os ensaios com  $V_s = 0,2$  m/min.**

Ensaio	L (mm)	R (mm)	P (mm)	R/L	D (%)	Ad (mm <sup>2</sup> )	Af (mm <sup>2</sup> )
1	7,9	3,5	1,0	0,5	13,6	18,6	2,9
2	8,8	4,3	1,2	0,5	10,9	29,7	3,6
3	8,4	4,7	1,1	0,6	9,0	34,4	3,4
4	Não soldou						
5	9,0	3,7	1,0	0,4	12,0	25,5	3,5
6	7,7	4,5	1,2	0,6	9,6	31,0	3,3
7	7,6	4,3	1,2	0,6	10,4	29,8	3,5
8	8,2	4,9	0,9	0,6	6,5	37,6	2,6
9	9,3	3,8	0,5	0,4	4,1	26,4	1,1
10	9,5	4,4	0,9	0,5	6,1	34,7	2,2
11	9,7	4,4	1,3	0,5	9,3	35,9	3,7
12	9,1	4,2	1,2	0,5	9,5	26,4	3,3
13	8,5	3,5	0,7	0,4	9,5	22,9	2,4
14	9,9	3,7	1,2	0,4	13,6	26,6	4,2
15	9,2	3,9	0,9	0,4	8,0	30,1	2,6
16	10,0	4,4	1,0	0,4	8,5	37,2	3,5
17	12,0	2,9	0,5	0,2	10,7	20,7	2,5
18	13,6	3,7	0,4	0,3	5,0	31,8	1,7
19	12,5	3,9	0,3	0,3	2,1	34,5	0,8
20	14,7	4,2	0,4	0,3	6,7	38,3	2,7
21	14,0	2,8	0,5	0,2	10,5	23,6	2,8
22	12,9	3,8	0,4	0,3	5,8	30,7	1,9
23	13,4	3,4	0,5	0,3	6,9	31,6	2,3
24	12,8	3,7	0,3	0,3	3,9	33,4	1,4
25	14,1	2,9	0,4	0,2	10,0	24,0	2,7
26	15,2	3,3	0,5	0,2	8,9	31,9	3,1
27	13,9	3,0	0,4	0,2	9,2	28,6	2,9
28	14,5	3,5	0,5	0,2	6,3	34,2	2,3
29	14,4	2,7	0,6	0,2	17,0	23,0	4,7
30	14,6	3,1	0,5	0,2	8,5	29,7	2,8
31	14,8	3,4	0,4	0,2	9,0	33,0	3,3
32	15,9	3,8	0,4	0,2	5,8	42,3	2,6

Tabela 4. Valores das características geométricas para os ensaios com  $V_s = 0,4$  m/min.

Ensaio	L (mm)	R (mm)	P (mm)	R/L	D (%)	Ad (mm <sup>2</sup> )	Af (mm <sup>2</sup> )
33	6,5	2,9	0,6	0,5	13,8	11,9	1,9
34	5,1	3,3	0,7	0,7	11,6	12,9	1,7
35	5,6	3,9	0,8	0,7	10,9	17,2	2,1
36	5,6	3,7	0,6	0,7	6,5	17,3	1,2
37	5,7	2,5	0,8	0,4	18,6	9,2	2,1
38	6,2	3,2	0,8	0,5	13,4	14,2	2,2
39	6,1	3,1	0,9	0,5	12,7	14,5	2,1
40	6,5	3,5	0,7	0,5	8,4	18,6	1,7
41	6,5	2,5	0,6	0,4	15,0	10,2	1,8
42	7,0	2,8	0,7	0,4	15,9	13,2	2,5
43	7,1	3,0	1,0	0,4	16,0	16,3	3,1
44	7,0	3,5	0,9	0,5	10,6	18,5	2,2
45	7,0	2,6	0,8	0,4	17,1	12,1	2,5
46	6,9	3,0	0,7	0,4	14,6	14,6	2,5
47	6,8	3,2	0,8	0,5	11,9	16,3	2,2
48	8,2	2,8	0,9	0,3	16,0	16,8	3,2
49	8,7	2,9	0,4	0,3	8,6	12,8	1,2
50	8,2	3,2	0,5	0,4	6,4	14,6	1,0
51	8,3	3,5	0,4	0,4	6,5	17,4	1,2
52	7,8	3,4	0,3	0,4	4,9	15,7	0,8
53	9,5	2,4	0,4	0,3	9,5	14,3	1,5
54	9,3	3,0	0,3	0,3	10,1	16,0	1,8
55	7,8	3,6	0,2	0,5	3,5	16,8	0,6
56	8,5	3,5	0,3	0,4	5,5	19,1	1,1
57	8,6	2,5	0,5	0,3	13,3	13,1	2,0
58	9,7	2,8	0,5	0,3	11,8	15,7	2,1
59	9,7	3,2	0,5	0,3	14,7	19,1	3,3
60	8,8	3,2	0,4	0,4	9,7	17,8	1,9
61	8,7	2,6	0,4	0,3	11,7	12,8	1,7
62	9,6	2,3	0,5	0,2	15,8	13,3	2,5
63	10,0	2,8	0,3	0,3	15,4	17,0	3,1
64	9,0	3,0	0,5	0,3	15,7	17,2	3,2

