

# CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DE SOLDAGEM E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE SOLDAS DE REVESTIMENTO

**Alderi PAntoja Fernandes**

Universidade Federal do Pará, Travessa Padre Eutíqueo Vila Santa Lúcia nº 33,  
[alderi.ufpa@gmail.com](mailto:alderi.ufpa@gmail.com)

Dineusa Jesus dos Santos

Carlos Alberto Mendes da Mota

Eduardo de Magalhães Braga

Fábio Luís Castro Marinho

**Resumo.** *Este trabalho analisa a correlação existente entre os parâmetros de soldagem e as propriedades mecânicas de soldas de revestimento de aço inoxidável austenítico sobre substratos de aço carbono, utilizando-se o processo FCAW nos modos de corrente pulsado e convencional com três variações no insumo de calor. Quatro cordões foram depositados sobre a superfície do metal de base com uma sobreposição de aproximadamente 30% e temperatura de interpasse de 100°C. A análise de propriedades mecânicas foi feita através das medições de microdureza, segundo a norma ASTM E 384. Para cada cordão foram feitas cinco medições de microdureza e também cinco medições nas áreas de sobreposição, estimando-se assim um comportamento médio da microdureza no revestimento através da média dessas cinco medições em cada ponto. Os resultados obtidos nos mostraram que o uso da corrente pulsada proporcionou um aumento nos valores de microdureza em relação às soldas feitas no modo convencional. Nas regiões de sobreposição não houve grandes variações nos valores de microdureza com relação ao cordão anteriormente depositado. Esse tipo de comportamento pode ser explicado devido à constituição da zona fundida dos aços inoxidáveis austeníticos nessas regiões.*

**Palavras-chave:** *Microdureza, Propriedades Mecânicas, Soldagem de Revestimento.*

## 1. INTRODUÇÃO

Soldagem de revestimento é uma técnica de modificação da superfície envolvendo a deposição de um metal de adição num substrato para obter algumas propriedades desejadas. Sabe-se que a deterioração de peças e equipamentos pelo fenômeno de desgaste proporciona consideráveis perdas econômicas, e a soldagem de revestimento tem assumido uma importância cada vez maior, já que realiza a reconstituição de peças e estruturas avariadas fazendo a deposição de camadas protetoras com baixo custo operacional e ainda favorece a redução do tempo de parada não programada em instalações onde se fazem necessários reparos em partes danificadas. Desta forma, esta técnica se apresenta como uma solução prática e viável segundo Alcântara<sup>(1)</sup>.

Dentre os materiais que são utilizados na soldagem de revestimento temos destaque especial para os aços inoxidáveis, em especial os austeníticos, devido sua boa resistência à oxidação e a corrosão, além de boa resistência mecânica. Sua resistência à corrosão em meios agressivos permite que seja empregado em recipientes, tubulações e componentes de equipamentos para processamento

de produtos alimentares e farmacêuticos, de celulose e papel, produtos de petróleo e produtos químicos em geral.

Uma das técnicas mais usadas para a aplicação de revestimentos metálicos é a “weld overlay” que é um método muito utilizado para o controle de corrosão. Consiste em revestir com cordões de solda uma determinada superfície onde se requer certas propriedades, por exemplo, vasos de pressão ou reatores são revestidos internamente por esta técnica utilizando aços inoxidáveis austeníticos para melhorar sua resistência à corrosão, conforme explicado por Tsay & Lin<sup>(2)</sup>.

Na soldagem de revestimento do aço inoxidável em aço carbono existem grandes diferenças de composições químicas entre os metais de solda e de base; de acordo com Brandim<sup>(3)</sup>, a diluição em excesso torna-se indesejável já que pode prejudicar as propriedades de dureza e resistência ao desgaste e corrosão, implicando em microestruturas e, portanto, propriedades diferentes. D’Oliveira<sup>(4)</sup> ressalta ainda a importância de se obter baixos níveis de diluição nos processos de deposição de revestimentos metálicos.

## 2. METODOLOGIA

Para este trabalho foram usadas chapa de aço carbono ABNT 1020 como metal base nas dimensões de 150 x 200 x 9,5mm; e sobre elas depositadas as soldas de revestimento de aço inoxidável austenítico da classe AWS E 317LT1.

