



ESTUDO DE REVESTIMENTOS À BASE DE INCONEL 625 DEPOSITADOS ATRAVÉS DO PROCESSO DE SOLDAGEM MIG

Aureliano Xavier dos Santos¹; Theophilo Moura Maciel²; Raimundo Quinderé Cruz Neto²;
Renato Alexandre Costa de Santana³

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais –
aureliano@yahoo.com.br

² Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica –
theophilo.maciel@ufcg.edu.br
metocruz@hotmail.com

³ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Licenciatura em Química –
renatoacs@ufcg.edu.br

RESUMO

Objetivou-se neste estudo avaliar os efeitos dos diferentes parâmetros de soldagem sobre o índice de convexidade, diluição e resistência à corrosão dos revestimentos com liga Inconel 625 depositados sobre chapa do aço API 5L X70 utilizado em dutos para transporte de petróleo. Os parâmetros foram otimizados utilizando o planejamento experimental estatístico fatorial para análise dos parâmetros de processo, sendo os resultados analisados pela Metodologia de Superfície de Resposta (MSR). Foram realizados três depósitos com sobreposição de ½ por processo de soldagem MIG (metal inert Gás). Para as análises de corrosão, as superfícies do revestimento foram usinadas ficando com uma altura de 3 mm de acordo com a norma N-1707 da Petrobras para revestimento. O comportamento eletroquímico da superfície do revestimento (Inconel 625) foi investigado a temperatura ambiente em solução de NaCl usando a técnica de polarização potenciodinâmica linear e espectroscopia de impedância eletroquímica. Para revelar a resistência à corrosão dos revestimentos, alguns parâmetros de caracterização relevantes foram analisados tais como: Resistência à polarização (Rp) e Potencial de corrosão (Ecorr), através das curvas de polarização. Os resultados apresentaram valores da diluição D(%) variando de 12,77% a 24,88% nos níveis máximo (18,99 KJ/cm) e mínimo (8,34 KJ/cm) de energia de soldagem, sendo os valores mais relevantes de 12,77%. Já com relação à resistência a corrosão, os resultados foram mais satisfatórios para o nível máximo de energia de soldagem.

Palavras-chave: Soldagem MIG, revestimento, corrosão.

1. INTRODUÇÃO

Para aumentar a vida útil dos aços ARBL API 5L X70 utilizados para a fabricação de tubulações, uma solução muito viável e atualmente em fase de pesquisa, tendo em vista a redução de custo pela não substituição total do material são as técnicas de proteção superficial de componentes, como: metalização por aspersão térmica, galvanização, cladização, eletrodeposição,

pintura, difusão, redução química (niquelação) e soldagem para revestimento [BOND, 2011].

Dentre as técnicas, a do revestimento por soldagem é bastante atrativa por oferecer a proteção através da aplicação de revestimentos unidos metalurgicamente ao substrato. Vários processos de soldagem tem sido utilizados para este fim tais como: Processo a laser, (LBW), processos GTAW ou TIG com alimentação



automática de arame (frio e quente), processo GMAW(MIG/MAG) e o processo à Plasma por Arco Transferido (PTA). Todos eles têm a finalidade de aplicação de uma camada protetora de um material com propriedades superiores sobre o substrato [PESSOA, 2011; ZIKIN, 2013].

Dos processos de soldagem ao arco elétrico, o MIG possui grande importância na área de fabricação e reparo, o qual tem sido cada vez mais utilizado em linhas de montagem industriais do setor petrolífero, devido ao processo oferecer uma boa qualidade dos cordões de solda e com alta taxa de deposição e velocidade de soldagem [ALFARO, 2004].

A técnica do revestimento por soldagem para proteção contra corrosão vem sendo bastante abordada nos últimos anos, utilizando-se aços inoxidáveis e as superligas de níquel, Inconel 625, como metal de adição para revestir componentes e equipamentos da indústria do petróleo e gás natural. Apesar da aplicação da liga Inconel 625 por soldagem ser uma alternativa desejável, em função da liga apresentar elevada resistência em alta temperatura e excelente resistência à corrosão, o custo da mesma é bastante elevada, sendo necessário que seja realizado um planejamento de estudos do processo para aplicação da liga [PESSOA, 2010].

