Copyright 2010, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Resistência à corrosão de uma camada compósita matriz metálica aço inoxidável duplex/WCp preparada por laser

Maria C. F. Ierardi[1], Marcelo J. G. da Silva[2], Alex M. do Nascimento[3], Walney S. Araujo[4], Hamilton F. G. de Abreu[5]

Abstract

In this work, three solubilized cast duplex stainless steels, ASTM A890 1A, 3A and 6A, were studied. The steels were submitted to simple laser remelting (RL) surface treatments with simultaneous injection of ceramic particles (RLI). The microstructural changes and the effects of the treatments on the corrosion resistance and on the hardness of the alloys were analyzed. The microstructural changes were characterized by optical microscopy, by scanning electronic microscopy with coupled EDAX and EBSD detectors, by X-ray diffraction and by Vickers microhardness. The corrosion behavior of the alloys before and after the laser treatments were verified using polarization tests in a solution of 0.5 mol/L H_2SO_4 + 0.5 mol/L NaCl at room temperature. The results showed that the alloy surfaces treated by laser showed significant microstructural changes, which showed higher hardness of the initial condition. No changes on the typical high corrosion resistance of duplex stainless steels were observed.
Keywords: corrosion, cast duplex stainless steel, laser surface treatment

Resumo

Neste trabalho, estudaram-se três aços inoxidáveis duplex fundidos, ASTM A890 1A, 3A e 6A, na condição solubilizada. Logo após, tratamentos superficiais de refusão a laser simples (RL) e com injeção simultânea de partículas cerâmicas (RLI) foram realizados sobre as ligas. As mudanças microestruturais e os efeitos dos tratamentos sobre as propriedades de dureza e corrosão das ligas foram analisadas. As mudanças microestruturais foram caracterizadas por microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura com detectores de EDAX e EBSD acoplados, difração de raios X e microdureza Vickers. A análise do comportamento corrosivo das ligas, antes e após os tratamentos a laser, foram feitos usando ensaios de polarização em solução de 0,5 mol/L de H_2SO_4 + 0,5 mol/L de NaCl na temperatura ambiente. Os resultados obtidos mostraram que as superfícies tratadas por laser, apresentaram mudanças microestruturais significativas, as quais apresentaram durezas superiores as da condição inicial, e com a manutenção da elevada resistência à corrosão típica dos aços inoxidáveis duplex.
Palavras-chave: corrosão, aços inoxidáveis duplex fundidos, tratamento superficial a laser

[1] Professora Dra. – Departamento de Eng. de Materiais - Universidade Estadual de Campinas
[2-5] Professor Dr. – Departamento de Eng. Metalúrgica e de Materiais - Universidade Federal do Ceará

Introdução

Atualmente, os aços inoxidáveis duplex são considerados aços industriais, com aplicações nas indústrias de papel e celulose, química, petroquímica, transporte e naval. Os ambientes severos de operação, encontrados muitas vezes nessas indústrias, criam grandes desafios no desenvolvimento de materiais resistentes [1]. Mecanismos de degradação como erosão, corrosão e/ou desgaste são predominantes em componentes como bombas, assentos e guias de válvulas. Em particular, as ligas fundidas são freqüentemente usadas em bombas e válvulas em uma variedade de aplicações, onde falhas de serviços inesperadas podem resultar em problemas operacionais significantes e caros [2].

Os aços inoxidáveis duplex são ligas austeno-ferríticas, e ambas as fases estão presentes em quantidades significantes. Essas ligas possuem excelente resistência à corrosão, porém com relação a algumas propriedades de superfície essas ligas ainda deixam a desejar [1].

O campo de engenharia de superfície tem crescido a cada ano, devido à importância da superfície na eficiência de um componente de engenharia. Componentes estruturais podem falhar por fadiga, corrosão, desgaste, entre outros mecanismos, porém em uma grande parte, as falhas são afetadas e iniciadas na superfície. A criação de uma camada superficial é uma excelente alternativa quando se deseja conferir à superfície características específicas que não são intrínsecas ao metal base [3].

A criação de uma camada superficial de compósito em um substrato que possua boa resistência à corrosão, e que não apresente uma boa dureza e resistência ao desgaste torna-se interessante para aplicações industriais. A função da camada superficial de compósito seria reduzir o desgaste e a perda de material por abrasão, impacto, erosão, cavitação ou qualquer outra deterioração por atrito, mantendo-se a boa resistência à corrosão da liga. De acordo com alguns autores [4,5], o endurecimento superficial é muito utilizado para controlar a combinação desgaste/corrosão.

No presente trabalho, far-se-á uso das técnicas de refusão a laser (**RL**) e de refusão a laser com injeção simultânea de partículas cerâmicas (**RLI**) em três aços inoxidáveis duplex (ASTM A890 1A, 3A e 6A), visando à obtenção de uma camada de compósito superficial matriz metálica aço inoxidável duplex/WCp com elevada dureza e resistente à corrosão.

Materiais e Métodos

** Materiais*

Os materiais usados neste trabalho são os aços inoxidáveis duplex ASTM A890 1A, 3A e 6A. Os substratos foram retirados de barras fundidas solubilizadas com 50 mm de diâmetro.

Na **Tabela 1,** estão apresentadas as análises químicas dos materiais. As análises químicas foram fornecidas pelo fabricante SULZER DO BRASIL – FUNDINOX. Na **Tabela 1** também são apresentados os valores da relação Cr_{eq}/Ni_{eq}, calculados segundo as expressões sugeridas por Hull [6]. Esta razão dá uma boa idéia da tendência da liga para formar austenita ou ferrita como primeira fase de solidificação em processos de solidificação rápida como é o caso de processos de refusão a laser.