Na Tabela 1 temos a composição química desse arame, com 1,2mm de diâmetro, fornecida pelo fabricante e na Tabela 2 suas propriedades mecânicas.

Tabela 1 – Análise química do metal depositado não-diluído (% peso)

	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu
<b>E317LT1</b>	0.028	1.610	0.750	0.004	0.020	18.870	13.020	3.810	0.050

Fonte: Welding Alloys do Brasil Ltda.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas

	Limite de Escoamento (N/mm <sup>2</sup> )	Limite de Ruptura (N/mm <sup>2</sup> )	Elongamento (%)	Energia de Impacto (J)
<b>E317LT1</b>	470	590	35	56 (a 20°)

Fonte: Welding Alloys do Brasil Ltda.

A soldagem foi realizada na posição plana utilizando uma fonte eletrônica devidamente ajustada em tensão constante com polaridade positiva. Quatro cordões foram depositados com uma sobreposição de aproximadamente 30% e com uma temperatura de interpasse de 100° C. As soldas foram totalmente automatizadas com sentido de soldagem empurrando. Utilizou-se o processo FCAW nos modos convencional e pulsado. Para fazer a proteção durante a soldagem uma mistura de gases, composta por 75% de Argônio e 25% de CO<sub>2</sub>, foi utilizada como atmosfera protetora numa vazão de 20 l/min.

A metodologia experimental para a obtenção dos parâmetros de pulso, é mais complexa do que para o modo convencional e consiste na realização de cálculos de parâmetros a partir de resultados experimentais e de equações disponíveis na literatura. Neste trabalho as equações propostas por Amim<sup>(5)</sup> foram utilizadas. Estas equações fornecem como resultado os parâmetros de destacamento conforme descrito por Nascimento<sup>(6)</sup>.

Os parâmetros a serem utilizados em corrente convencional devem fornecer um valor de energia de soldagem o mais próximo possível do valor alcançado quando da utilização do modo corrente pulsada. O aporte térmico é calculado através da Equação (1), no entanto o “software” utilizado para aquisição de dados fornece o valor da potência do arco e, portanto, para atingirmos valores de aportes térmicos semelhantes em ambos os modos de corrente, devemos verificar inicialmente o valor do aporte térmico obtido no modo pulsado e ajustar o valor do aporte térmico para o modo

convencional através da velocidade de soldagem que é o parâmetro de maior grau de liberdade e o mais fácil de ser alterado, além de ser menos influente no modo de transferência metálica.

$$A_T = \frac{U \times I}{v} \Rightarrow A_T = \frac{W}{v} \quad (1)$$

- $A_T$  – Aporte térmico (kJ/cm)
- $U$  – Tensão de soldagem (V);
- $I$  – Intensidade de corrente (A);
- $W$  – Potência do arco (Watt);
- $v$  – velocidade de soldagem (cm/min);

Três valores diferentes de aporte térmico foram utilizados, a saber: 20, 22 e 24 kJ/cm.

Nas tabelas 3 e 4 temos, respectivamente, os parâmetros de soldagem para o modo pulsado e convencional onde  $V_a$  é a velocidade de alimentação do arame eletrodo;  $t_p$  é o valor do tempo de pico;  $I_p$  representa o valor da corrente de pico;  $t_b$  e  $I_b$  representam, respectivamente, o tempo de base e a corrente de base.

Tabela 3 – Parâmetros de soldagem em Corrente Pulsada

$V_a$ (m/min)	$t_p$	$I_p$	$t_b$	$I_b$
8	1,5	336	4,5	133
9	1,5	336	3,8	150
10	1,5	336	3,3	168

Tabela 4 – Parâmetros de soldagem em Corrente Convencional

$V_a$ (m/min)	Tensão (V)
8	33
9	35
10	36

Para a medição das propriedades mecânicas foi utilizado o teste de microdureza. De acordo com a forma do penetrador podemos ter vários tipos de microdurezas: Rockwell, Brinel, Vickers, Knoop, etc. Para este trabalho foi usado um penetrador de diamante em formato de pirâmide de base quadrada, que caracteriza a microdureza Vickers.