A otimização experimental de processos de soldagem é bem lenta, devido aos vários parâmetros de processos envolvidos e a muitos eventos não lineares [CORREIA, 2005]. O planejamento experimental fatorial se mostra superior aos métodos univariantes. Diante disto, os fatores são simultaneamente variados ao mesmo tempo e não um a cada vez como nos métodos clássicos, admitindo observar as interações dos fatores envolvidos na análise. Métodos univariantes não permitem avaliar as interações e por esta razão não são eficientes como técnicas de otimização [SANTANA, 2007]. A Metodologia de Superfície de Resposta

(MSR) permite que o pesquisador aproxime o mecanismo desconhecido com um modelo empírico adequado, sendo assim a função que representa o modelo é denominado de Superfície de Resposta. A otimização dos dados experimentais para obter um bom ajustamento do modelo de superfície de resposta, requer conhecimentos básicos estatísticos do projeto experimental tais como: técnica de regressão e métodos de otimização elementar [CORREIA, 2005].

Este artigo se propõe a analisar os efeitos dos parâmetros de soldagem através da técnica de Planejamento Experimental numa abordagem estatística e a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) sobre o Índice de convexidade, diluição, e resistência a corrosão de revestimentos da superliga Inconel625 depositados pelo processo MIG a sobre chapas de aço API 5L X70.

2 METODOLOGIA

Como metal de base utilizou-se uma chapa de aço ARBL API XL X70 com 19 mm de espessura. Para preparação dos corpos de prova a chapa foi cortada nas dimensões (145 x 60 x 19) mm. A liga de Níquel, Inconel 625, ER NiCrMo-3, na forma de arame maciço com diâmetro de 1,2 mm foi utilizada como metal de adição. A mistura gasosa (Ar+ 25%He) foi usada como gás de proteção. Os revestimentos foram depositados pelo processo de soldagem MIG. Para otimização dos experimentos foi utilizado um planejamento fatorial completo 2^3 , com 3 experimentos no ponto central, totalizando 11 experimentos. As análises de regressão dos dados experimentais foram interpretadas utilizando-se o software Statistic 10 para estimar a resposta das variáveis dependentes. A Tabela 1 apresenta os valores reais e codificados da matriz de planejamento. Cada variável independente foi investigada para um nível alto (+1) e baixo (-1). Os experimentos do ponto central (0)



foram incluídos na matriz e na análise estatística, para identificar o efeito de cada variável em função das características geométricas, diluição e resistência à corrosão.

Tabela 1: Níveis reais e codificados dos fatores em estudo

Variáveis	Níveis			
	Independentes	-1	0	+1
Tensão (V)	U	26	29	32
Vel.de alim. (m/min)	Va	6	7,5	9
Vel. Solda (cm/min)	Vs	20	25	30

As variáveis independentes (parâmetros de soldagem) dos experimentos foram a tensão (U), a velocidade de alimentação do arame (Va) e a velocidade de soldagem (Vs). Foram mantidos fixos: posição de soldagem (plana), ângulo de ataque da tocha de soldagem ($\alpha = 15^\circ$ com a vertical), sentido de soldagem (empurrando), polaridade corrente reversa (CC+), vazão do gás de proteção (25 L/min) e DBCP de 20 mm. A deposição foi feita com três camadas de revestimentos utilizando uma sobreposição de 1/2 da largura de cada cordão em cada corpo de prova utilizando uma temperatura de interpasse de 100°C.

2.2 Índice de Convexidade e Diluição

As amostras foram avaliadas quanto ao índice de convexidade, $R/L \cdot 100\%$, e diluição. A Figura 1 mostra as regiões correspondentes à largura (L), do reforço (R), penetração (P), área da zona fundida (A_f), área do metal depositado (A_d).