O índice de resistência à corrosão por pites (PRE) para as ligas estudadas também se encontra na **Tabela 1.** Este índice é utilizado como a primeira aproximação da resistência à

corrosão localizada do material. Quanto maior o valor, mais resistente é a liga a corrosão localizada e quando a liga possui esse valor superior a 40 considera-se um aço inoxidável superduplex. Portanto, a liga ASTM A890 6A é um superduplex.

**** Métodos***

- Tratamentos superficiais a laser

Os tratamentos superficiais a laser foram feitos no Laboratório de Laser pertencente ao Grupo de Ciência dos Materiais da Universidade de Groningen e para realização dos tratamentos superficiais a laser foi utilizado o seguinte equipamento (**Figura 1**):

- Equipamento laser Nd:YAG modelo Rofin Sinar CW 20 com potência nominal de 2000 W, trabalhando no modo contínuo, com distribuição de intensidade fundamentada no modo TEM_{00}.

Os tratamentos superficiais a laser realizados sobre as amostras foram os RL e RLI. O feixe de laser foi posicionado com um ângulo de 11° com relação à superfície normal do substrato para evitar que a energia refletida pela amostra chegasse a aquecer a fibra ótica. Os corpos-de-prova antes de serem levados para o tratamento superficial passaram pelo processo de jateamento com areia, reduzindo com isso a alta refletividade dos aços inoxidáveis. Utilizou-se gás de argônio como gás de proteção às lentes e para eliminar eventuais problemas oriundos de oxidação.

Um sistema de alimentação de partículas, Sulzer Metco Twin 10C, foi usado para fornecimento de forma constante as partículas cerâmicas WC policristalinas. O gás de transporte, Ar, foi usado numa taxa de fluxo de 67 ml/s. As partículas eram injetadas dentro da poça fundida com um ângulo de 37° com respeito à superfície normal.

- Microdureza Vickers

As medidas de microdureza Vickers foram realizadas com carga de 2 N, e traçou-se perfis desde a região tratada até o substrato, com impressões espaçadas de 100 µm, como forma de obter informações das propriedades mecânicas. As medidas foram realizadas nas seções transversais das amostras, previamente lixadas e polidas para eliminar as ranhuras.

- Ensaios Eletroquímicos de Corrosão

Procurou-se verificar a resistência à corrosão por pites das ligas, antes e após os tratamentos a laser, e para tanto, fez-se uso de ensaios de polarização baseados na norma ASTM G 61-86 [7]. A solução utilizada no presente trabalho está listada na **Tabela 2**, e todos os ensaios foram realizados em temperatura ambiente. O eletrólito é uma adaptação da norma, acrescentou-se ácido sulfúrico (H_2SO_4) com o objetivo de se ter uma melhor visualização do fenômeno da passivação existente nos aços inoxidáveis (**Tabela 2**).

Para a realização deste ensaio utilizou-se o eletrodo de calomelano saturado (ECS-Hg/Hg_2Cl_2) como eletrodo de referência, e foi utilizada platina como contra-eletrodo. O eletrodo de trabalho consistia no corpo-de-prova, com uma haste de cobre a este acoplada para fins de contato elétrico, e vale ressaltar que somente a área de interesse ficou exposta a solução, já que embutimentos a frio com resina foram feitos.

O conjunto contendo eletrodo de trabalho, contra-eletrodo, eletrodo de referência, constituiu a célula eletroquímica usada neste trabalho. Os corpos-de-prova ficaram expostos entre 5 e 15 minutos antes de ser iniciada a polarização, tempo esse necessário para a estabilização do potencial de corrosão. A varredura do potencial foi feita a uma taxa de

1 mV/s, a partir do potencial de corrosão. O potencial era revertido ao se atingir uma densidade de corrente de 1 mA/cm².

Resultados e Discussão

Durante a solidificação, os aços inoxidáveis duplex fundidos solidificam a ferrita como fase primária e quando a temperatura diminui, a precipitação de austenita é iniciada [8]. A microestrutura característica de um aço inoxidável duplex é formada por ilhas de austenita precitadas em uma matriz ferrítica. A **Figura 2** mostra a microestrutura típica para a liga 1A, feita por microscopia ótica.

A **Figura 3** mostra uma típica seção transversal de uma trilha simples produzida pelo processo RL. O objetivo dos ensaios RL foi estudar o comportamento dessas ligas em relação à interação com o feixe de laser em altas potências e encontrar uma janela de processamento dos parâmetros de laser para o tratamento RLI.

A dependência da máxima profundidade da zona fundida com relação à potência do laser e a velocidade de varredura está sumarizada na **Figura 3b**. Como a espessura final da zona transformada criada pela sobreposição de trilhas adjacentes não deve ser menor que 300 μm, foi limitada a janela de processamento, como marcado na **Figura 3b** por linhas tracejadas. É importante ressaltar, que todas as combinações de parâmetros de processamento no tratamento RL apresentaram trilhas simples livres de trincas e poros.

A **Figura 4a** mostra o formato e tamanho das partículas WC antes da injeção e a **Figura 4b** é a micrografia ótica da seção transversal mostrando a distribuição de partículas injetadas em três trilhas parcialmente sobrepostas com uma potência de laser de 1000 W, velocidade de varredura 13,3 mm/s e uma taxa de alimentação de partículas de 73 mg/s. Está combinação de parâmetros de processamento levaram a maior densidade volumétrica de partículas injetadas (8 % - 10 %) sem a formação de trincas dentro do volume processado. Como a potência do laser foi mantida constante durante o tratamento de RLI e as amostras são pequenas, pode ser observado pela **Figura 4b** um aumento progressivo da profundidade da poça refundida da esquerda para a direita devido ao aumento gradual da temperatura do substrato. Pelo fato da temperatura do substrato e da poça fundida não ter sido monitorada durante o tratamento foi decidido não alterar a potência do laser durante todo processamento. Entretanto, o aumento observado na profundidade não é tão significante que uma possível mudança microestrutural. Para solucionar esse provável problema, no futuro, uma redução gradual da potência do laser durante processamento será realizada. A **Figura 4b** mostra ainda que a sobreposição ideal para esta combinação de parâmetros de processamento tem de ser maior, para se conseguir uma razoável espessura da camada de compósito também nas áreas de sobreposição. Conseqüentemente, um espaçamento ideal entre as trilhas não deve ser estimado da largura das trilhas do simples tratamento de RL (como no caso mostrado na **Figura 4b**), porém da largura da trilha formada durante o próprio tratamento de RLI, porque as partículas injetadas parcialmente "evitam" o contato laser/substrato, o que resulta na redução de energia usada para fusão do substrato e subseqüentemente na redução da largura da trilha do laser.

