

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO GÁS DE TRANSPORTE NO  
COMPORTAMENTO ELETROQUÍMICO EM REVESTIMENTOS DE  
ALUMÍNIO OBTIDOS PELO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA COMO  
PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO MARINHA**

**Regina M.H.Pombo Rodriguez, M.Sc.**

Doutoranda do Programa Interdisciplinar de Pós - Graduação em Engenharia -PIPE da UFPR.  
[regina@demec.ufpr.br](mailto:regina@demec.ufpr.br).

**José Maurílio da Silva, Dr. Eng.**

Pesquisador do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC.  
[maurilio@lactec.org.br](mailto:maurilio@lactec.org.br)

**Ramón S.Cortés Paredes, Dr. Eng.**

Professor da Universidade Federal do Paraná- UFPR, Departamento de Engenharia Mecânica  
– DEMEC. Pesquisador do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC.  
[ramon@demec.ufpr.br](mailto:ramon@demec.ufpr.br), [ramon@lactec.org.br](mailto:ramon@lactec.org.br).

**6° COTEQ Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos  
22° CONBRASCORR – Congresso Brasileiro de Corrosão  
Salvador – Bahia  
19 a 21 de Agosto de 2002**

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade dos autores.

## **SINOPSE**

A proteção contra a corrosão marinha tem-se transformado numa necessidade crescente de se especificar sistemas de proteção contra este tipo de deterioração. O uso de revestimentos de alumínio aplicados por aspersão térmica está sendo muito utilizado como proteção em ambientes “off-shore”. Neste trabalho é apresentado o comportamento eletroquímico dos revestimentos de alumínio sobre o aço, preparado pelos processos de aspersão térmica a chama e a arco elétrico de última geração, com e sem preaquecimento do substrato e avaliar a influência como gás de transporte do ar comprimido. O comportamento eletroquímico dos revestimentos depositados pelos dois processos de aspersão térmica tem comportamento diferenciado quando avaliado através das curvas potenciodinâmicas anódicas em meio salino 3,5%NaCl e nos teores de óxido de alumínio formado durante a deposição.

**Palavras-chaves:** Aspersão térmica, corrosão salina, óxido de alumínio

## 1. INTRODUÇÃO

São enormes os problemas e os prejuízos causados pela corrosão tanto nas operações de extração, produção e refino do petróleo, como nos meios de transporte e armazenagem. A origem das diferentes formas de corrosão está ligada tanto à composição do petróleo, como às condições ambientais: água do mar e atmosfera marinha. Nas operações de extração do petróleo o meio marítimo é o ambiente mais corrosivo de todos os meios naturais e compreende desde a atmosfera contaminada com sal do mar até as regiões mais profundas do oceano. O mecanismo predominante de corrosão marinha tem origem eletroquímica, onde a técnica mais importante para a proteção de estruturas de aço situadas na zona de imersão total, é a proteção catódica. Ou seja, o uso de ânodos de sacrifício é ainda a técnica mais comum para dar proteção catódica às estruturas submersas. Já, para proteger estruturas de aço expostas às zonas de respingos, e atmosférica, o revestimento com tintas e AT são os recursos principais. Finalmente, na zona atmosférica é recomendada a utilização de silicato de Zn, em combinação com epóxi e vinil.

Na atualidade, entre as linhas de pesquisa dirigidas para minimizar/eliminar os problemas de corrosão por água do mar, destaca-se o aperfeiçoamento da proteção por barreira dos materiais [1,2,3] através da aspersão térmica. O uso de revestimentos aplicados por AT do Al, Zn e suas ligas, como proteção anticorrosiva em ambiente “offshore” (atmosfera sujeita a névoa salina, região de variação de maré ou imersão total em água do mar), tem sido intensamente investigado ao longo das duas últimas décadas pela capacidade desses metais de protegerem catódicamente o aço e de possuírem resistência mecânica superiores aos sistemas de pintura. O Zn permanece mais ativo e fornece melhor proteção catódica que o Al, entretanto, apresenta vida de atuação mais curta imerso em água do mar ou na zona da maré em relação ao menos ativo Al [1].