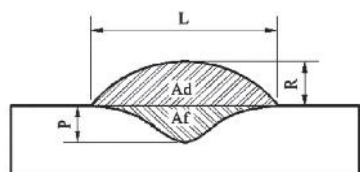


Figura 1. Perfil do cordão de solda.

A diluição é o percentual do metal de base que se dissolve junto ao metal de

adição formando a composição química do metal de solda e pode ser medida em função da área do metal de base fundida, conforme a Figura 1 e a sua quantificação feita de acordo com a equação 1.

$$D (\%) = \frac{A_f}{A_f + A_d} \times 100$$

[1]

2.4 Análise de corrosão

Antes da realização da análise de corrosão dos revestimentos, a superfície das amostras foram usinadas por aplainamento, ficando com uma altura fixa de 3 mm conforme norma 1707 da Petrobras para revestimento. As medidas eletroquímicas de corrosão foram conduzidas em uma célula de três eletrodos. Foram utilizadas as medidas de Polarização Potenciodinâmica Linear (PPL) e espectroscopia de impedância eletroquímica utilizando o equipamento Potenciostato/Galvanostato PG STATE30 da Autolab. O eletrodo de referência utilizado foi o prata/cloreto de prata (Ag/AgCl). O contra eletrodo foi um fio de platina em forma de espira e o eletrodo de trabalho foram as amostras com revestimento de ligas de Ni. As análises de corrosão eletroquímica foram conduzidos no meio corrosivo contendo 60 ml de solução NaCl 0,1 M a temperatura ambiente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliação do Índice de Convexidade e Diluição dos revestimentos utilizando-se a ferramenta de Planejamento Experimental e a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), foi possível investigar a influência das variáveis independentes e a forma de interação entre elas, bem como obter o valor das variáveis dependentes que maximizem os resultados esperados. A Tabela 2 apresenta a matriz de planejamento fatorial 2^3 e os resultados



experimentais das deposições por soldagem com relação as variáveis dependentes: índice de convexidade $IC=r/L*100\%$, diluição (D%), resistência a polarização(K), Potencial de corrosão(E_{corr}), percentual de Ferro (Fe%) e Energia de Soldagem H(KJ/cm), quando se faz variar as variáveis independentes: tensão U(V), velocidade de alimentação V_a (m/min) e velocidade de soldagem (V_s).

Tabela 2 : Matriz de Planejamento e Resultados

Exp	Variáveis Independentes			Variáveis Dependentes					
	U	V_a	V_s	IC %	D %	Rp	E_{corr}	Fe %	H
1	26	6	20	30,12	16,25	247,87	-0,283	5,82	12,4
2	32	6	20	21,11	22,22	333,01	-0,228	7,28	16,96
3	26	9	20	25,16	20,04	304,45	-0,255	10,56	15,29
4	32	9	20	22,94	24,88	375,56	-0,212	17,74	18,99
5	26	6	30	25,75	12,77	130,85	-0,344	5,54	8,34
6	32	6	30	18,8	14,26	214,34	-0,301	8,53	10,89
7	26	9	30	30,31	13,13	199,24	-0,325	7,09	10,02
8	32	9	30	18,26	17,42	263,97	-0,245	8,00	13,3
9	29	7,5	25	23,43	16,09	241,77	-0,277	8,68	14,12
10	29	7,5	25	24,06	16,15	243,12	-0,275	9,00	14,17
11	29	7,5	25	22,45	16,23	243,98	-0,274	8,72	14,24

Diante dos resultados obtidos, foi feito o ajuste dos dados para obter um modelo linear que relacione as variáveis dependentes: índice de convexidade $IC=r/L*100\%$ e diluição (D%), com as variáveis independentes estudadas. Os modelos estabelecidos para as variáveis dependentes estão representados pelas equações 2 e 3, onde os coeficientes em negrito são os efeitos estatisticamente significativos ao nível de 95% de confiança.