### 3.2. Análise de variância no fatorial completo

De posse dos resultados obtidos no ensaio foi realizada a análise estatística de variância, com a finalidade de se observar a influência dos fatores de controle sobre as características geométricas dos cordões de solda. Os valores dos níveis de significância " $\alpha$ ", calculados a partir das análises feitas, estão apresentados na Tabela (5). Níveis de significância menores que 0,05 (valores sublinhados e em negrito nas tabelas) indicam efeitos estatisticamente significativos, ou seja, há uma probabilidade de acerto de 95% em se admitir que determinado fator de controle esteja influenciando as variáveis de resposta analisadas. A seguir serão mostrados graficamente a influência do tecimento sobre as variáveis respostas afetadas.

Tabela 5. Nível de significância dos fatores de controle sobre as características geométricas.

Fator de Controle	Nível de $\alpha$				
	Largura	Reforço	Penetração	Razão R/L	Diluição
Tecimento	<b><u>0,000</u></b>	<b><u>0,000</u></b>	<b><u>0,000</u></b>	<b><u>0,000</u></b>	<b><u>0,001</u></b>

### 3.2.1. Influência do tecimento

Conforme a Tabela (5) o uso tecimento influenciou significativamente todas as variáveis resposta. Nas Figuras (2) a (6) são apresentados os comportamento das variáveis resposta nas condições sem tecimento (ST) e com o uso do tecimento triangular (TT).

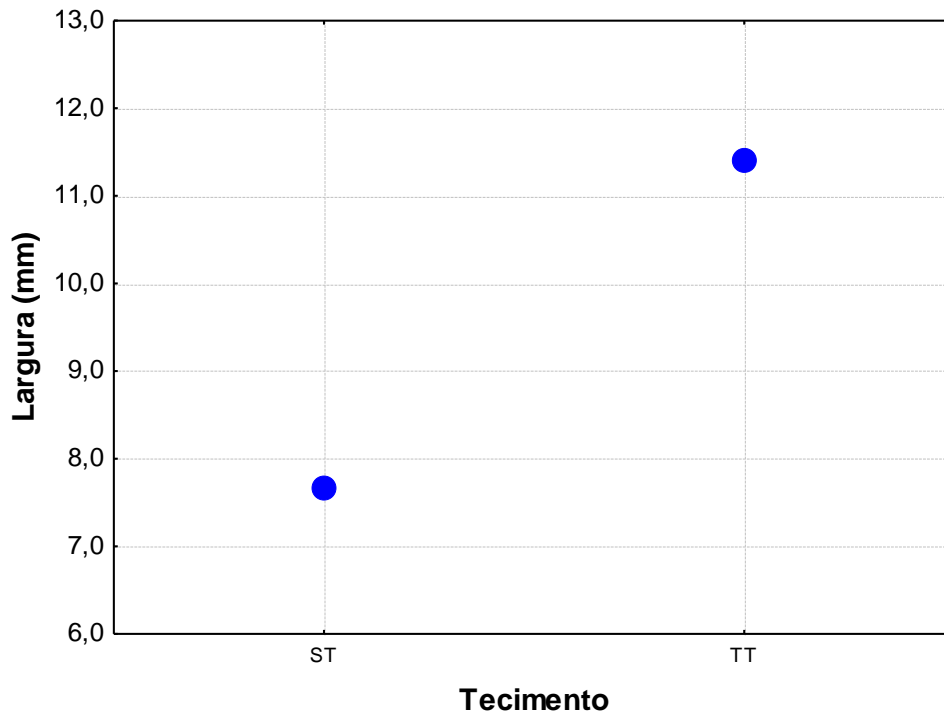


Figura 2. Influência do Tecimento sobre a largura.

