

# 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



## TÍTULO DO TRABALHO:

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS CORDÕES DE SOLDA REALIZADOS ATRAVÉS DO PROCESSO MIG/MAG COM TRANSFERÊNCIA METÁLICA POR CURTO-CIRCUITO EMPREGANDO O ELETRODO ERNiCrMo-3

## AUTORES:

Antonio Rodolfo Paulino Pessoa, Willys Machado Aguiar, Hélio Cordeiro de Miranda, Jesualdo Pereira Farias, Francisco de Assis Filho.

## INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Ceará e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

*Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.*

## **AValiação DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS CORDÕES DE SOLDA REALIZADOS ATRAVÉS DO PROCESSO MIG/MAG COM TRANSFERÊNCIA METÁLICA POR CURTO-CIRCUITO EMPREGANDO O ELETRODO ERNiCrMo-3.**

### **Abstract**

In this work aim we studied the influence of welding parameters on weld bead geometry. The welding consisted of simple deposit of the electrode ERNiCrMo-3 at mild steel ASTM A-36. The results showed that the short circuiting transfer mode is able to obtain low values of dilution and arc oscillation promotes Weld bead with lower values for ratio R / L.

### **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 da PETROBRAS 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. E 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 numero de paradas a PETROBRAS através de estudos preliminares do Centro de Pesquisa da Petrobrás – CENPES, indicam o uso das ligas de níquel 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 para substituir ou adequar os equipamentos empregados nas unidades de destilação e de processamento do petróleo, 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 dos parâmetros de soldagem sobre as características geométricas dos cordões de solda depositados com a liga ERNiCrMo-3.

## Metodologia

Para a realização dos experimentos foi 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 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 dos parâmetros de soldagem (tensão de referência, velocidade de alimentação, velocidade de soldagem e efeito 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 ( $V_{alim} = 5, 6, 7$  e  $8$  m/min), duas velocidades de soldagem ( $V_s = 0,2$  e  $0,4$  m/min) e por fim dois tipos de tecimento (Sem Tecimento e Tecimento triangular).

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 e a diluição é calculada através da Equação 1.

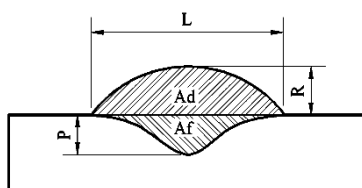


Figura 1 - Representação esquemática das dimensões geométricas das seções transversais dos cordões de solda.

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

Equação 1

Onde:

$Ad$  – Área depositada do cordão (Figura 1)

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

## Resultados e Discussão

### 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 1. 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.

Tabela 1- Nível de significância dos fatores de controle sobre as características geométricas.

Fator de Controle	Nível de $\alpha$				
	Largura	Reforço	Penetração	Razão R/L	Diluição
Ur (V)	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,602	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>
Valim (m/min)	0,358	<b>0,000</b>	<b>0,042</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>
Vs (m/min)	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Tecimento	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>

### Influência da Tensão de referência (Ur)

Conforme mostra a Tabela 1 a tensão de referência afetou significativamente todas as variáveis respostas analisadas, exceto a penetração que não demonstrou ter sido afetada por este fator de controle. As Figuras 2, 3, 4 e 5 mostram graficamente a influência de Ur sobre as variáveis respostas afetadas significativamente.

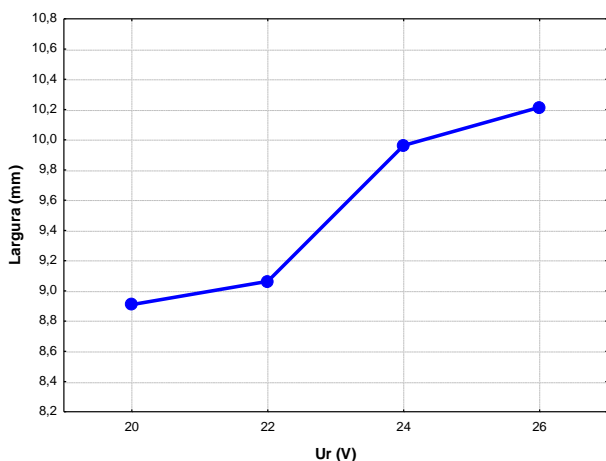


Figura 2 - Influência da Ur sobre a largura.