$$IC = \mathbf{23,854} - \mathbf{3,778} * U + 0,111 * V_a - 0,775 * V_s + 0,211 * U * V_a - 0,972 * U * V_s + 0,894 * V_a * V_s - \mathbf{1,487} * U * V_a * V_s \quad [2]$$

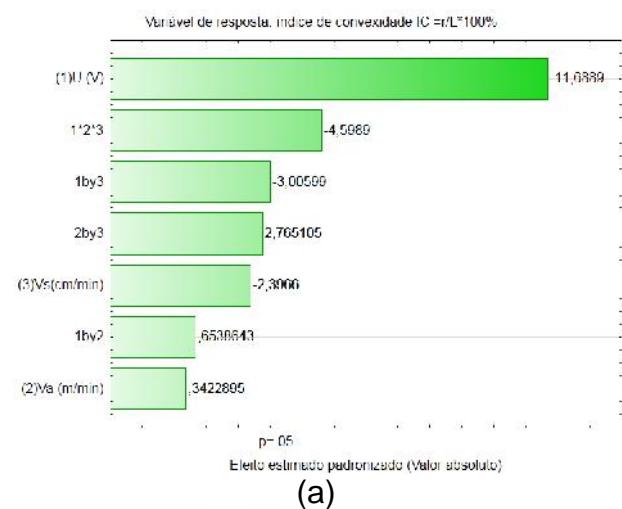
$$D\% = \mathbf{17,220} - \mathbf{2,075} * U + \mathbf{1,245} * V_a - \mathbf{3,226} * V_s + 0,207 * U * V_a - 0,628 * U * V_s - 0,366 * V_a * V_s + 0,490 * U * V_a * V_s \quad [3]$$

Onde: U = Tensão; V_a = velocidade de alimentação, V_s = velocidade de soldagem e $U * V_a$, $U * V_s$, $V_a * V_s$ e $U * V_a * V_s$ são as interações das variáveis.

Efeitos das variáveis do processo sobre o índice de convexidade (IC)

Os valores do índice de convexidade apresentados na Tabela 2, mostram uma variação de 18,26% a 30,31 %. O Diagrama de Pareto da Figura 2 (a) mostra que a tensão, U, e a interação $U * V_a * V_s$, mostraram influência estatística significativa, enquanto que as demais variáveis e as interações entre elas não apresentaram influência estatística significativa. Entretanto apresentou o coeficiente de determinação R^2 igual a 98,36%.

Com base nestas informações apresentadas, foi construída a superfície de resposta mantendo-se a velocidade de alimentação em 9 m/min, variando os valores das tensões e da velocidade de soldagem. Pela Figura 2(b) representada para do índice de convexidade revestimento, nota-se que o valor de 31% é obtido com valores de tensão 26 V e velocidade de soldagem de 20 cm/min. Este valor está próximo do valor experimental obtido no experimento 7 nas mesmas condições que é de 30,31 %.





Superfície de resposta: índice de convexidade $IC=r/L*100\%$

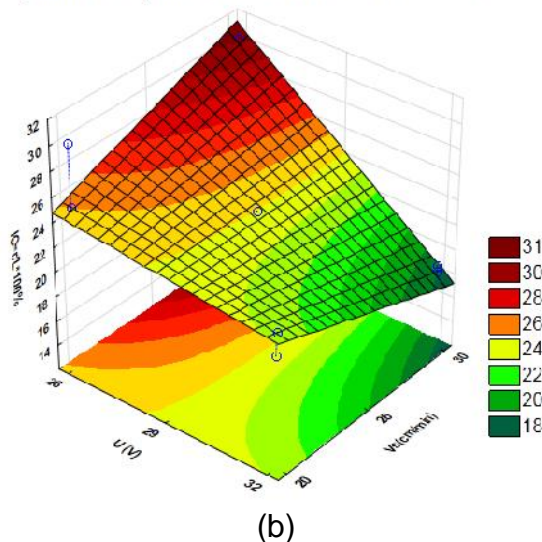


Figura 2 : (a) Diagrama de Pareto do Índice de convexidade (IC) e (b) Superfície de resposta do índice de convexidade sob a influência da Tensão versus Velocidade de soldagem, fixando a Velocidade de alimentação 9m/min (+1)