Dentre os processos de AT utilizados para depositar camadas de Al para proteger materiais metálicos tem-se: os processos a chama oxiacetilênica (FS) e arco elétrico (ASP). Sendo que, aparece em primeira linha, a aspersão por FS, este é o processo de maior aplicação, devido à simplicidade do equipamento, baixo custo e pela facilidade de manuseio da pistola. No processo de AT por ASP, onde o Al é transferido a temperatura mais elevada obtém-se níveis excelentes de aderência, devido à interação metalúrgica na zona de ligação entre o Al e aço.

Basicamente a aspersão térmica (AT) consiste de um grupo de processos por meio dos quais se deposita, sobre uma superfície previamente preparada revestimento de materiais metálicos ou não metálicos. Nos processos de AT, os materiais de deposição são fundidos ou aquecidos em uma fonte de calor gerada no bico de uma pistola apropriada por meio de combustão de gases, de arco elétrico ou por plasma. Imediatamente após a fusão, o material finamente atomizado é acelerado por gases sob pressão contra a superfície a ser revestida, atingindo-a no estado fundido ou semi-fundido. Ao se chocarem contra a superfície, as partículas achatam-se e aderem ao material base e na seqüência sobre as partículas já existentes, originando-se assim uma camada de estrutura típica e diferente de qualquer outra forma metalúrgica. Essas camadas são constituídas de camadas em direção paralela ao substrato, com estrutura típica lamelar contendo inclusões de óxidos, vazios e porosidade (3,4).

Geralmente nos processos de AT as distâncias de projeção das partículas variam de 100 até 300 mm e para obter uma aderência adequada ao substrato, este deve ter um grau de limpeza Sa3, limpeza que é obtida através do jateamento abrasivo, permitindo

com isso obter no substrato limpeza e rugosidade, que permitem o ancoramento mecânico das partículas no momento do impacto.

### **Processo de aspersão térmica a chama oxiacetilênica - FS. (Flame Spray).**

Os componentes básicos de um equipamento de AT seguem o equipamento desenvolvido por Schoop (4). O processo utiliza o calor gerado pela combustão de uma mistura de gases (oxigênio - acetileno ou propano) para fundir o material de deposição. Os materiais para revestimentos são utilizados sob a forma de pó ou arame. A mistura dos gases no bico da pistola que produz a combustão, permite apenas fundir o material e não é utilizada para transferir as partículas contra o substrato. Para isso se utiliza normalmente jato de ar comprimido que atomiza o metal fundido e o projeta até o substrato. Quando é utilizado arame, este é alimentado de forma contínua (concêntrica) até o bico de combustão por uma turbina movida geralmente a ar comprimido, as velocidades de transferência das partículas fundidas são maiores, permitindo ao ar comprimido transferi-las com maior velocidade (maior energia cinética) até o substrato.

As principais variáveis que devem de ser reguladas no processo FS são: pressão e fluxo de ar comprimido, utilizado para transferir as partículas da fonte de calor até o substrato e para fornecer à turbina a pressão suficiente para alimentar com arame o bico da pistola e, o fluxo de acetileno e oxigênio para formar e manter a chama (neutra) que permite a fusão do Al. Neste processo as partículas oxidam, pelo oxigênio contido no ar ambiente, prejudicando com isso a aderência. Pode-se, também, utilizar para o transporte das partículas gás inerte em lugar de ar comprimido para minimizar a oxidação (5).

### **Processo de aspersão térmica por arco elétrico - ASP (Arc Spray Process).**

No processo ASP o arco elétrico é obtido por diferencial de potencial no bico de uma pistola onde chegam 2 arames do material de deposição. Forte jato de ar comprimido é dirigido ao arco elétrico, na região onde se funde o material, atomizando-o e projetando-o contra o substrato. As temperaturas geradas no arco elétrico são da ordem de 4000 a 6000 °C, onde quaisquer dos materiais empregados neste processo são fundidos.