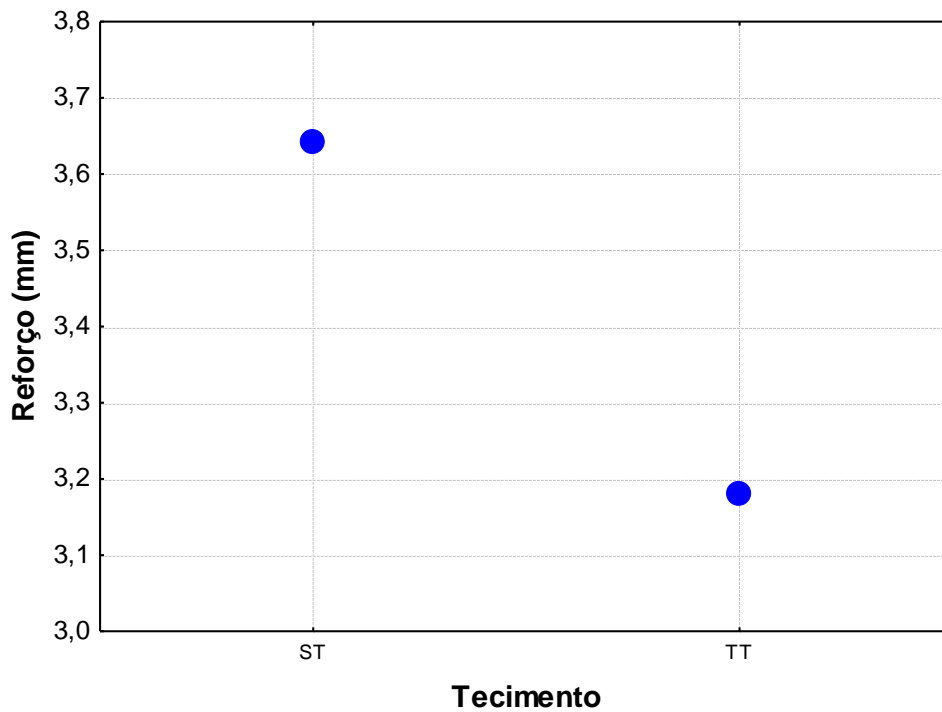


Figura 3. Influência do Tecimento sobre o reforço.

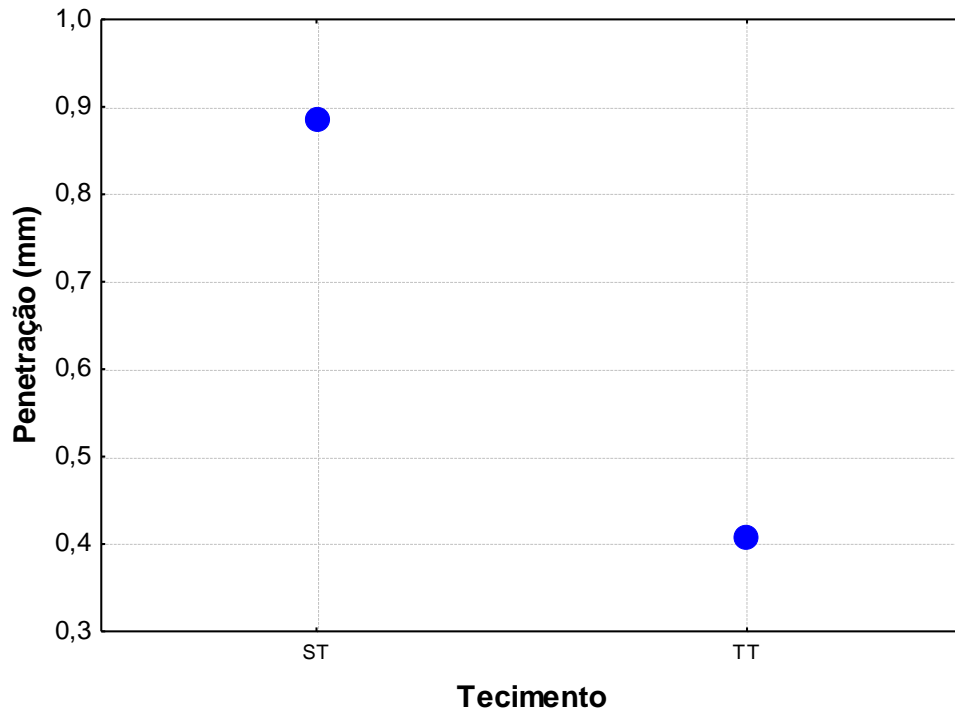


Figura 4. Influência do Tecimento sobre a penetração.