Os resultados obtidos para o índice de convexidade estão de acordo com a literatura, a qual estabelece que valores próximos de 30 % representam condições desejáveis para a relação largura (L) e reforço de cordão (r) [SILVA, 2000]. Já outros autores [COSTA & RIBEIRO, 2001], informam que o índice de convexidade deve sempre ser inferior a 30%, como critério de qualidade. Na Tabela 3 mostra os dados resultantes da análise de variância (ANOVA), teste F e coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 3: ANOVA para avaliação do índice de convexidade

Fator	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$
Regressão	151,080	7	21,58288	25,82
Resíduo	2,5075	3	0,83585	
F.Ajuste	1,2004	1	1,20042	
Erro Puro	1,3071	2	0,65356	
Total	153,587	10		
R^2	98,36%			
F_{tabelado}	8,89		$F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}=$	2,90

Portanto, baseado nos dados da Tabela 3, o modelo apresentado na Equação 2 tem coeficiente de determinação (R^2) igual a 98,36 % das variações obtidas, apresentando um valor

da razão de $F_{\text{calculado}}$ por F_{tabelado} de 2,90, indicando que o modelo é estatisticamente significativo com 95% de confiança [BARROS, 1996].

Efeitos das variáveis do processo sobre a diluição (D%)

A Tabela 2 apresenta os resultados referentes à variável diluição D(%), a qual variou de 12,77% a 24,88%. Analisando os resultados apresentados na Figura 3(a), verifica-se que a, velocidade de soldagem, V_s e a tensão, U, mostraram influência estatisticamente significativa, enquanto que a velocidade de alimentação e as interações das variáveis não apresentaram influência estatística. Entretanto apresentou o coeficiente de determinação R^2 igual a 99,31%. O valor negativo na coluna da velocidade de soldagem do diagrama de Pareto, indica que à medida que a velocidade de soldagem diminui a diluição aumenta. Já para a tensão o sinal positivo da coluna indica que a medida tensão aumenta a diluição também aumenta.

A partir da análise estatística dos resultados de diluição (%) foi gerada a superfície de resposta, ver Figura 3(b), a qual observa-se que o menor percentual da diluição (12%) ocorre para os valores da velocidade de soldagem de 30 cm/min e tensão de 26 V. Estando esse valor próximo do valor experimental obtido no experimento 5 nas mesmas condições que é de 12,77 %. De acordo com os resultados apresentados na Figura 3(b), com relação à velocidade de soldagem e a tensão do arco, os resultados mostram que a medida que aumenta a velocidade de soldagem e diminuí a tensão ocorre a diminuição na diluição. Isto se deve ao fato da velocidade ser inversamente e a tensão ser diretamente proporcional a energia de soldagem, proporcionando uma menor quantidade de calor imposto no substrato, e promovendo uma maior redução na área de metal depositado [KEJELIN, 2013]. Na Tabela 4 apresenta



os dados resultantes da análise de variância (ANOVA), teste F e coeficientes de determinação (R^2).