Para a realização dos testes as chapas soldadas foram seccionadas transversalmente 40 mm a partir do começo do cordão e com uma largura de 10 mm. A Figura 1 mostra esquematicamente esse corte.

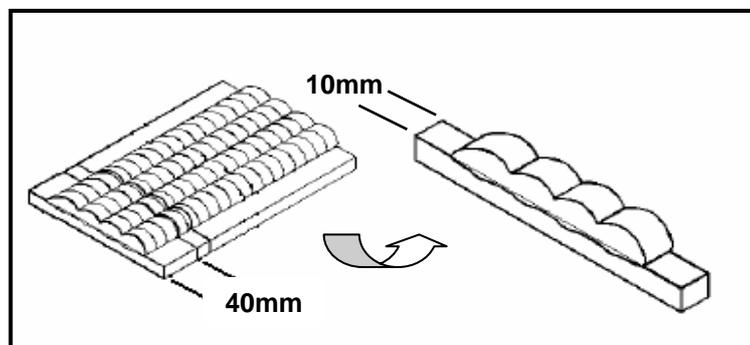


Figura 1 – Secção transversal retirada para o ensaio de microdureza Vickers

As amostras foram preparadas para o ensaio de microdureza Vickers segundo a norma ASTM E 384<sup>(7)</sup>, suas superfícies foram devidamente lixadas, polidas e submetidas à limpeza por ultra-som com objetivo de remover qualquer tipo de resíduo superficial.

Para as medições de microdureza foi utilizado um microdurômetro SHIMADZU HMV-2, a pressão aplicada foi da ordem de 4,903 N durante um tempo de 15 segundos. Na Figura 2 temos as regiões das quais foram medidos os valores da microdureza.

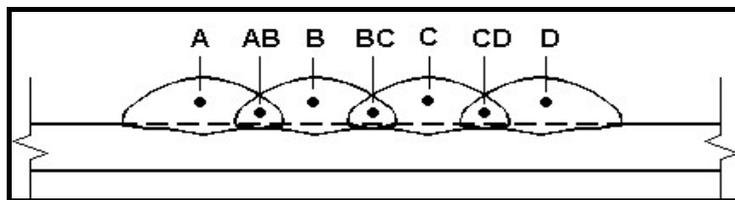


Figura 2 – Esquema das regiões usadas na microdureza.

A primeira região do revestimento (região A) está situada no centro do primeiro cordão depositado; a segunda região (AB) se situa na extensão de sobreposição do primeiro com o segundo cordão e assim sucessivamente para as demais regiões até o final do revestimento representado pela região central do último cordão depositado (região D).

Em cada um desses pontos foram feitas cinco medidas. Em cada grupo de impressões foi calculado o valor médio de microdureza, tendo-se dessa forma um comportamento médio dessa propriedade para cada revestimento estudado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Modo de Corrente

Pode-se observar nos gráficos das Figuras 3 e 4, que o uso da corrente pulsada proporcionou maiores valores de microdureza em relação àqueles obtidos com corrente convencional, apenas no gráfico da figura 5 esse comportamento não foi observado. Esses resultados estão de acordo com o trabalho de French e Bosworth<sup>(8)</sup> quando afirmam que o uso da corrente pulsada melhora as propriedades mecânicas, mostrando assim que houve influência do tipo de corrente sobre essa propriedade do material. Esse fato pode ser explicado pelo provável refinamento microestrutural imposto pela pulsação da corrente.

É possível observar ainda que de maneira geral, nas regiões de sobreposição, não obtivemos uma grande variação nos valores de microdureza em relação ao passe anterior, isso analisando os modos de corrente separadamente; e especialmente no modo pulsado. Esse tipo de comportamento pode ter sido devido o passe subsequente não ter provocado mudanças de fases no passe anterior.