No caso da deposição de alumínio que funde e oxida a elevada temperatura (no arco voltaico), as partículas projetadas no momento do impacto com o substrato rompem o filme de óxido, permitindo com isso a deposição de alumínio a elevada temperatura, sendo possível nessa condição facilitar a difusão do alumínio no substrato (3,6).

### **Passivação do alumínio**

A estabilidade química do Al, basicamente, se produz pela sua reação com o oxigênio contido no ar, formando um filme de óxidos, denominado “Hidrarguillite” ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \bullet 3\text{H}_2\text{O}$ ), sistema cristalino monoclinico. O crescimento do filme de óxido depende da temperatura e da umidade. A hidrarguillite, após algumas semanas de exposição ao ar e a temperatura ambiente, forma a Bayerite ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \bullet 3\text{H}_2\text{O}$ ) filme de óxido de Al hidratado de maior espessura, sistema cristalino monoclinico. Este é o tipo de óxido (filme óxido anódico) encontrado na superfície do Al 1100 de uso industrial (7,8).

Pelo aquecimento do Al em presença do ar, a temperaturas superiores a 100°C, se produz o aumento da espessura do filme de óxido. O aumento tem início na Bayerite ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) que após algum tempo forma a “Bohmita” ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), sistema cristalino romboédrico. O filme de bohmita é 100 vezes mais espesso.

Os diagramas de Pourbaix (7), apresentam as condições de formação de um filme de hidrarguilite, que passiva na faixa de pH de 4 a 9, e a formação da bohmita que ocorre numa faixa mais estreita de pH entre 4,3 e 6,2. Esse limite de pH varia com a temperatura, tipo de óxido presente e com a presença de substâncias no meio que poderão formar sais solúveis ou insolúveis com o alumínio. A corrosão está relacionada a uma mudança no filme de óxido, grau de hidratação e porosidade (Pourbaix, 1966). O desenvolvimento do óxido hidratado de alumínio como resultado da reação do alumínio na presença de água, confere ao mesmo certas características protetoras, como é mostrado na figura 1.

A figura 1 apresenta um diagrama esquemático referente ao comportamento potenciodinâmico anódico típico de uma liga relativamente pura de alumínio 1100 em uma solução neutra de NaCl isenta de reagente catódico, como o oxigênio (9). A interseção desta curva anódica (linha cheia) com a curva pontilhada da reação catódica (neste caso a reação de redução do oxigênio dissolvido, com concentrações variáveis), define o potencial de corrosão ( $E_{\text{cor}}$ ) e a densidade de corrente de corrosão da liga ( $i_{\text{cor}}$ ). A baixas concentrações de oxigênio observa-se valores de  $i_{\text{cor}}$  de no máximo  $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , exibindo a liga alumínio 1100, portanto, um filme com características passivas. Este comportamento é resultante da barreira de óxido hidratado de alumínio formada na presença da solução aquosa nestas condições, com uma espessura na faixa de 20 a 200 nm (10).

Uma outra forma de encontrar o alumínio é, quando processado através da AT, depositado como revestimento resistente contra a corrosão. Na literatura especializada não tem sido possível encontrar estudos que visem conhecer a estabilidade química dos filmes de óxidos de alumínio formados pela deposição de revestimentos de alumínio por aspersão térmica. Por conseguinte, o presente trabalho mostra o estudo que tem como intuito identificar que tipo de óxido de alumínio é formado, através de dois processos de aspersão térmica que tem como fonte de calor temperaturas entre 3000 °C a 6000 °C, faixa de temperatura que nenhum outro processo de produção de alumínio utiliza.

## **2. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS**

Para verificar a influência do ar comprimido na formação do óxido de alumínio na aspersão térmica e estabilidade e avaliar o comportamento eletroquímico dos revestimentos de alumínio foram realizados de acordo com a seguinte metodologia, materiais, ensaios e medições.

### **Preparação dos corpos de prova por aspersão térmica**

Foram utilizados os processos a chama FS e arco elétrico ASP, para revestir o aço ASTM 283 C, sendo preparados três corpos de prova por cada processo, com as seguintes dimensões: 160x50x9,6 mm para os ensaios eletroquímicos.