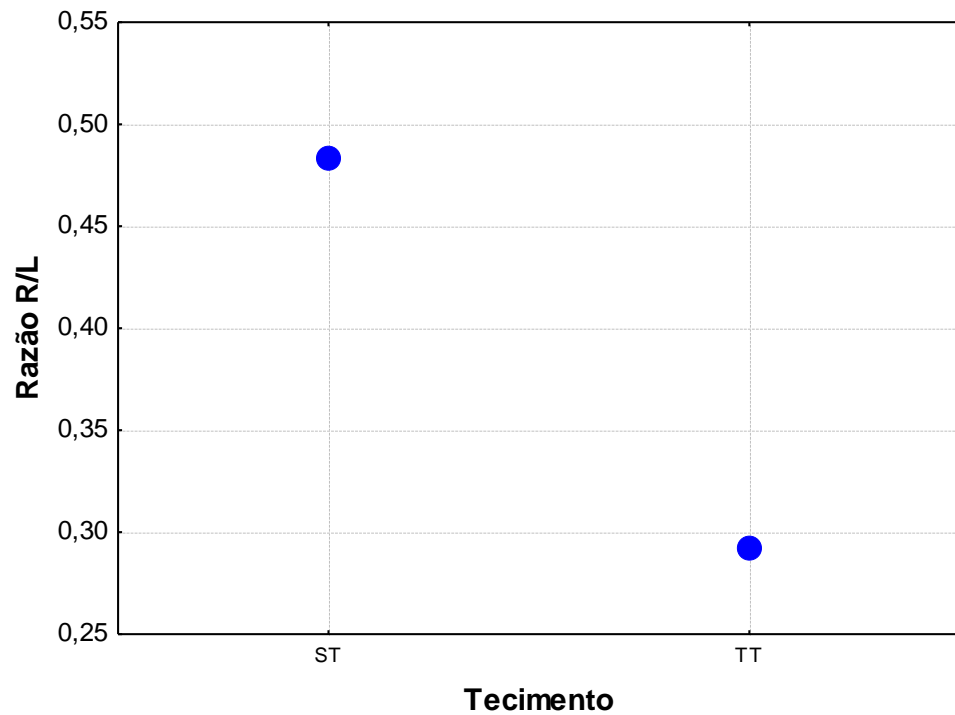
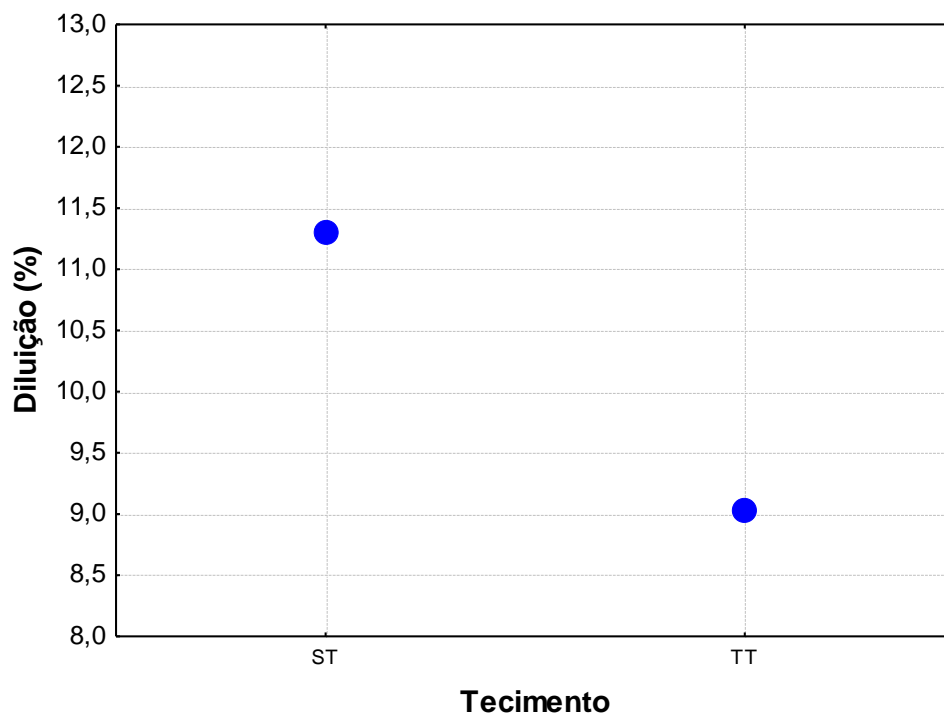


Figura 5. Influência do Tecimento sobre a razão reforço/largura (R/L).