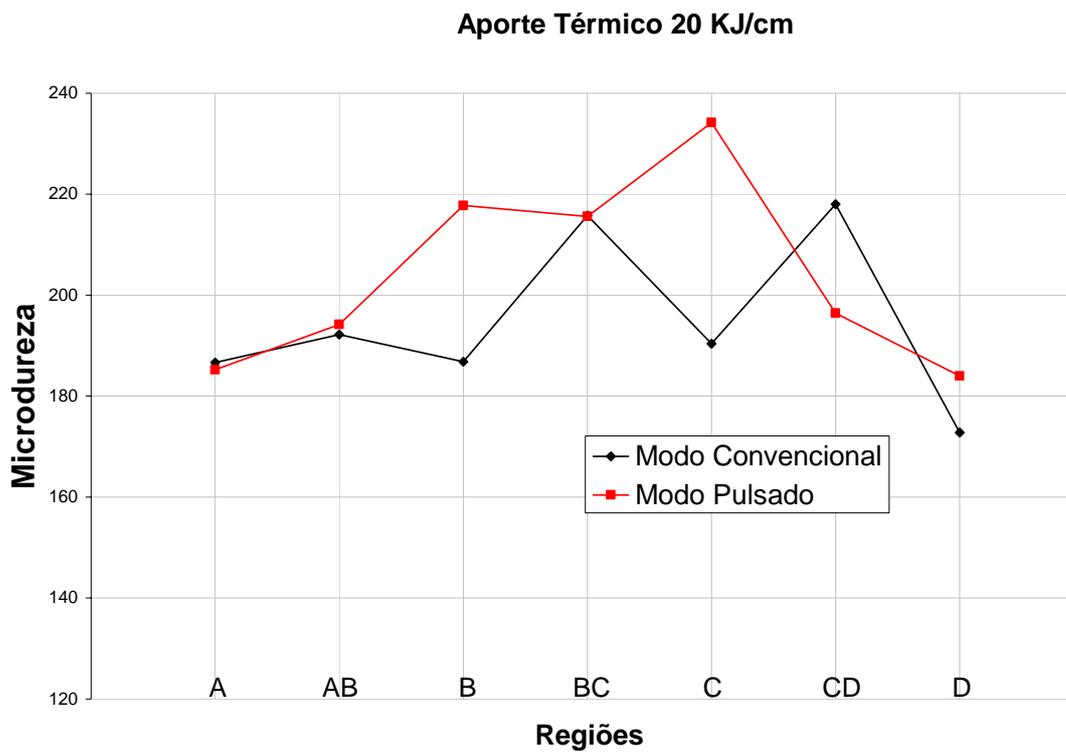


Figura 3 – Gráfico com o comportamento da microdureza nas regiões analisadas para o aporte térmico de 20 kJ/cm