A **Figura 5** mostra o resultado das medições de microdureza realizadas nas partes centrais (maior profundidade) das seções transversais das trilhas produzidas por RLI com o intuito de caracterizar a dureza do material entre as partículas injetadas. A dureza é quase o dobro em comparação com os substratos não tratados. Isto sugere que uma substancial quantidade de W e C deve estar dissolvida na matriz. Isto foi confirmado por medidas de EDAX, quando um valor médio de 2,1 at.% de W foi encontrado nas áreas da matriz entre partículas individuais. Uma conclusão disso, é que embora durante o processo RLI um

contato direto entre partículas injetadas e feixe do laser seja minimizado, algumas das partículas devem ter um pequeno contato com o feixe de laser, e, portanto sua superfície fundida. Está fusão superficial da partícula adicionada à fusão do substrato dá origem a uma nova composição da matriz. Os resultados da **Figura 5** também ilustram que o valor de dureza da matriz depois da injeção não depende da composição do aço duplex, já que a dureza inicial da liga 6A é um pouco maior que a dureza das outras duas ligas.

Como mencionado anteriormente, a resistência à corrosão por pites foi analisada por curvas de polarização cíclica. Nos ensaios de polarização cíclica foram determinados: potencial de pite (E_{pite}) e o potencial de proteção (E_{pp}).

As **Figuras 6a, 6b e 6c** apresentam as curvas obtidas nos ensaios eletroquímicos de polarização cíclica das ligas 1A (preto), 3A (azul) e 6A (vermelho) no estado inicial, respectivamente, numa solução aquosa naturalmente aerada de 0,5 mol/L de H_2SO_4 + 0,5 mol/L de NaCl. O formato da curva é típico de materiais já passivos. Na subida de potencial, observam-se pequenas flutuações na corrente, as quais podem ser explicadas pela formação de pequenos pites instáveis, ou seja, ocorre a quebra da película passiva que dá lugar a formação de pites que rapidamente repassivam. Nos ensaios realizados nas três ligas na condição inicial, todas apresentaram comportamento de materiais resistentes à corrosão por pites, com todos os potenciais de pite superiores a 900 mV_{ECS}. O potencial de pite é aquele no qual a corrente cresce abruptamente, o que é geralmente bastante evidente de ser verificado nas curvas. Já para determinação do potencial de proteção, existem diversos critérios, e para o presente trabalho o critério utilizado foi o ponto de intersecção entre as curvas de subida e descida. As três curvas apresentadas na **Figura 6** mostram que os valores de potenciais de proteção foram bastante próximos aos de potenciais de pite, o que mostra a excelente resistência à corrosão localizada das três ligas.

A única diferença mais acentuada a ser notada nas curvas é que na **Figura 6c**, referente a liga 6A, existe uma maior área de histeresse, o que sugere a presença de pites com tamanhos maiores.

A **Figura 7a** apresenta as curvas em escala linear (E x i), durante a varredura anódica, onde facilmente pode ser verificado o potencial de pite para as três ligas em estudo na condição inicial. A liga 6A (superduplex) apresentou o maior valor de potencial de pite, o que mostra a sua maior resistência à corrosão em relação às ligas 1A e 3A. Outro fato a ser observado é que a liga 1A (PRE= 32) mostrou-se mais resistente à corrosão localizada do que a liga 3A (PRE= 36). Em algumas literaturas é reportado que em meios contendo H_2SO_4, o cobre é responsável pelo aumento de resistência à corrosão das ligas [9,10]. Portanto, esse comportamento está relacionado à presença de cobre como elemento de liga do aço inoxidável duplex 1A.

Já a **Figura 7b** apresenta as curvas em escala logarítmica (E x log i) durante a varredura anódica, e nota-se que as densidades de corrente durante os ensaios de cada uma das ligas são diferentes; ao recordar que para o mesmo potencial quanto maior a densidade de corrente, menos resistente é o material, tal comportamento está de acordo com os valores de potenciais de pite encontrados. Portanto, a resistência à corrosão da liga 6A > 1A > 3A na solução de 0,5 mol/L de H_2SO_4 + 0,5 mol/L de NaCl.

Os resultados obtidos pelos ensaios de polarização cíclica das ligas na condição inicial mostraram que nenhumas das três ligas se encontravam susceptíveis a uma corrosão severa, isso devido a não existência de regiões anódicas (propícias à oxidação). A película de passivação se formou por quase toda a superfície de forma aderente, e para confirmação dessa análise, as amostras posteriormente aos ensaios de polarização, foram levadas para uma caracterização microestrutural e o que se pôde observar é que ocorreu um aparecimento de uma pequena quantidade de pites, durante a varredura anódica, conforme ilustrado na

Figura 8. As **Figuras 8a, 8b e 8c** ilustram a localização preferencial e o tamanho dos pites encontrados nas ligas 1A, 3A e 6A, respectivamente. Com relação à localização dos pites, observa-se que as interfaces austenita/ferrita e a fase ferrítica são as regiões preferenciais a nucleação de pites.