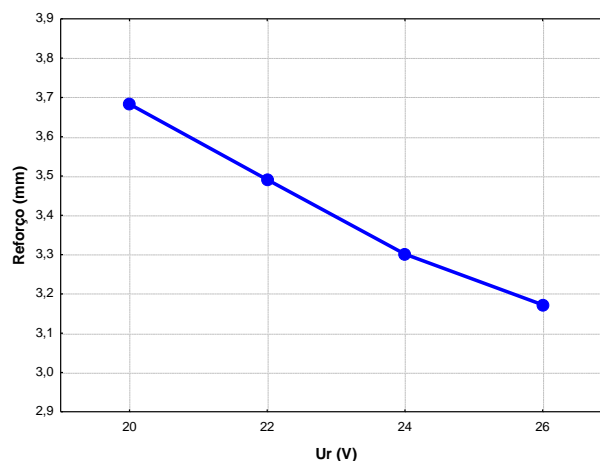


Figura 3 - Influência da Ur sobre o reforço.

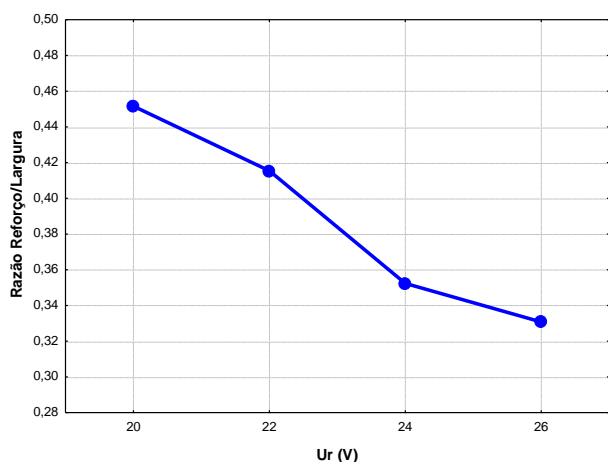


Figura 4 - Influência da Ur sobre a razão R/L.

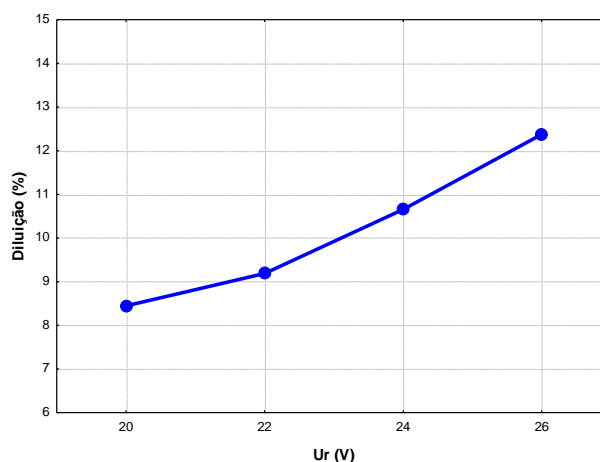


Figura 5 - Influência da Ur sobre a diluição.

Ao analisar as Figuras 2, 3 e 4 verifica-se que o aumento da tensão de referência proporciona um aumento na largura e uma redução nos valores do reforço e da razão R/L dos cordões de solda. Isto se deve ao fato que para maiores valores de tensão de referência tem-se um maior comprimento de arco, que por sua vez proporciona uma coluna de plasma mais ampla em sua extensão, ou seja, com isso o cordão de solda torna-se mais largo e mais achatado, resultando num menor reforço e numa menor razão R/L (Gomes, 2006 e Scotti, 2008). Como pode ser visto na Figura 5 com o aumento na tensão de referência há um aumento nos valores de diluição dos cordões de solda. Fato que se deve ao aumento da  $U_r$  provocar um aumento significativo ( $\alpha = 0,001$ ) da área fundida enquanto a área depositada não foi afetada significativamente ( $\alpha = 0,969$ ) resultando em maiores valores de diluições.