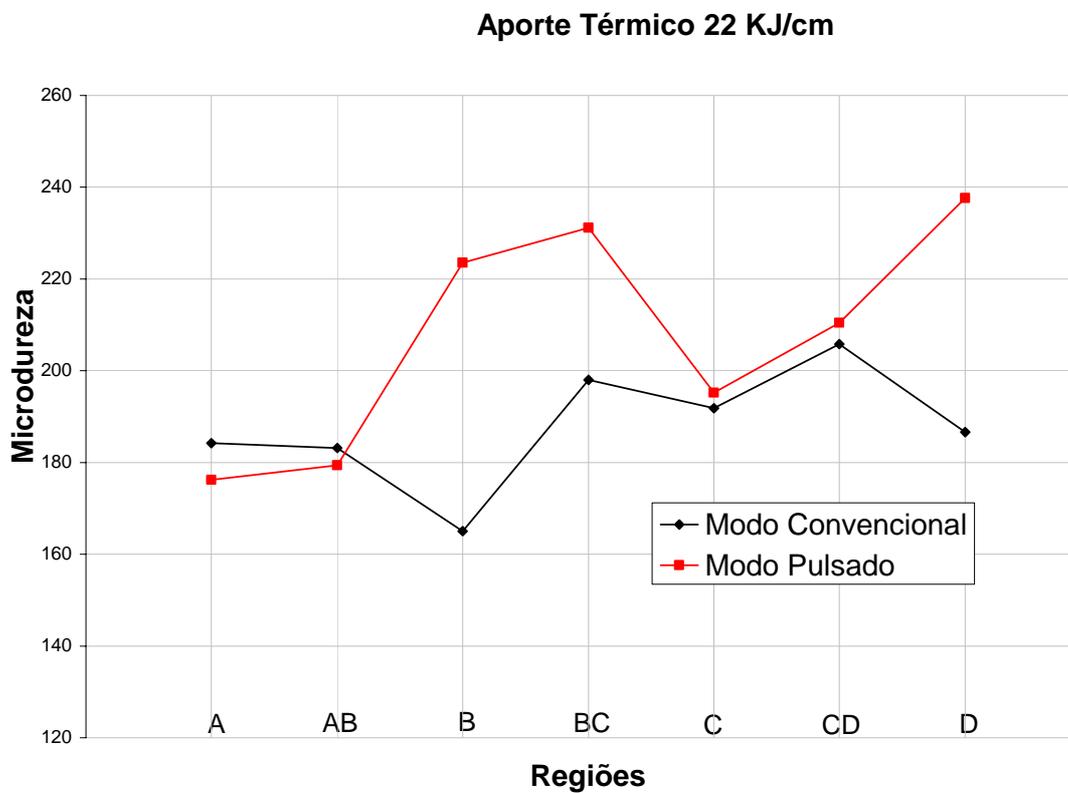


Figura 4 – Gráfico com o comportamento da microdureza nas regiões analisadas para o aporte térmico de 22 kJ/cm

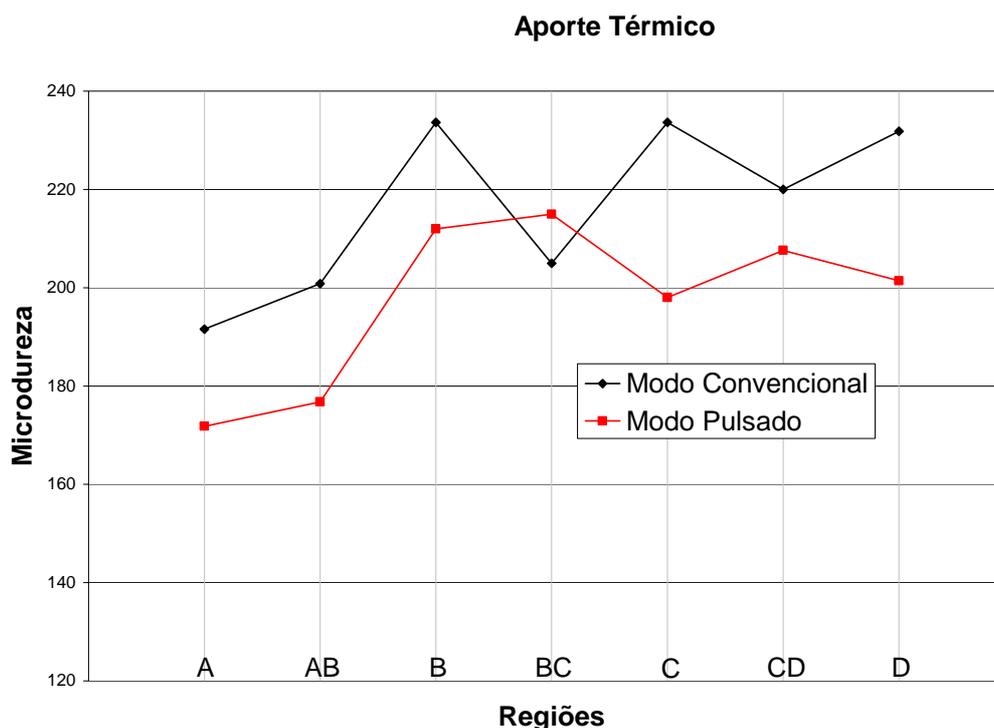


Figura 5 – Gráfico com o comportamento da microdureza nas regiões analisadas para o aporte térmico de 24 kJ/cm

### 3.2 Aporte Térmico

Para Zeemann<sup>(9)</sup> o aporte térmico é a quantidade de calor adicionada a um material por unidade de comprimento linear. Essa quantidade de calor dependerá muito do processo de soldagem e da técnica que se utiliza. Foi mostrado anteriormente pela equação 1 que o aporte térmico depende diretamente dos parâmetros de soldagem (tensão de soldagem, intensidade de corrente, etc.). Pode então ser avaliada a interferência desses parâmetros nas propriedades mecânicas dos revestimentos através da análise do aporte térmico.