Para a obtenção da limpeza e rugosidade superficial do aço foi utilizado jateamento abrasivo com óxido de Al branco (granulometria 30 / Alundum 38 A), pressão 100 psi, distância 100 mm.

O grau de limpeza Sa3, foi obtido por comparação com os padrões de qualidade superficial publicados pela norma NACE RMN - 01 70.

Para a utilização da temperatura preaquecimento foi considerada a norma AWS C2.18/93, que recomenda realizar um preaquecimento do substrato da ordem de 120 °C.

As condições de aspersão térmica foram [11] para a deposição do alumínio na condição de arame de Al  $\varnothing_s$  2,5 e 3,2 mm.

A espessura dos corpos de prova revestidos com alumínio foi de aproximadamente 300 $\mu$ m e medida sua aderência através da metodologia sugerida pela norma ASTM C633/79, requisito necessário para garantir a validade dos resultados eletroquímicos.

### **Medição do teor de óxidos da camada de alumínio**

A quantificação do teor de óxidos na camada foi feita por absorção atômica. O procedimento para a medição dos teores de óxidos das camadas depositadas pelos processos FS e ASP, foi o seguinte: deposição de alumínio em condições otimizadas sobre superfície de aço inoxidável e posteriormente destacamento da camada de alumínio do aço inoxidável, seguido da pesagem da camada de alumínio e de ataque com ácido clorídrico. Na seqüência, realizada a filtração para retenção dos óxidos insolúveis, dissolução do resíduo através de fusão (carbonato/tetraborato) e quantificação dos óxidos solubilizados por absorção atômica.

### **Avaliação da resistência a corrosão dos revestimentos de Al**

Para a verificação da estabilidade química dos óxidos de alumínio formados nos revestimentos de alumínio foram utilizados testes de corrosão eletroquímico de polarização potenciodinâmica anódica de caracter instantâneo de acordo ao seguinte procedimento:

Foram realizados ensaios potenciodinâmicos anódicos em células de acrílico de três eletrodos, utilizando-se um potenciostato TAI Galvapot H201 comandado por microcomputador. Foram conduzidos a uma taxa de varredura de 0,6 V/h em solução de 3,5% NaCl mantida a uma temperatura de 30 °C. O procedimento de polarização era iniciado após 30 minutos de imersão do corpo de prova (cp). Durante este período foi monitorada a evolução do potencial de corrosão ( $E_{cor}$ ) em relação a um eletrodo de referência de calomelano saturado (ECS). Para aqueles cps que se mantiveram com suas características passivas, inicialmente preservadas ao longo do processo de polarização anódica imposto pelo potenciostato, determinou-se a densidade de corrente de passivação ( $i_{pas}$ ).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

#### Resultados da aderência por tração:

**Processo FS:** Pelos resultados da tabela 1 pode-se verificar que neste processo foram atingidos os valores mínimos de aceitação das normas Petrobrás N-2568 e da AWS C2.18/93 (média de 13.8 MPa sem nenhum valor inferior a 10.3 MPa). O valor pelo processo FS foi obtido pela utilização de preaquecimento do substrato, fator que foi fundamental no aumento da aderência.

**Processo ASP:** Neste processo também foram superados os valores mínimos das normas, sendo atribuído a elevada aderência pelo fato que na deposição do Al a fonte de calor transfere às partículas mais energia, permitindo com isso que algumas partículas fundidas atinjam o substrato ainda líquidas. Portanto, além do ancoramento mecânico, admite-se possível também pontos de micro-soldagem e mesmo difusão do Al no aço, atuando o mecanismo de aderência metalúrgico.

Resultados da medição do teor do Óxido de Alumínio (tabela 2).

Os resultados apresentados na tabela 1 para os processos a cps FS e ASP ficam dentro dos dados fornecidos pela literatura especializada (12, 13).