### Influência da Velocidade de alimentação (Valim)

Com base na Tabela 1 verifica-se que o reforço, a penetração, a razão R/L e a diluição foram significativamente afetados pela Valim e apenas a largura do cordão de solda não sofreu influência significativa deste fator de controle. Das figuras 6 a 9 são mostradas graficamente a influência da Valim sobre estas variáveis respostas.

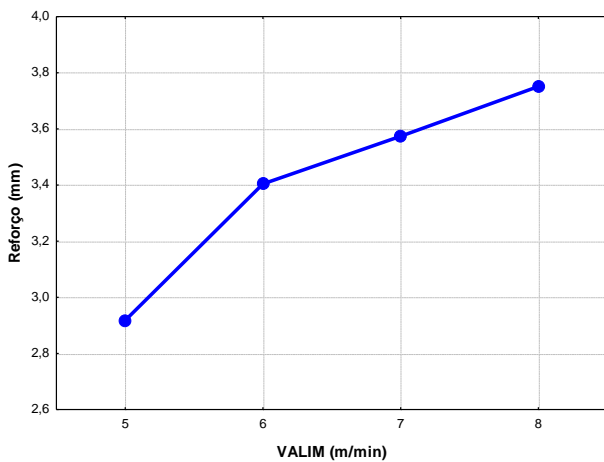


Figura 6 - Influência da Valim sobre o reforço.

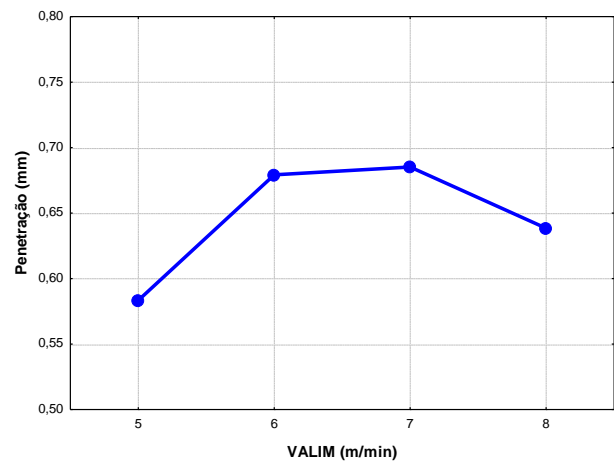


Figura 7 - Influência da Valim sobre a penetração.

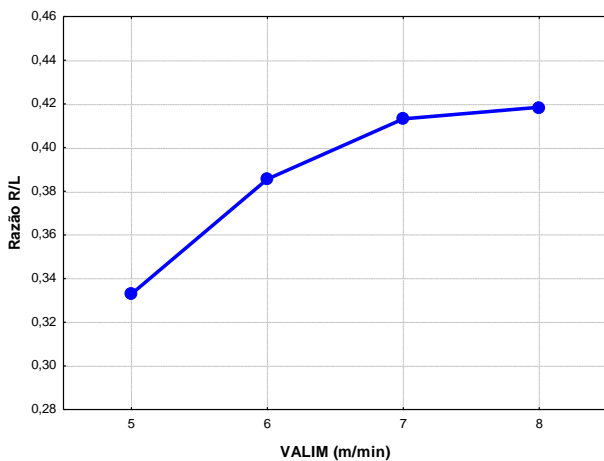


Figura 8 - Influência da Valim sobre R/L.