Tanto no modo pulsado como no convencional ocorreu um leve aumento nos valores de microdureza quando se aumentou o insumo de calor nas soldas de revestimento sendo que para o modo pulsado, as médias dos valores dessa propriedade foram superiores. Para uma melhor visualização desses resultados foi feita uma análise de variância (ANOVA) com um nível de significância  $\alpha=5\%$  para os dois modos de corrente com os três níveis de aporte térmico. A tabela 6 mostra os valores máximos e mínimos obtidos nos testes de microdureza e que foram utilizados na análise estatística.

Tabela 6 – Valores máximos e mínimos de HV utilizados na análise de variância.

Convencional			
Aporte térmico (kJ/cm)	20	22	24
Valor máximo (HV)	216,8	205,8	233,6
Valor mínimo (HV)	172,8	165	191,6

Pulsado			
Aporte térmico (kJ/cm)	20	22	24
Valor máximo (HV)	234,2	237,6	215
Valor mínimo (HV)	184	176,2	171,8

Tabela 7 – Análise de variância (ANOVA) para a microdureza

Fator	$\alpha$ %
<b>Processo</b>	62,5
<b>Aporte Térmico</b>	79,2
<b><i>Interação Modo/Aporte</i></b>	<b>0,7</b>

Nível de significância  $\alpha = 5\%$

A tabela 7 mostra os fatores e seus respectivos níveis de significância. Consta-se pela análise que apenas houve influência significativa ( $\alpha=0,7$ ) para a interação entre os dois fatores estudados (aporte térmico e modo da corrente), e que pela análise de apenas um fator, tomando-se o outro como constante, não houve efeito significativo para a propriedade estudada, conforme mostra o gráfico da figura 7 onde FCAW C diz respeito ao modo de corrente convencional e FCAW P ao modo de corrente pulsado.