Com relação ao tamanho dos pites, as ligas 1A (**Figura 8a**) e 3A (**Figura 8b**) apresentaram tamanhos bastantes similares, dá ordem de 3 μm a 5 μm. Já a **Figura 8c** exemplifica a presença de pites maiores, ~ 15 μm, na interface austenita/ferrita na liga 6A, o que está de acordo com a maior área de histeresse verificada na curva de polarização cíclica (**Figura 6c**).

A **Figura 9** apresenta exemplos das curvas obtidas nos ensaios eletroquímicos de polarização cíclica das ligas 1A e 3A após tratamento RLI, respectivamente, numa solução aquosa naturalmente aerada de 0,5 mol/L de H_2SO_4 + 0,5 mol/L de NaCl; o mesmo comportamento foi observado pela liga 6A. Pelas curvas pode-se verificar que as ligas sofreram passivação, devido à presença de um pico de densidade de corrente anódica (Ia). A varredura procede com a densidade de corrente mantendo-se praticamente constante, o que é referente a passivação ocorrida. Somente em elevados potenciais, superiores a 800 mV_{ECS}, foi que os filmes de óxidos formados romperam-se, o que pode ser considerado um bom valor de potencial de ruptura. Posteriormente a ruptura do filme, a varredura procede até o limite de densidade de corrente estabelecido previamente. Ao atingir o valor de densidade de corrente limite, a varredura se dá no sentido catódico, com uma repassivação das áreas supostamente não corroídas severamente durante a subida. Pode-se notar que a varredura catódica apresenta um outro pico de densidade de corrente, nesse caso catódico (Ic). Possivelmente essa característica apresentada pelas curvas esteja relacionada às áreas superficiais das partículas cerâmicas de WC.

A **Figura 10** mostra uma pequena queda no potencial de ruptura das três ligas, o que pode ser explicado pela não formação do filme passivo, Cr_2O_3, sobre as áreas superficiais ocupadas pelas partículas cerâmicas. Verifica-se também que a liga 6A_RLI é mais resistente à corrosão do que a liga 1A_RLI que por sua vez se mantêm mais resistente que a liga 3A_RLI pelo ensaio eletrolítico realizado na solução de 0,5 mol/L de H_2SO_4 + 0,5 mol/L de NaCl.

Posteriormente, aos ensaios de polarização cíclica, as amostras 1A_RLI, 3A_RLI, 6A_RLI, foram levadas para uma caracterização microestrutural e pôde-se realmente observar que as ligas se encontravam isentas da formação de pites (**Figura 11**).

A **Figura 12** sumariza os resultados dos ensaios de polarização cíclica realizados a temperatura ambiente em solução eletrolítica de 0,5 mol/L de H_2SO_4 + 0,5 mol/L de NaCl, apresentados pelas ligas 1A, 3A e 6A, nas condições: inicial, após RL e RLI. Verifica-se que as três ligas apresentaram valores elevados dos potenciais de ruptura em todas condições, as reduções dos potenciais de ruptura não são tão significativas, podendo todas as condições ser consideradas de excelente resistência à corrosão por pites.

Conclusões

- O tratamento RLI de partículas WC dentro de aços inoxidáveis duplex fundidos produziu uma camada de compósito de matriz metálica com elevada dureza devido a maior quantidade de C e W dentro da zona de reação.
- Os ensaios eletroquímicos mostraram que as três ligas em todas as condições apresentaram excelentes resistências à corrosão localizada. Portanto, os tratamentos RL e RLI não produziram perdas significativas na resistência à

corrosão da ligas, o que os tornam viáveis em aplicações que se desejem maiores durezas, aliadas a excelente resistência à corrosão típica dessas ligas.

- A camada de compósito superficial "WC/duplex" preparadas por RLI apresentaram aumento significativo na dureza sem a perda da excelente resistência à corrosão típica dos aços inoxidáveis duplex. O que torna os resultados bastante promissores em futuras aplicações industriais.

Referências bibliográficas

1- GUNN, R.N., Duplex Stainless Steels- Microstructure, Properties and Applications, *Abington Publishing*, Cambridge, England, 1997, p.6.

2- MARTINS et al., Effect of stress relief at 350 °C and 550 °C on the impact properties of duplex stainless steels, *Materials Characterization* (2006).

3- DE HOSSON, J. Th. M and KOOI, B.J., Handbook of Surfaces and Interfaces in Materials, volume 1, chapter 1, (Eds. H.S. Nalwa) *Academic Press*, 2001, p. 1-114.

4- CROOK and FARMER, Friction and Wear of hardfacing alloys, *ASM International*, 18, 758-765, 1992

5- DAVIS, J.R., Hardfacing, Weld Cladding and Dissimilar Metal Joining, *ASM Handbook – Welding, Brazing and Soldering*, Vol. 6, 10 Edition, ASM Metals Park, Ohio, p. 699-828, 1993.

6- HULL, F.C., Delta ferrite and martensite formation in stainless steels, *Welding Jo*urnal, 52 (5), p.193-203, 1973.

7- ASTM G61-86, Standard test method for conducting cyclic potentiodynamic polarization measurements for localizes corrosion susceptibility of Iron-Nickel OR Cobair-based alloys. *Annual book of ASTM Standards*. ASTM G61-86, p. 223-227, 2003.

8- CHARLES, J., Super duplex stainless steel: structure and properties, In: *Conference Duplex Stainless Steel'94*, Glasgow-Scotland, Proceedings, p.3-48, France, 1991.

9- ALBERT, G., Corrosion resistant austenitic stainless steel, *US Patent 4217136*, 1980.

10- MUTA, T.; ABO,H.; NOGUCHI, S., Pitting corrosion resistant austenite stainless steel, *US Patent RE29313*, 1977.