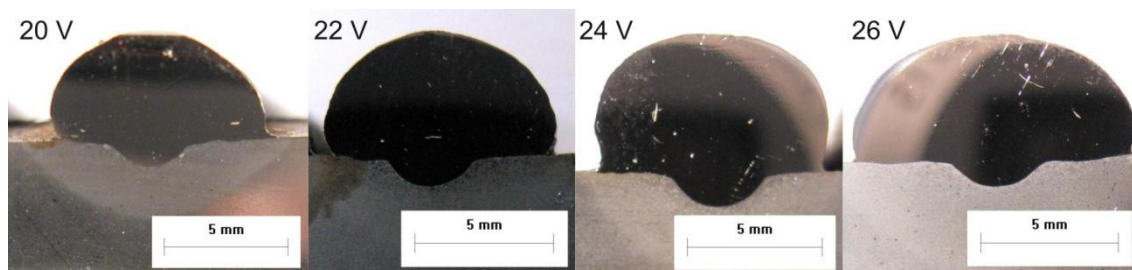


**Figura 6. Influência do Tecimento sobre a diluição.**

Com o uso do tecimento é possível aquecer mais nas laterais da poça de fusão aumentando sua capacidade de molhamento e proporcionando uma melhor distribuição da quantidade de material depositado sobre o material de base, o que resulta numa maior largura e num menor reforço para os cordões de solda, reduzindo assim também os valores da razão R/L, como se observa nas Figuras (2), (3) e (5) (MAGALHÃES, 2008; SCOTTI & PONOMAREV, 2008).

Com relação à penetração e à diluição, apresentadas nas Figuras (4) e (6), há uma redução nos seus valores na condição em que se efetuou o uso do tecimento, devido ao arco ser jogado mais nas laterais da poça, evitando que a força do arco atue sobre o centro a poça de fusão, região onde o material depositado ainda é somente líquido (AWS, 2004; SCOTTI & PONOMAREV, 2008).

As melhorias significativas em todas as variáveis respostas obtidas pelo uso do tecimento mostradas através dos gráficos das Figuras (2) a (6) também podem ser comprovadas através da comparação entre a Figura (7) e a Figura (8).



**Figura 7. Geometria dos cordões de solda sem tecimento.**



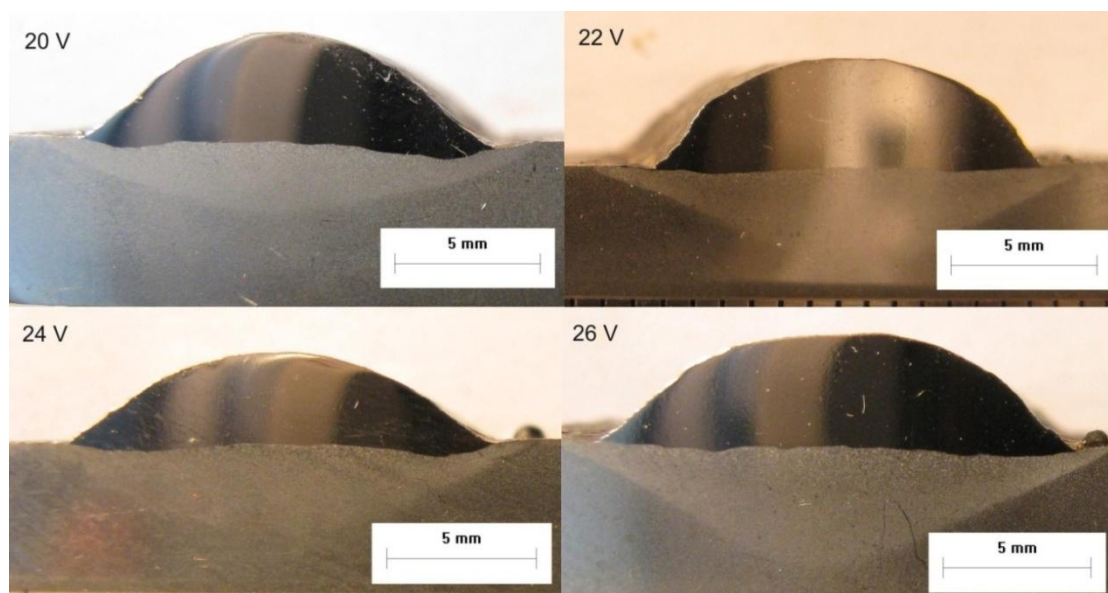


Figura 8. Geometria dos cordões de solda com tecimento triangular.