O baixo teor de óxidos de Al medidos nos cps FS pode ser explicado observando os gases de transferência como sendo  $N_2$ - $CO_2$ - $CO$ - $H_2O$  (4) e portanto não há oxigênio livre para a oxidação das partículas fundidas, restando só a oxidação da camada quando fica exposta ao ar do meio ambiente. Nos cps ASP o elevado teor de óxidos (6,8%) explica-se pela oxidação que se produz no bico da pistola e na zona de transferência até o substrato, somado ainda à oxidação ao ar do meio ambiente. Neste processo atuam o primeiro mecanismo, pois permite a formação dos óxidos a elevada temperatura ( $>4000$  °C).

Quanto ao tipo de óxido de alumínio formado durante a aspensão, admite-se conforme Shaw & Moran (1) que no caso do processo a chama FS seria um hidrato do tipo  $Al_2O_3 \cdot 3 H_2O$  Bayerita. No caso do processo ASP o tipo de óxido formado a temperaturas mais elevadas tem características da Bohmita (8).

#### Resultados dos ensaios eletroquímicos de corrosão.

##### Ensaio de Polarização Potenciodinâmica Anódica

Nas figuras 2 a 5 estão apresentados as curvas obtidas nos ensaios de polarização potenciodinâmica anódica em meio de NaCl 3,5%.

Nos revestimentos preparados pelo processo a chama a figura 2 mostra um potencial de corrosão próximo de  $-900$ mV, seguido por um pequeno intervalo de passivação e uma região ativa próximo de  $-700$ mV tendendo a uma passivação verdadeira para potenciais mais positivos. A figura 3 mostra um potencial de corrosão próximo de  $-850$ mV, seguido por um pequeno intervalo de passivação e uma região ativa próximo de  $-700$ mV tendendo a uma passivação verdadeira para potenciais mais positivos.

Na figura 2 podemos identificar uma maior inclinação das curvas em relação a figura 3, no trecho de passivação, onde a corrente de passivação (ip) é próximo de

$60\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , enquanto que na figura 3 a  $i_p$  é próximo de  $34\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Isto mostra que os revestimentos depositados sobre substratos com preaquecimento geram menores correntes de passivação e conseqüentemente maior poder protetor.

Este comportamento se repete quando se compara a figura 4 com a figura 5 (arco elétrico), pois na figura 4 a corrente de passivação ( $i_p$ ) é próximo de  $11\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , enquanto que na figura 5 é próximo de  $9\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Isto mostra, também, que o preaquecimento facilita a formação de superfícies de maior poder protetor.

A figura 4 mostra um potencial de corrosão próximo de  $-980\text{mV}$ , seguido por um pequeno intervalo de passivação e uma região ativa próximo de  $-700\text{mV}$  tendendo a uma passivação verdadeira para potenciais mais positivos. A figura 5 mostra um potencial de corrosão próximo de  $-950\text{mV}$ , seguido por um pequeno intervalo de passivação e uma região ativa próximo de  $-700\text{mV}$  tendendo a uma passivação verdadeira para potenciais mais positivos.

Ao comparar a figura 2 com a figura 4, onde os revestimentos foram realizados sem pré aquecimento, pode-se pensar no efeito galvânico existente entre o revestimento realizado com o aço. O revestimento realizado com chama parece ser mais defeituoso que o revestimento produzido com arco elétrico. No caso do revestimento mais defeituoso, o potencial galvânico (entre aço e alumínio) estará mais próximo do potencial do aço ( $-700\text{mV}$  do aço (3)) e deve ser por isso que o potencial de corrosão do revestimento com chama está a  $-900\text{mV}$ , enquanto que o potencial de corrosão do revestimento com arco está a  $-980\text{mV}$ . O mesmo raciocínio pode ser usado para explicar a comparação entre as figuras 3 e 5, onde os revestimentos foram realizados com preaquecimento, ora com chama ora com arco elétrico, mostrando que o revestimento com arco elétrico deva ser menos poroso que o revestimento com chama.