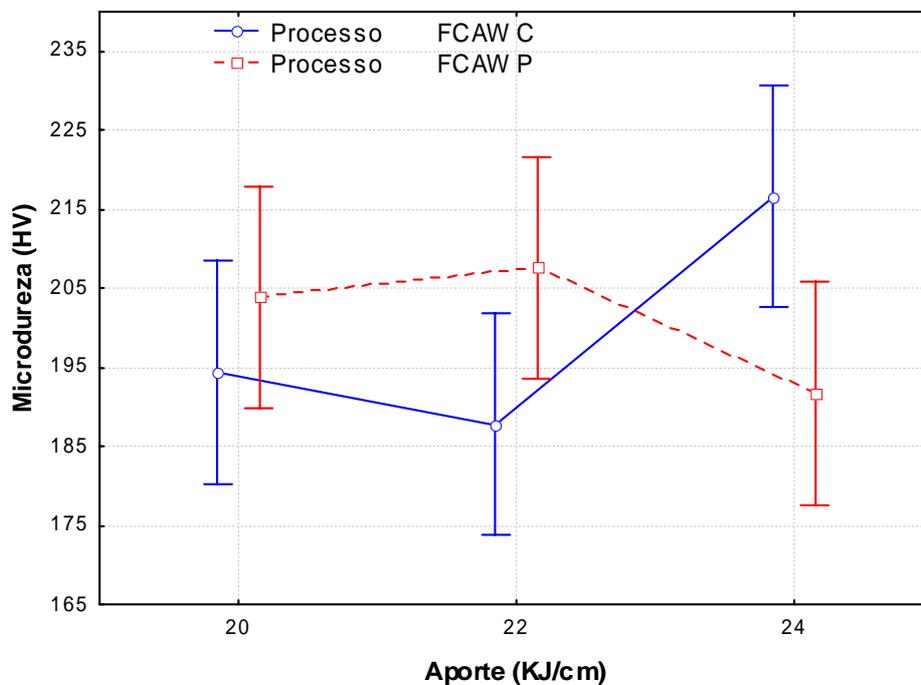


Figura 7 - Gráfico do comportamento da Microdureza em relação ao Aporte Térmico

#### 4. CONCLUSÕES

- O uso da corrente pulsada proporcionou maiores valores de microdureza em comparação àqueles obtidos com corrente convencional com o uso dos aportes de 20 e 22 KJ/cm.
- De modo geral a variação no aporte térmico não provocou grandes variações nos valores de microdureza.

- Para a análise de apenas um fator, tomando-se o outro como constante, não tivemos mudanças significativas nos valores de microdureza. Para a interação entre os fatores, ocorreu efeito significativo.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudo, ao GETSOLDA/UFPA pelo apoio laboratorial e a todos que de alguma forma auxiliaram na realização deste trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS

1. ALCÂNTARA, N. G. I WORKSHOP DE GRUPOS DE PESQUISA DO DEMA, Dez. 2002, Tecnologia da Soldagem.
2. TSAY, L. W.; LIN, W. L. Hydrogen Sulphide Stress Corrosion Cracking of Weld Overlays for Desulfurization Reactors. **Corrosion Science**, vol. 40, n. 4/5, p. 577 – 591, 1998.
3. BRANDIM, A. S.; ALCÂNTARA, N. G.; PARANHOS, R.; Diluição em Soldas de Revestimento Duro Utilizando o Processo de Soldagem a Arco Submerso. In: XXV Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, set. 1999, Belo Horizonte,.
4. D'OLIVEIRA, A. S. C. M; SLURD, R; VILAR.; Soldagem de Superfícies por Laser: A Importância do Substrato. In: XXVI CONSOLDA - Congresso Nacional de Soldagem, set. 2000, Curitiba.
5. AMIM, M. Pulse current parameters for arc stability and controlled metal transfer in arc welding. **Metal construction**, May, 1983.
6. NASCIMENTO, A. S. **Aspectos Operacionais e Metalúrgicos da Soldagem a Arame Tubular**. 2005, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Pará, 2005.
7. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS STANDARDS. **ASTM E384** – 1999.
8. FRENCH, I. E.; BOSWORTH, M. R. A Comparison of Pulsed and Conventional Welding with Basic Flux Cored and Metal Cored Welding Wires. **Welding Journal**, p. 197 – 205, jun. 1995.
9. ZEEMANN, ANNELEISE. Energia de Soldagem. Disponível em <http://www.infosolda.com.br/artigos/metsol105.pdf> Acesso em: 29 Jan. 2006

# CORRELATION BETWEEN WELDING PARAMETERS AND CLADDING MECHANICAL PROPERTIES

**Alderi PAntoja Fernandes**

Universidade Federal do Pará, Travessa Padre Eutíqueo Vila Santa Lúcia n° 33,  
[alderi.ufpa@gmail.com](mailto:alderi.ufpa@gmail.com)

Dineusa Jesus dos Santos

Carlos Alberto Mendes da Mota

Eduardo de Magalhães Braga

Fábio Luís Castro Marinho

**Abstract:** *This work analyzes the correlation between the welding parameters and the cladding mechanical properties of austenitic stainless steel on plain carbon steel, it using the conventional continuous and pulsed FCAW process with three different changes of heat input. Four welds were deposited on the base metal surface with superposed closely in 30% and at temperature of 100°C. The analysis of mechanical properties was realized from of the measurement of microhardness, in accord the ASTM E 384 norm. For every weld fillet were realized five measurements of microhardness and five measurements for each specimen too, valuating thus, the microhardness middle behavior on facing. The results obtained from experiment showing that the use of pulsed current provided a increase on the microhardness values, in relation to welds performed using the conventional method. In the superpose areas didn't occur significant changes on microhardness values in relation to weld fillet deposited setting before. This behavior can be explained due at fusion zone composition of austenitic stainless steel in these*

**Keywords:** *Microhardness, Mechanical Properties, Cladding.*