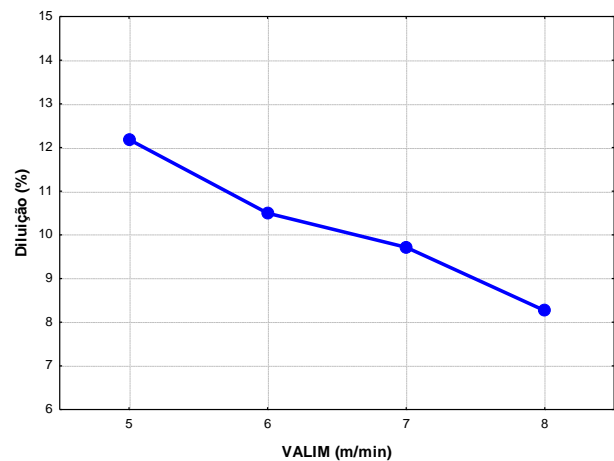


Figura 9 - Influência da Valim sobre a diluição.

Na transferência metálica por curto-circuito convencional, ou seja, a fonte de soldagem operando no modo de tensão constante um aumento na Valim acarreta em um aumento da corrente de soldagem e um aumento na taxa de deposição. O aumento na taxa de deposição resulta em uma maior quantidade de material depositado por unidade de comprimento, resultando em maiores reforços e maiores valores da razão R/L como pode ser visto nas Figuras 6 e 8. No caso da penetração conforme a Figura 7 há uma tendência de aumento para as Valim de 5 a 7 m/min e para a Valim de 8,0 m/min há uma redução

da penetração isso se deve ao fato que o aumento da corrente de soldagem implica em uma maior quantidade de calor imposta a peça, mas por outro lado há também um aumento na quantidade de material depositado o que, em altos valores de Valim, proporciona um elevado reforço que pode atuar como uma barreira e amortecer a força do arco sobre a poça de fusão, ocasionando uma redução na penetração. Efeito que também explica a redução da diluição (Figura 9) com o aumento da Valim (AWS, 2004; SCOTTI & PONOMAREV, 2008).

### Influência da velocidade de soldagem ( $V_s$ )

Como pode ser visto na Tabela 1 a velocidade de soldagem exerceu influência significativa sobre todas as variáveis resposta analisadas e esta influência é mostrada graficamente através das Figuras 10 a 14 mostradas a seguir.

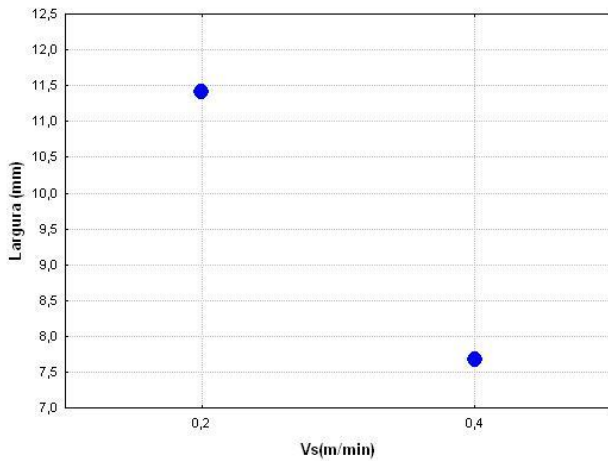


Figura 10 - Influência da  $V_s$  sobre a largura.

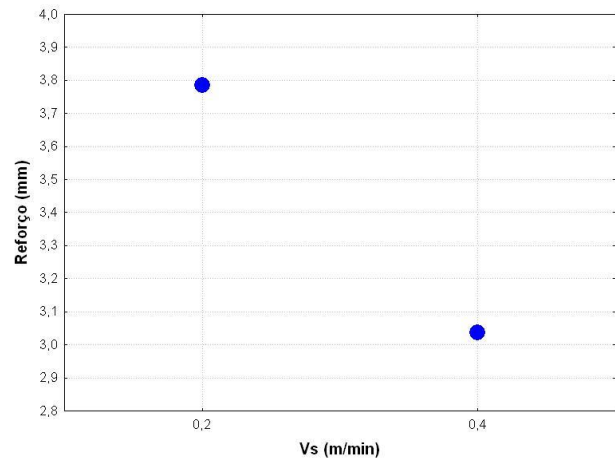


Figura 11 - Influência da  $V_s$  sobre o reforço.