No trecho de passivação podemos identificar uma maior inclinação das curvas da figura 3 em relação a figura 4. Na figura 3 a corrente de passivação ( $i_p$ ) é próximo de  $60\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , enquanto que na figura 4 a  $i_p$  é próximo de  $14\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Isto mostra que o arco elétrico gera menores correntes de passivação que o processo a chama quando se trabalha sem preaquecimento, e conseqüentemente maior poder protetor.

Este comportamento se repete quando se compara a figura 3 com a figura 5, isto é, quando se trabalha com preaquecimento para ambos processos, pois na figura 3 a corrente de passivação ( $i_p$ ) é próximo de  $34\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , enquanto que na figura 5 a  $i_p$  é próximo de  $10\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Isto mostra, novamente, que o processo a arco gera menores correntes de passivação e conseqüentemente maior poder protetor.

#### **Análise do potencial $E_{\text{cor}}$ :**

Para os revestimentos aspergidos identificamos que os valores são próximos, porém vale esclarecer algumas diferenças a serem consideradas a seguir.

Para o processo a chama, as medidas são similares  $-825\text{mV}$ , conforme a tabela 3, para  $-858\text{mV}$ . Porém para o processo a arco elétrico esta diferença de  $-855\text{mV}$  para  $-950\text{mV}$ . Inicialmente identificamos que estes revestimentos estão num estado mais ativado. Sob este ponto para o processo a chama de menores temperaturas, e, não havendo oxigênio dissociado não houve interferência na formação de mais óxido. Entretanto no arco, onde as temperaturas envolvidas são maiores, e há a dissociação

do oxigênio do ar haverá a formação de mais óxido o que tornou a superfície mais ativada, portanto um potencial de corrosão maior.

#### **Análise dos valores do potencial de pite ( $E_p$ )**

Os valores médios de  $E_p$  indicados na tabela 3 permitem poucas conclusões da susceptibilidade à corrosão por pites do filme com características passivas. Valores médios obtidos para o processo a chama  $-730\text{mV}$  e para o processo a arco  $-745\text{mV}$ .

#### **Análise dos valores de densidade de corrente de passivação ( $i_{pas}$ )**

Através das figuras 2 a 5, podemos identificar uma inclinação das curvas, no trecho de passivação, maior no processo a chama do que no processo a arco elétrico, gerando maiores correntes de passivação, conseqüentemente menor poder protetor.

### **4. CONCLUSÕES**

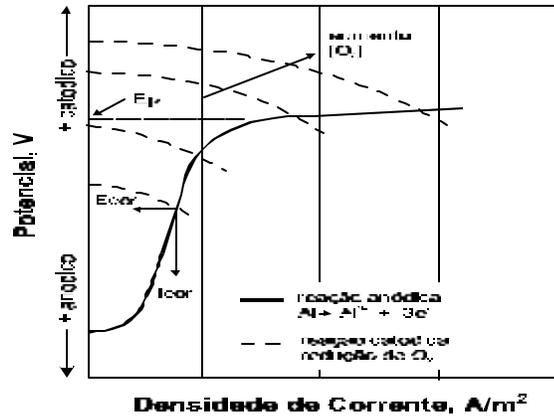
Através das análises realizadas pelo ensaio eletroquímico de polarização potenciodinâmica anódica e das medições do teor de óxidos, podemos concluir que:

- O processo a arco mostrou menores correntes de passivação e, conseqüentemente, o alumínio depositado, apresenta maior poder protetor em relação ao alumínio depositado através do processo a chama.
- No processo a arco a passivação ocorre a elevada temperatura formando um filme de óxido que possui menos defeitos superficiais e menor porosidade.
- A elevada temperatura, gerada no arco, favorece a formação de um óxido de alumínio, com a presença de mais oxigênio puro, o qual permite a formação de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  com menor hidratação.
- O processo a chama apresentou maiores correntes de passivação e este comportamento está relacionado ao mesmo processo de hidratação e desidratação, porém a hidratação é maior, e a desidratação é menos eficiente, gerando menor selagem dos poros e defeitos, deixando uma estrutura mais defeituosa e conseqüentemente com menor poder protetor.
- No processo a chama a formação do óxido na passivação ocorre a menores temperaturas que no processo a arco e gera uma atmosfera que não contém oxigênio puro, formando um óxido mais hidratado, ficando o mecanismo de proteção catódica comprometido. Porém age o mecanismo de proteção por barreira.
- Finalmente pode concluir que no processo de aspersão térmica por arco elétrico se produz maior quantidade de óxido que no processo a chama oxiacetilênica.