Tabela 1 – Composição química dos materiais utilizados e os valores de PRE e da razão $Cr_{eq}/Ni_{eq.}$

Substrato	C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	P	S	N	Cu	W	PRE	Cr_{eq}/Ni_{eq}
1A	0.04	25.01	5.53	0.78	0.99	2.11	0.026	0.006	-	3.10	-	31.97	3.52
3A	0.03	25.33	5.38	0.84	0.9	2.3	0.025	0.005	0.19	-	-	35.96	2.94
6A	0.02	25.96	7.93	0.83	0.97	3.63	0.024	0.008	0.24	0.82	0.78	43.07	2.36

Solicita-se substituir os pontos por vírgula na Tabela 1

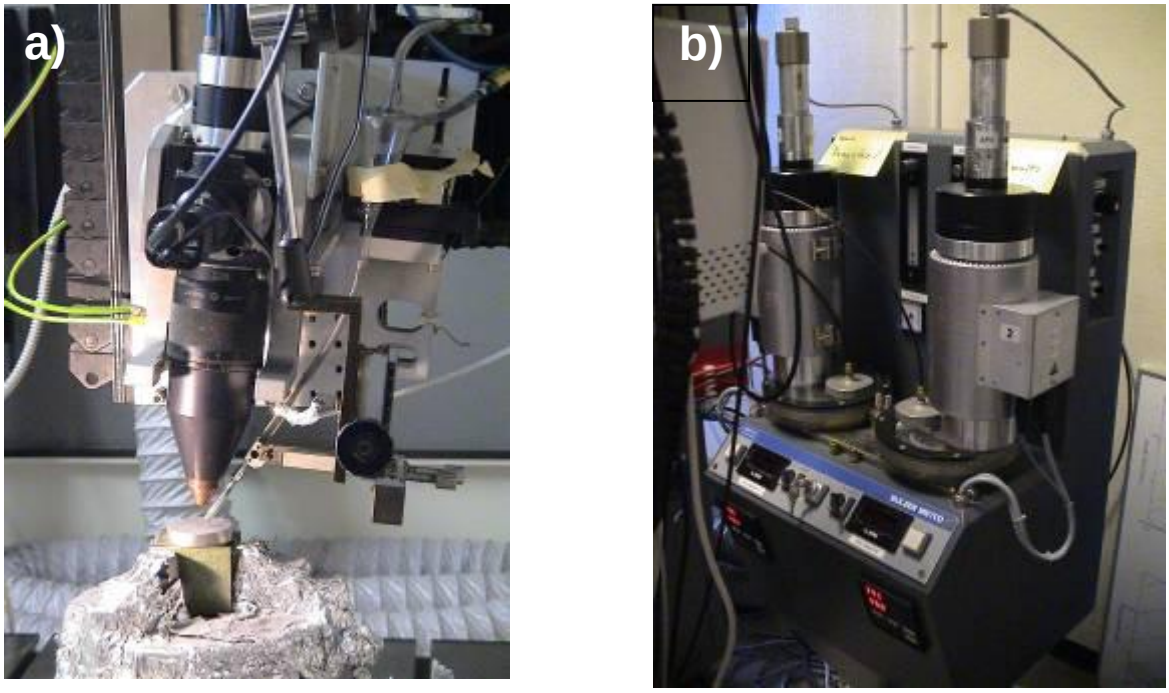

Figura 1 - (a) Vista do equipamento a laser *Nd:YAG modelo Rofin Sinar CW 20*, mostrando o bico do laser inclinado 11° e o bocal de injeção de partículas 37° com relação à superfície normal e (b) o sistema de alimentação de partículas, *Sulzer Metco Twin 10C*.

Tabela 2– Solução utilizada nos ensaios de polarização.

0,5 mol/L H_2SO_4 + 0,5 mol/L NaCl – eletrólito

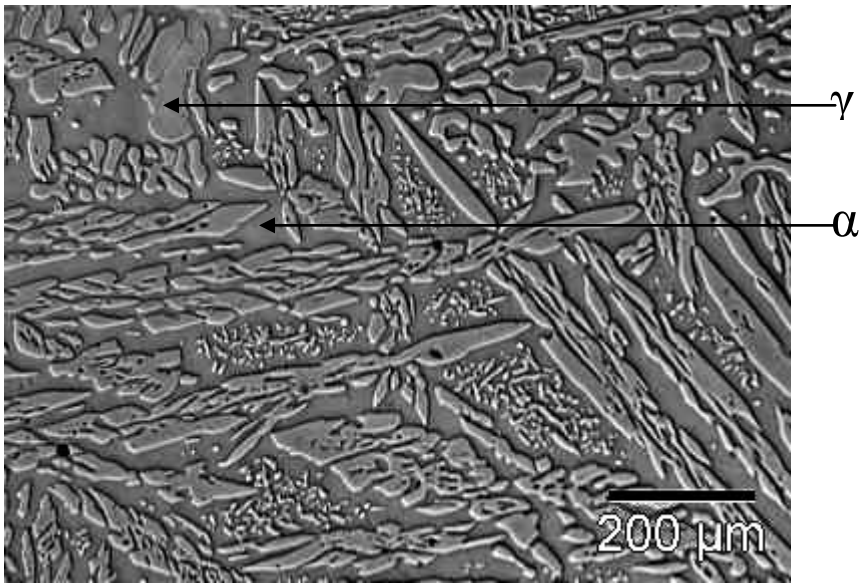

Figura 2 – Micrografia ótica da liga 1A no estado inicial, mostrando as ilhas de austenita presentes na matriz ferrítica. Eletrólito: 40 % de HNO_3 em água destilada.