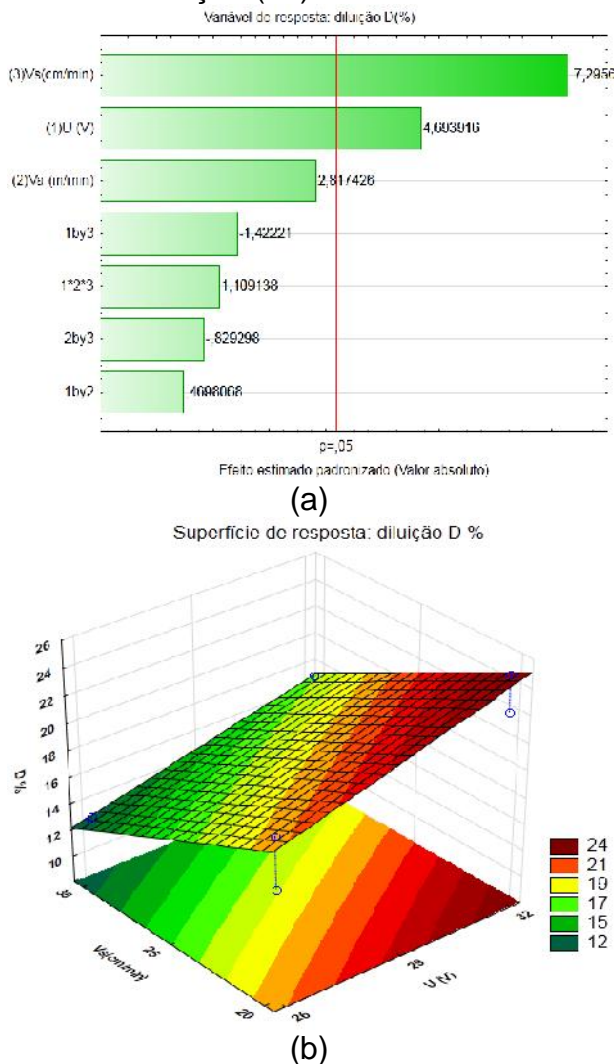


Figura 3: (a) Diagrama de Pareto dos efeitos da diluição D % e (b) Superfície de resposta da diluição sob a influência da Tensão versus Velocidade de soldagem, fixando-se a Velocidade de alimentação 9 m/min (+1).

Tabela 4: ANOVA para avaliação da Diluição D(%)

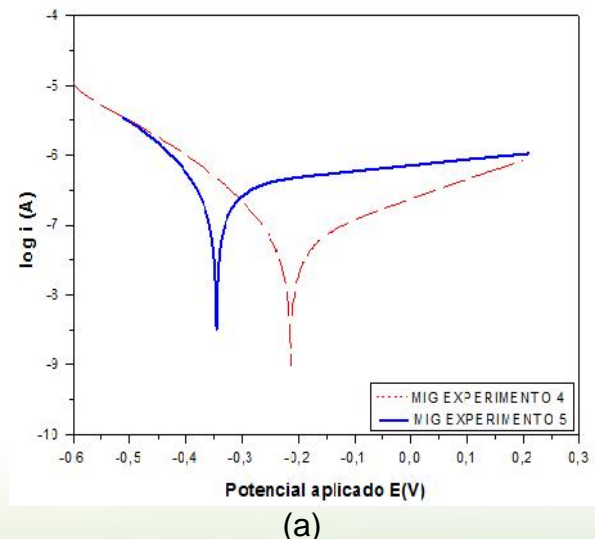
Fator	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$
Regressão	136,65	7	19,52261	12,48
Resíduo	4,6930	3	1,56434	
F.Ajuste	4,6828	1	4,68281	
Erro Puro	0,0102	2	0,00510	
Total	141,351	10		
R^2	99,31%			
F_{tabelado}	8,89		$F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}} =$	1,40

Os dados da Tabela 4, informa que o modelo apresentado na Equação 3 tem

coeficiente de determinação (R^2) igual a 99,31% das variações obtidas explicado pelo modelo, equação 3, e com um valor da razão de $F_{\text{calculado}}$ por F_{tabelado} igual a 12,48, indicando que o modelo é estatisticamente significativo com 95% de confiança [BARROS, 1996].

Resistência à corrosão

A avaliação da resistência à corrosão dos revestimentos foi pela técnica de polarização potenciodinâmica linear (PPL) e, para confirmação, utilizou-se a técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica. A Figura 4(a) apresenta as curvas de polarização potenciodinâmica dos experimentos 4 e 5, as quais apresentam a maior e a menor diluição, 24,88 % ($H=18,99$ KJ/cm) e 12,77 % ($H=8,34$ KJ/cm), dentre os 11 experimentos realizados. Assim o experimento 4 com maior diluição e teor de ferro, Tabela 2, apresentou potencial de corrosão mais positivo que a amostra do experimento 5 com menor diluição, onde indica maiores propriedades anti-corrosivas. Para efeito de confirmação dos resultados das curvas de PPL sobre a resistência à corrosão, foram realizadas medidas de espectroscopia de impedância eletroquímica. A Figura 4 (b) mostra o diagrama de impedância dos revestimentos com Inconel 625 dos mesmos experimentos avaliadas por PPL.