### **5. REFERÊNCIAS.**

- (01) Shaw, A.B., Moran, P.J., 1988, "Characterization of the corrosion behavior of Zn- Al Thermal Spray Coatings. Materials". Performance Paper number 212 Corrosion 85, p. 22-31. Boston, USA.
- (02) Vreijling, M.P.W. et al., 1996, "Protection of Steel Structures in Marine Applications Against Corrosion Using Aluminium Spray Coatings". DELFT University of Technology, 7p. The Netherlands.
- (03) Cortés R., 1998, "Estudo de revestimentos de Al depositados por três processos de AT para a proteção do aço contra a corrosão marinha". Tese de doutorado, UFSC, Brasil.
- (04) Thorpe, M.L., 1993, "Thermal Spray. Advanced Materials & Processes", p. 50-61.

- (05) Sturgeon, A.J. Thermal Spray Technology: Surface Engineering, Materials world, p. 351-354, Abington, Cambridge, June 1993.
- (06) Krokmal, A .M. Increasing the Endurance of Structural Steels by Metallizing with Aluminum. Plenum Publishing Corporation, p 376-380. 1990.
- (07) Pourbaix, M., 1966, "Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions". Pergamon Press, p 168-175.
- (08) Reiprich, J., Von Zwehl, W.,1959, "Manual del Aluminio, Principios y procedimientos modernos de fabricación". Editada por Aluminium Verlag GMBH - Düsseldorf. Versión española editada pela Editorial Reverté, S.A. edição 11, p.465.
- (09) Hollingsworth, E.H. and Hunsicker, H.Y., 1990, "Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys" - ASM Metals Handbook Vol. 13, p.583-609.
- (10) Sedriks, A. J.,1979, "Corrosion of Stainless Steels"- Ch.3, J. Wiley & Sons, New York.
- (11) Cortés P. R., Buschinelli J. A e Piza M. Aderência e microestrutura de revestimentos de alumínio depositados por três processos de aspersão térmica. 2 Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo Brasil 1997.
- (12) Britton, C.R.,1988, "Flame Spraying With Aluminium and Aluminium Alloys". Aluminium Industry. v. 7, n. 10, 3p.
- (13) Marantz, D.R. and Kowals, K.A., 1991, "Wire Arc Plasma": A New Conterder in Metal Spraying. Welding Journal, p. 40-45.



**Figura 1.** Diagrama de polarização anódica do comportamento do alumínio 1100 em solução aquosa (NaCl) neutra desaerada (8).

**Tabela 1.** Aderência de camadas depositadas

Aspersão Térmica	Espessura	Aderência	Ruptura
	[ $\mu\text{m}$ ]	[MPa]	Predominante
FS	386	>20	Aderência/Adesivo
ASP	379	>32	Adesivo

**Tabela 2.** Teor de óxidos encontrado nas camadas de alumínio.

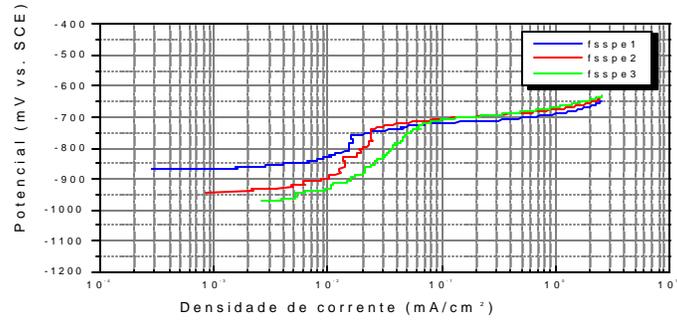
Corpos de prova	Camada de espessura de $\sim 300 \mu\text{m}$
FS	1,3 %
ASP	6,8 %