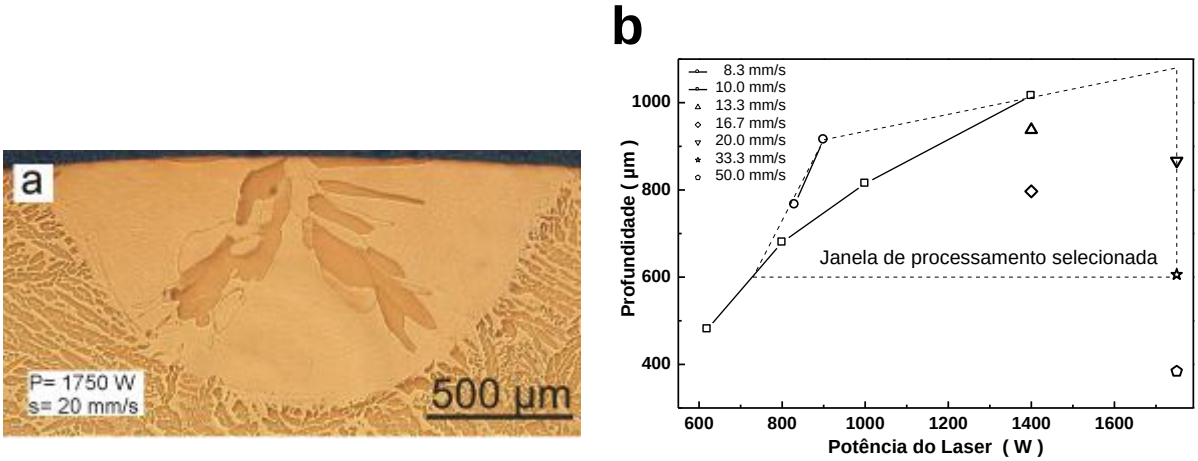

Figura 3– a) Micrografia ótica de uma poça fundida produzida por RL na liga 1A com uma potência de laser 1750 W e velocidade de varredura de 20 mm/s. b) Profundidade máxima das trilhas simples produzidas por RL como função da potência do laser e velocidade de varredura do feixe.

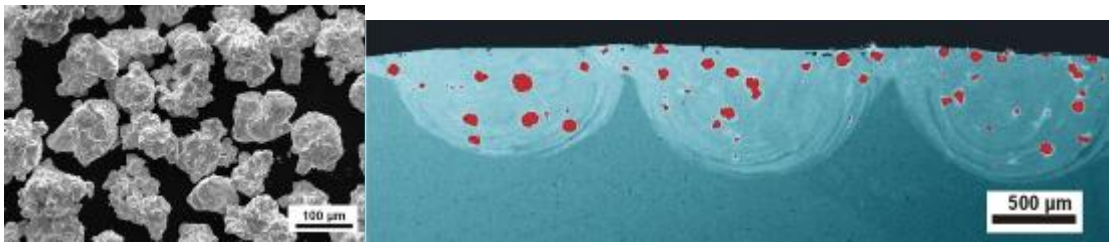

Figura 4 - a) Micrografia por MEV das partículas WC.
b) Micrografia por microscopia ótica da seção transversal perpendicular a três trilhas sobrepostas com partículas injetadas. O contraste para as partículas WC foi conseguido através do uso de um software de manipulação de imagem para estimar a fração volumétrica das partículas injetadas.

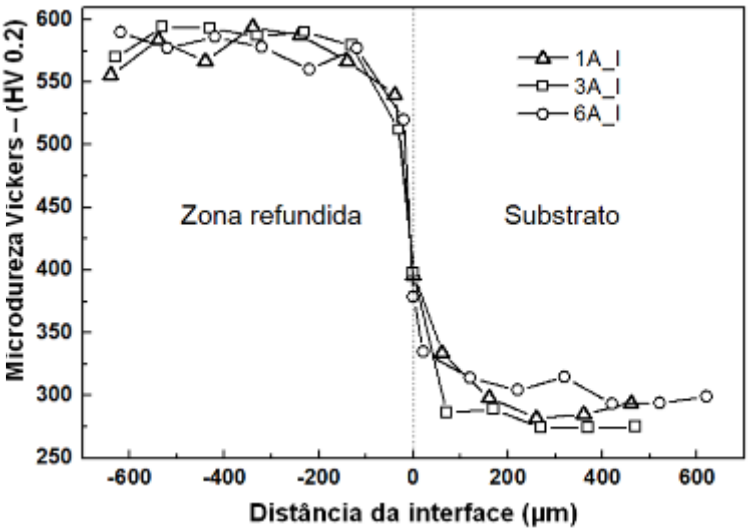

Figura 5 – Perfis de microdureza medidos em seções transversais perpendiculares de trilhas com partículas WC injetadas nos três aços inoxidáveis duplex. Durante as medições uma indentação direta em partículas WC foi evitada para caracterizar somente a dureza da matriz entre as partículas. A primeira medida foi realizada a 50 µm da superfície. A linha vertical ilustra a posição de interface entre a zona refundida e o substrato.