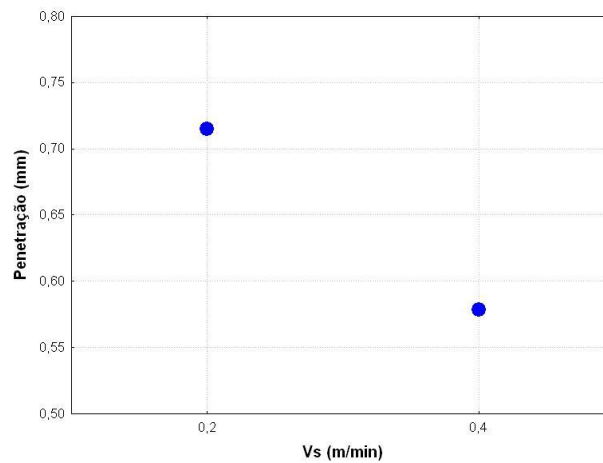


Figura 12 - Influência da  $V_s$  sobre a penetração.

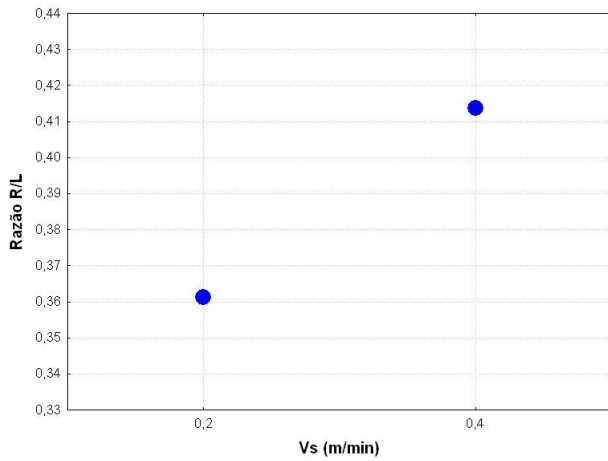


Figura 13 - Influência da Vs sobre a razão R/L.

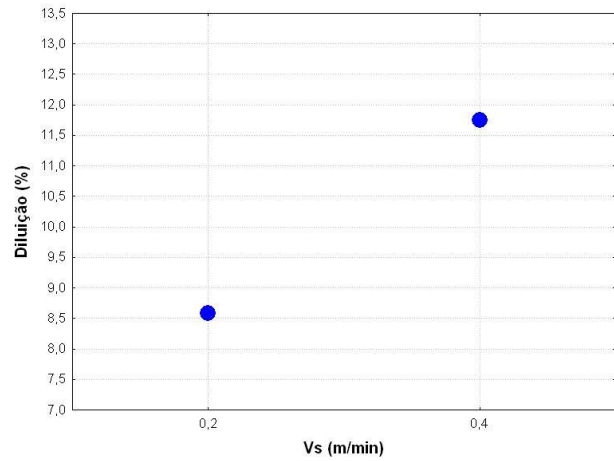


Figura 14 - Influência da Vs sobre a diluição.

De acordo com as Figuras 10, 11 e 12 há uma redução nos valores de largura, reforço e penetração para maiores velocidade de soldagem, isso se deve ao fato de que um aumento na velocidade de soldagem, promove uma redução na quantidade de material depositado por unidade de comprimento e uma redução na quantidade de calor imposta à peça. Já a diluição e a razão R/L mostradas nas Figuras 15 e 16 apresentaram aumento significativo com o aumento da velocidade de soldagem. Com relação ao fator R/L maiores velocidades de soldagem dificultam uma melhor “molhabilidade” da peça ocasionando um reforço alto e uma largura pequena. No caso da diluição maiores velocidades de soldagem promovem uma redução mais acentuada na área depositada (≈51,6%) que na área fundida (≈28,6%), ocasionando assim maiores valores de diluição (KEJELIN et al., 2007; SCOTTI & PONOMAREV, 2008).