#### 4. CONCLUSÕES

- As soldagens sem o uso do tecimento apresentaram geometrias do tipo taça, comuns nas soldagens utilizando argônio, como gás de proteção. Observa-se ainda, nas soldagens sem o uso de tecimento, que os cordões de solda apresentaram um alto valor de reforço, com valores de largura e penetração baixos o que gera uma convexidade excessiva (valores altos da razão R/L) destes cordões. Já nas soldagens com o uso do tecimento, os cordões apresentaram valores baixos da razão R/L, sendo estes cordões mais indicados para soldagens de revestimento, pois minimizam a possibilidade da ocorrência de vazios ao se efetuar a sobreposição dos cordões de solda em uma operação de revestimento.
- Os resultados apresentados na Tabela 3 e na Tabela 4 mostram que, com a transferência por curto-circuito, é possível obter-se diluições do cordão de solda com valores máximos de 18,58% (Ensaio 37) e valores mínimos de 2,13% (Ensaio 19), ou seja, a transferência por curto-circuito é capaz de obter baixos valores de diluição chegando à ordem de 2% quando se efetua o tecimento.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Engenharia de Soldagem, ao Laboratório de Caracterização de Materiais pertencentes a Universidade Federal do Ceará pelo suporte na realização dos experimentos, ao PRH-31(ANP) e ao CENPES (Petrobras) pelo suporte financeiro.

#### 6. REFERÊNCIAS

- AWS., 2004, "Welding Handbook - Welding Processes", 8ª ed. Miami: American Welding Society, v.2.
- MAGALHÃES, S. G., 2008, "Avaliação do revestimento a base de liga de níquel em aço estrutural empregando o metal de adição ERNiCrMo-3 através da soldagem MIG/MAG". Dissertação. -, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- SCOTTI, A. & PONOMAREV, V., 2008, "Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho". 1 ed. São Paulo: Artlibre, 284 p.

#### 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA  
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING  
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil  
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

## INFLUENCE OF ARC OSCILLATION ON WELD BEAD GEOMETRY AND ON DILUTION THROUGH THE GMAW PROCESS IN A SHORT CIRCUITING TRANSFER MODE EMPLOYING AWS ERNiCrMo-3

Antonio Rodolfo Paulino Pessoa, antrodolfo.pessoa@bol.com.br<sup>1</sup>

Francisco de Assis Filho, assisfilho@yahoo.com.br<sup>1</sup>

Hélio Cordeiro de Miranda, hmiranda@ufc.br<sup>1</sup>

Jesuáldo Pereira Farias, jpfarias@ufc.br<sup>1</sup>

Willys Machado Aguiar, willys@ifce.edu.br<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará, Bloco 715 - Campus do Pici - cep. 60455-760 - Pici - Fortaleza, CE.

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Indústria – Av. 13 de maio, 2081 - cep. 60040-531- Benfica - Fortaleza, CE

**Abstract.** *The aim this work is to evaluate the influence of arc oscillation on weld bead geometry (width, reinforcement, penetration, the ratio between reinforcement and bead width and dilution) deposited with AWS ERNiCrMo-3, with the intention of to help in the choice of the best welding parameters for operations weld overlay with nickel alloy through the GMAW process in a short circuiting transfer mode. It was carried out weldings of simple deposit of the electrode AWS ERNiCrMo-3 with diameter of 1,2mm on steel ASTM A-36 with dimensions of 200 x 50 x 6 mm. The tests were made in the form of a complete factorial of the welding parameters, which two arc oscillation types were used (linear and triangular weaving). The results showed that the use of arc oscillation promoted weld bead with low values of the ratio R/L and obtained low values of dilution arriving to the order of 2%.*

**Keywords:** Arc oscillation, Weld bead geometry, Nickel alloys, GMAW, Short circuiting transfer.

### 1. RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.