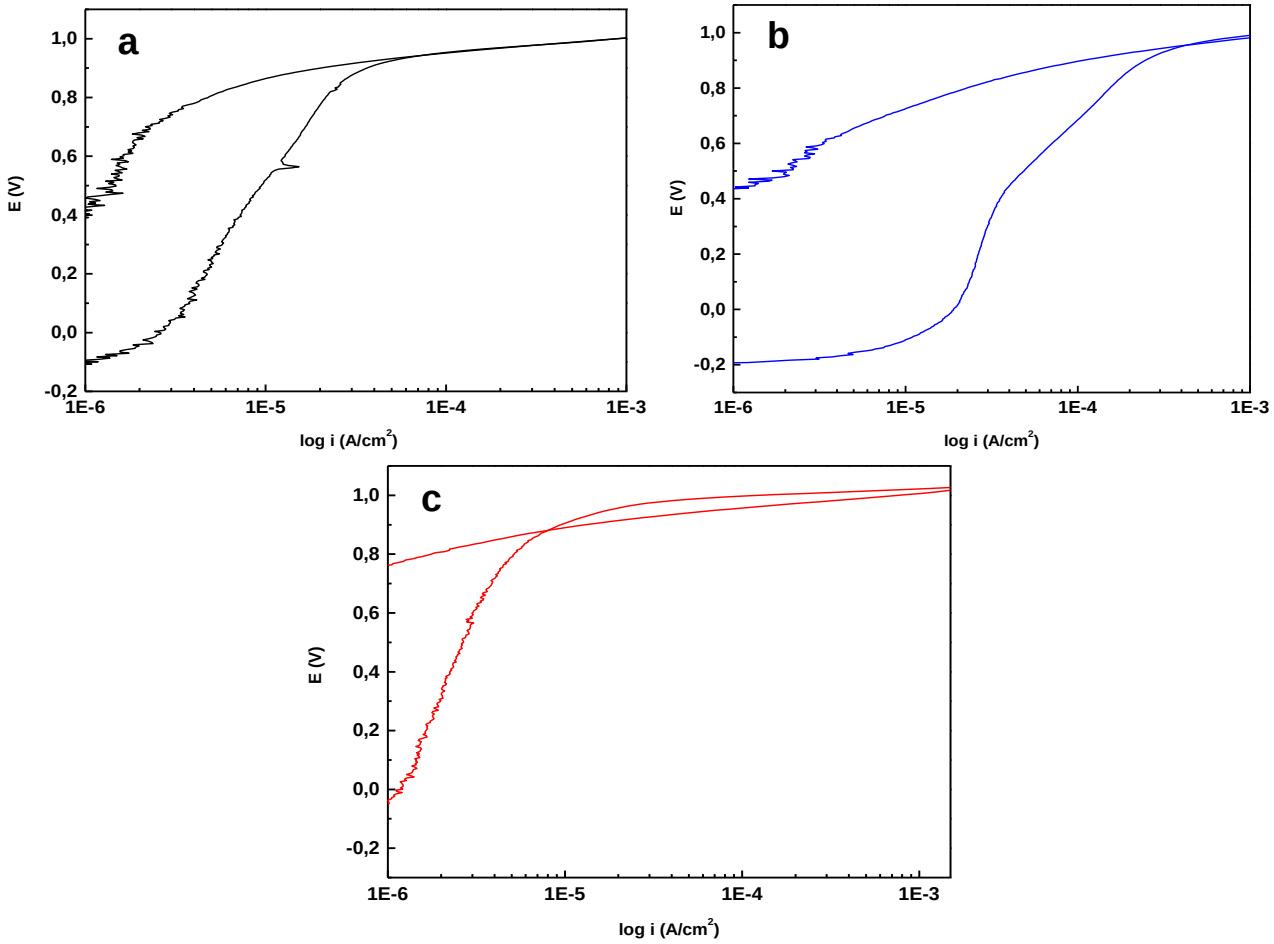

Figura 6 - Curvas de polarização das ligas na condição inicial levantadas mediante ensaio potenciodinâmico realizado numa solução aquosa naturalmente aerada de 0,5 mol/L de H_2SO_4 + 0,5 **mol/L** de NaCl, na temperatura ambiente. a) liga 1A, b) liga 3A e c) liga 6A.

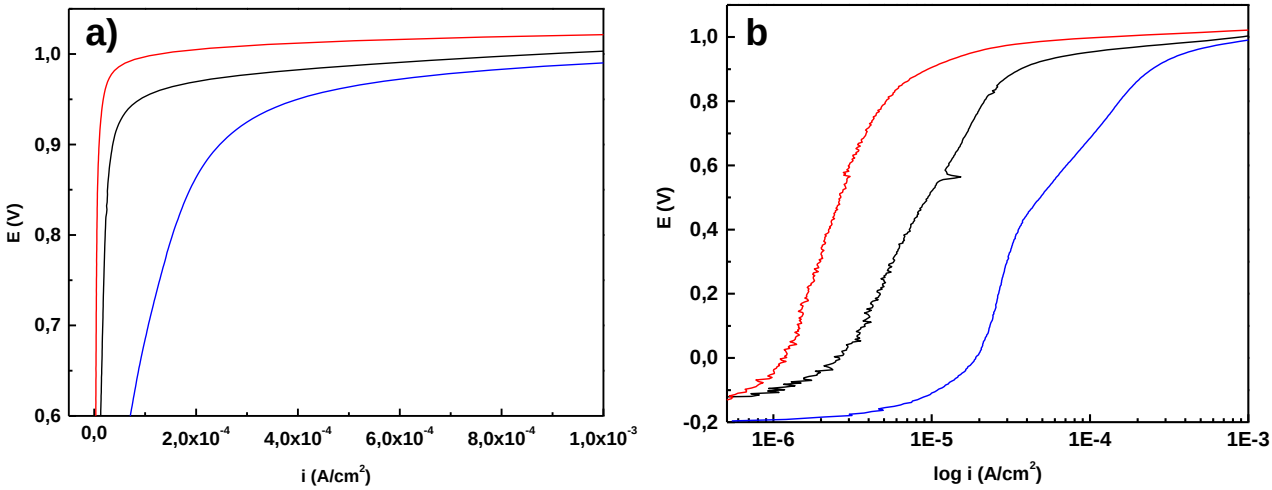

Figura 7 – Curvas de polarização obtidas durante ensaios potenciodinâmico, na varredura anódica, das ligas 1A (preto), 3A (azul) e 6A (vermelho) na condição inicial em: a) escala linear e b) escala logarítmica.