### Influência do Tecimento

Conforme a Tabela 1 o uso de tecimento influenciou significativamente todas as variáveis resposta. Nas Figuras 15 a 18 são apresentados os comportamentos das variáveis resposta nas condições sem tecimento (ST) e com o uso do tecimento triangular (TT).

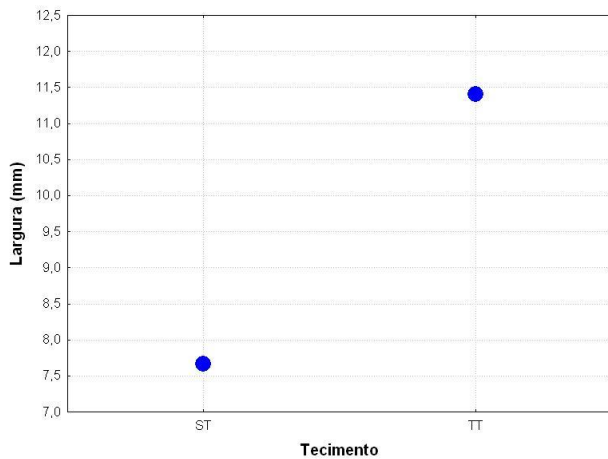


Figura 15 - Influência do Tecimento sobre a largura.

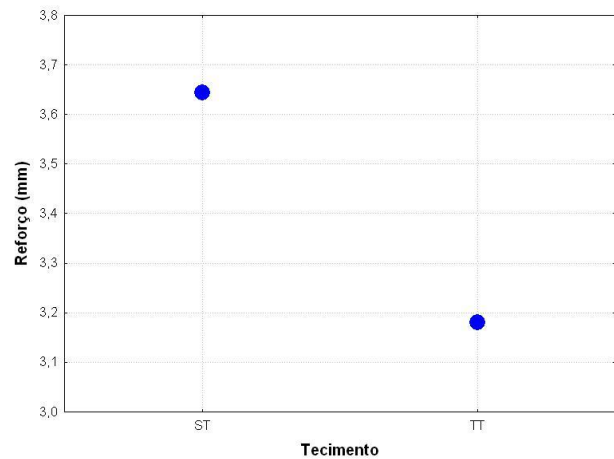


Figura 16 - Influência do Tecimento sobre o reforço.

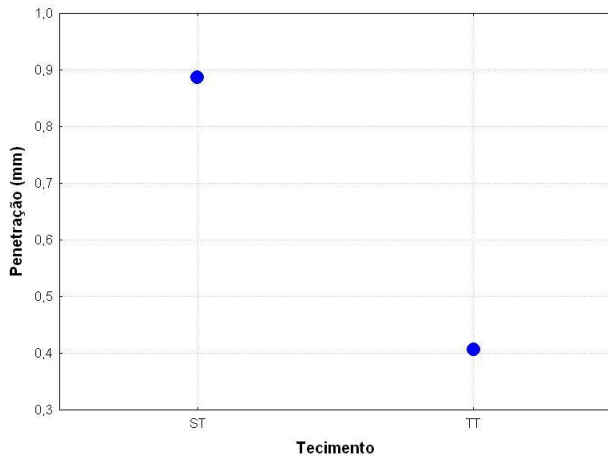


Figura 17 - Influência do Tectimento sobre a penetração.