A Figura 4(b) apresenta o diagrama de impedância, o qual indica que quanto mais alta for a curva, maior é o valor da resistência à polarização, R_p , cujo valor é tomado no eixo das abscissas traçando-se um semicírculo que melhor se ajuste à curva e maior será a resistência à corrosão do material exposto ao meio corrosivo [JAMBO, 2008].

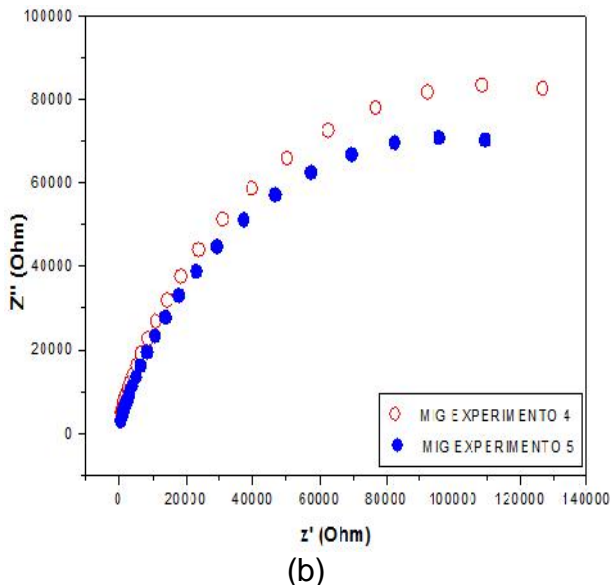


Figura 4: (a) Curva de polarização dos experimentos 4 e 5 (b) Diagrama de impedância dos experimentos 4 e 5.

Assim, os resultados obtidos pela técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica confirmam os valores encontrados pela PPL, que indicou que os experimentos com maior nível de diluição e maior teor de Fe, Tabela 2, apresentaram maior resistência à polarização, quando utilizados maiores valores de energia de soldagem.

Tais resultados são contrários aos resultados encontrados por [SILVA, 2013], que obteve resultados que mostram que quanto menor a diluição e menor o teor de ferro, maior a resistência à corrosão.

Segundo [CARDOSO JUNIOR, 2012] esta maior resistência à corrosão em revestimentos aplicados com maior energia de soldagem, apesar da maior diluição e, conseqüentemente maior teor de Fe na superfície, se deve a velocidade

de resfriamento menor e, conseqüentemente, ao favorecimento adequado do balanceamento químico entre as fases, que supera o aspecto do maior teor de Fe na superfície. A explicação também pode estar relacionada com o nível de tensões residuais compressivas, ou seja, quanto mais elevada à energia de soldagem maior será o nível de tensões residuais compressivas, conseqüentemente maior a resistência à corrosão. Resultado semelhante foi obtido por [MELO, 2013], que obteve na deposição por processo SAW, Submerged Arc Welding, um aumento de - 41 MPa na tensão residual compressiva ao se aumentar a energia de soldagem 12,90 KJ/cm para 14 KJ/cm, resultando em uma resistência a polarização de 194K (12,90 KJ/cm) e 206K (14 KJ/cm).