**Tabela 3.** Resumo dos valores característicos obtidos das curvas de polarização

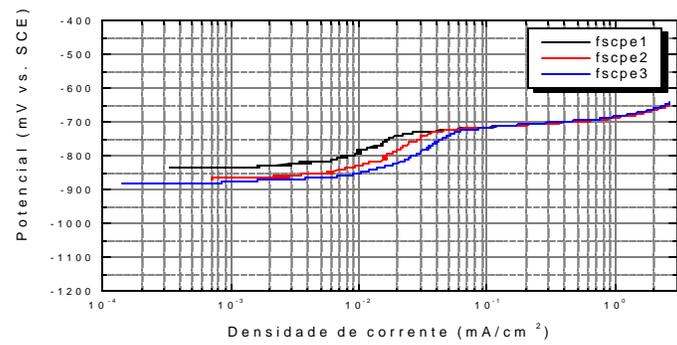
Cps	E	Ecor mV(ECS)	Ep - mV(ECS)	DEpas - mV(ECS)	ipas (min) - mA/cm <sup>2</sup> [*]	ipas (máx) - mA/cm <sup>2</sup> [*]
FS s/p	1	-824	-724	100	1,08E-02	5,79E-02
	2	-875	-736	136	1,27E-02	2,42E-02
	3	-965	-732	233	3,97E-03	6,22E-02
FS c/p	1	-825	-731	94	2,93E-03	2,54E-02
	2	-828	-732	96	1,05E-02	3,65E-02
	3	-836	-728	108	1,45E-02	6,12E-02
ASP s/p	1	-960	-746	214	8,34E-04	1,15E-02
	2	-961	-746	215	3,01E-03	1,15E-02
	3	-978	-743	235	1,52E-03	1,37E-02
ASP c/p	1	-909	-729	180	3,56E-03	1,04E-02
	2	-962	-742	220	4,88E-03	1,33E-02

NDP = não foi possível determinar

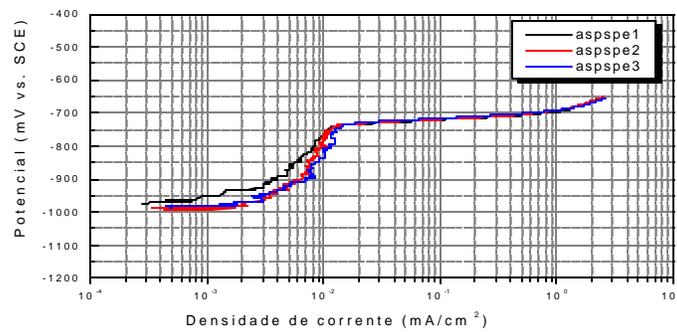
[\*]  $i_{pas}$  não foram corrigidos de acordo aos valores reais das superfícies aluminizadas.



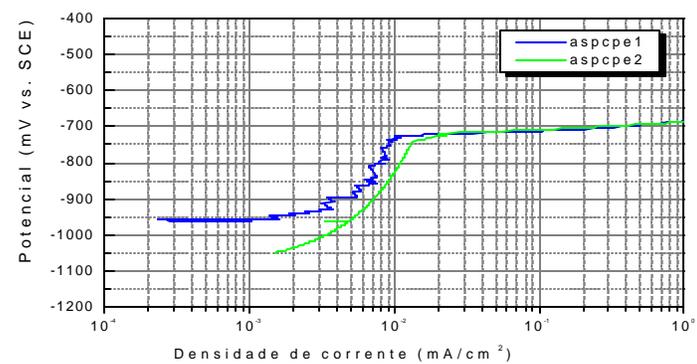
**Figura 2.** Curva de polarização do processo a chama sem preaquecimento.



**Figura 3.** Curva de polarização do processo a chama com preaquecimento.



**Figura 4.** Curva de polarização do processo a arco elétrico sem preaquecimento.



**Figura 5.** Curva de polarização do processo a arco elétrico com preaquecimento