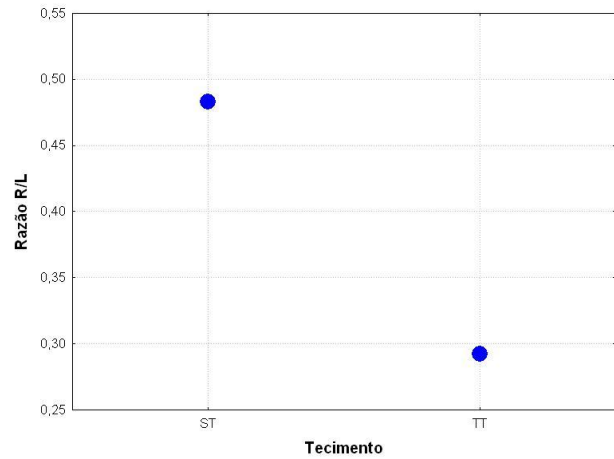


Figura 18 - Influência do Tectimento sobre a razão R/L.

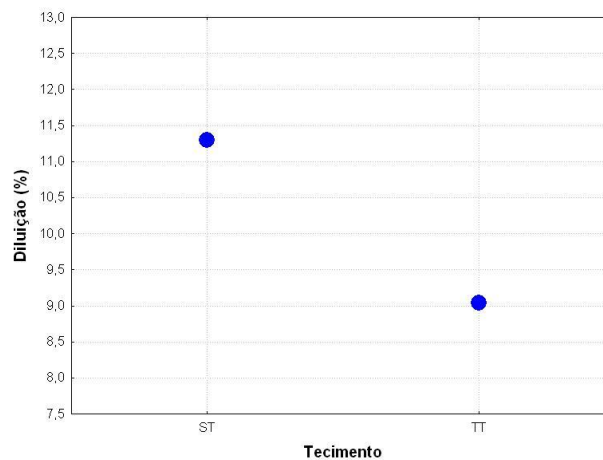


Figura 19 - Influência do Tectimento sobre a diluição.

Como mostrado nas Figuras 15, 16 e 18 com o uso do tectimento 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 (MAGALHÃES, 2008; SCOTTI & PONOMAREV, 2008). Com relação à penetração e a diluição apresentadas nas Figuras 17 e 19 há uma redução nos seus valores na condição onde se efetuou o uso do tectimento, 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 (SCOTTI & PONOMAREV, 2008).

## Conclusões

- Foi possível obter a transferência metálica por curto-circuito para tensões de referência ( $U_r$ ) da ordem de 20 a 24V e para velocidades de alimentação ( $V_{alim}$ ) na faixa de 5,0 a 8,0 m/min.
- Apesar de terem sido realizadas soldagens com tensão de referência de 26 V estas soldagens foram descartadas, pois para uma  $V_{alim}$  abaixo de 8,0 m/min apresentaram transferências metálicas mistas do tipo globular/curto-circuito, gerando instabilidade e fugindo assim do escopo do trabalho.
- As soldagens sem o uso do tectimento apresentaram geometrias do tipo taça, comuns nas soldagens utilizando argônio como gás de proteção. Pode observar 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 defeitos ao se efetuar a sobreposição dos cordões de solda em uma operação de revestimento.

- Os resultados obtidos mostraram que com a transferência por curto circuito, é possível obter-se diluições do cordão de solda com valores máximos de 18,58% e valores mínimos de 2,13%, ou seja, transferência por curto-circuito é capaz de obter baixos valores de diluição chegando à ordem de 2% quando se efetua o tecimento.

### **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.

### **Referências Bibliográficas**

AWS. Welding Handbook - Welding Processes. 8ª ed. Miami: American Welding Society, v.2. 2004

KEJELIN, N. Z., BUSCHINELLI, A. J. A. e POPE, A. M. Influence of Welding Parameters on the Formation of Partially Diluted Zones of Dissimilar Metal Welds. Soldagem & Inspeção, v.12, n.3, Jul./Set., p.195 - 203, 2007.

MAGALHÃES, S. G. Avaliação do revestimento a base de liga de níquel em aço estrutural empregando o metal de adição ERNiCrMo-3 através da soldagem MIG/MAG. 2008. Dissertação. -, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

SCOTTI, A. & PONOMAREV, V. Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho. 1 ed. São Paulo: Artlibre. 2008. 284 p.