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais obtidos neste trabalho as conclusões são as seguintes:

- O índice de convexidade igual 31% é obtido no menor nível de tensão (26 V) e velocidade de soldagem de (20 cm/min);
- O menor percentual da diluição (12 %) ocorre para o maior nível de velocidade de soldagem (30 cm/min) e menor nível de tensão (26 V);
- Os resultados obtidos pela técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica confirmam os valores encontrados pela PPL, que indicou que os experimentos com maior nível de diluição (maior energia de soldagem), apresentaram maior resistência à polarização;



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFARO S.C. A, CARVALHO G.C., MELO JUNIOR S.A. **Stand off's indirect estimation in GMAW**. Journal of Materials Processing Technology, p.157–158, 2004;

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e Otimização de experimentos**. 2ª Ed. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1996;

BOND, D., BECKER, S. F., D'Oliveira, A. S. C.M. **Influência da Corrente e Granulometria do Material de Adição nos Revestimentos Processados por PTA**. Revista Soldagem & inspeção. São Paulo, Vol. 16, Nº. 1, p.053-061, Jan/Mar 2011;

CARDOSO JUNIOR, R. et al., **Avaliação da soldagem multipasse de chapas espessas de aços inoxidáveis lean duplex UNS S32304 soldadas pelos processos SMAW, GMAW e FCAW: parte 1: propriedades mecânicas**. Soldagem e Inspeção , v. 17, p. 306-316, 2012;

CORREIA, D. S., GONÇALVES, C. V, CUNHA, S. S JR., FERRARESI, V. A. **Comparison between genetic algorithms and response surface methodology in GMAW welding optimization**. Journal of Materials Processing Technology 160 (2005) 70–76;

COSTA,S. C., RIBEIRO,L. G. **Otimização dos parâmetros de pulso de um processo de soldagem MIG através de análise fatorial em dois níveis**. In: XXI Encontro de Engenharia de Produção, Salvador-BA, Anais de XXI Encontro de Engenharia de Produção: ENEGEP, 2001;

JAMBO, H. C. M.; FÓFANO, S. **Corrosão: Fundamentos, Monitoração**

e **Controle**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2008;

KEJELIN, N. Z.; BUSCHINELLI, A. J. A.; BOHÓRQUEZ, E. N.. **Soldagem Dissimilar do Aço X-60 com Inconel 625**. 2013. Disponível em: <http://www.labsolda.ufsc.br/noticias/2007/soldagem_dissimilar.pdf>. Acesso em: 12 Dezembro. 2013;

MELO, R.H.F. **Avaliação da Influência do processo e dos parâmetros de soldagem sobre a resistência à corrosão de revestimentos de aço inoxidáveis AWS e 308-L T1 aplicados em aços ASTM A36**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, 2013;

PESSOA, A. R. P, MIRANDA, H.C., FARIAS, J. P., AGUIAR, W. M., FILHO, F.A., **Seleção dos parâmetros através dos custos de soldagem para aplicação de revestimento com ligas de níquel depositadas pelo processo MIG/MAG**. Revista Soldagem & inspeção. São Paulo, V. 16, No. 1, p.071-078, 2011.

PESSOA, A. R. P, MIRANDA, H.C., FARIAS, J. P., AGUIAR, W. M., FILHO, F.A., **Seleção de Parâmetros Através do Método Taguchi para Soldagem de Revestimento com Ligas de Níquel pelo Processo MIG/MAG**. Revista Soldagem & inspeção. São Paulo, Vol. 15, No. 4, p.317-324, Out/Dez 2010.

SANTANA, R. A. C., CAMPOS, A. R. N., PRASAD, S, LEITE, V. D. **Otimização do banho eletrolítico da liga Fe-W-B resistente à corrosão**. Química Nova, v. 30, Nº. 2, 360-365, 2007.

SILVA, M. M. **Avaliação da compatibilidade metalúrgica e da resistência à corrosão de revestimentos da liga AWS ER NiCrMo-**



4 aplicados por soldagem SAW sobre o aço API 5L Gr B. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

SILVA, C. R.; FERRARESI, V. A.; SCOTTI, A.. **A quality and cost approach for welding process selection.** J. Braz. Soc. Mech. Sci., Campinas, v. 22, n. 3, 2000.

ZIKIN, A., BADISCH, E., HUSSAINOVA, I., TOMASTIK, C., DANNINGER, H. **Characterisation of TiC-NiMo reinforced Ni-based hardfacing.** Surface & Coatings Technology 236, p.36-44, 2013;