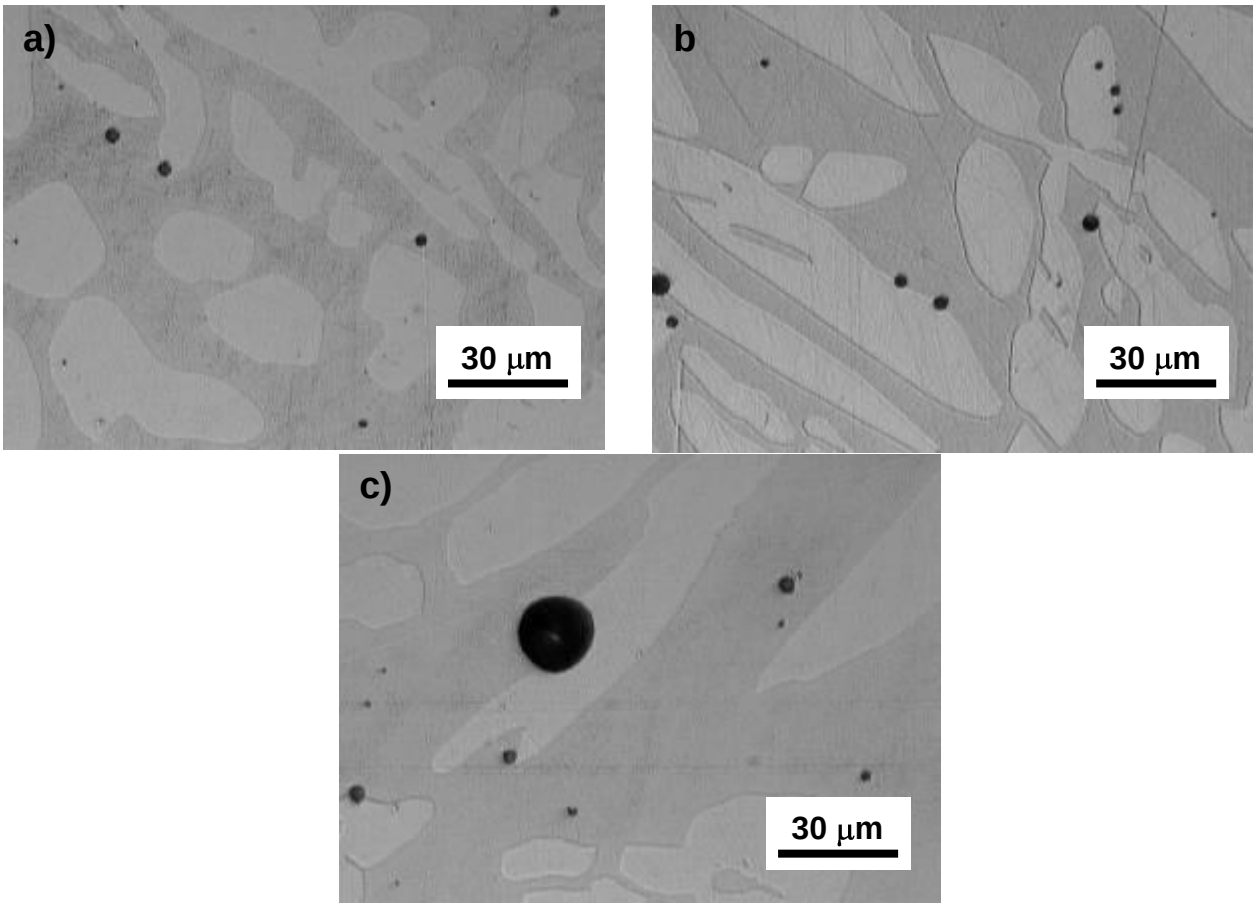

Figura 8 – Micrografias óticas das ligas na condição inicial após realização do ensaio de polarização em varredura anódica: a) liga 1A e b) liga 3A apresentando pites menores, e c) liga 6A mostrando pites de tamanhos maiores em algumas interfaces austenita/ferrita.

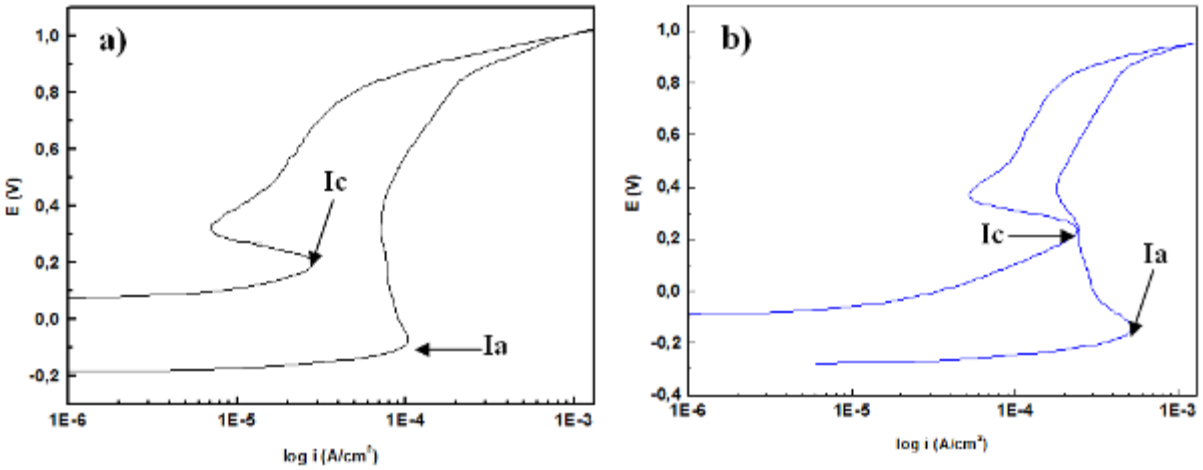

Figura 9 - Curvas de polarização das ligas, (a) 1A e (b) 3A, na condição RLI levantadas mediante ensaio potenciodinâmico realizado numa solução aquosa naturalmente aerada de 0,5 **mol/L** de H_2SO_4 + 0,5 **mol/L** de NaCl, na temperatura ambiente.

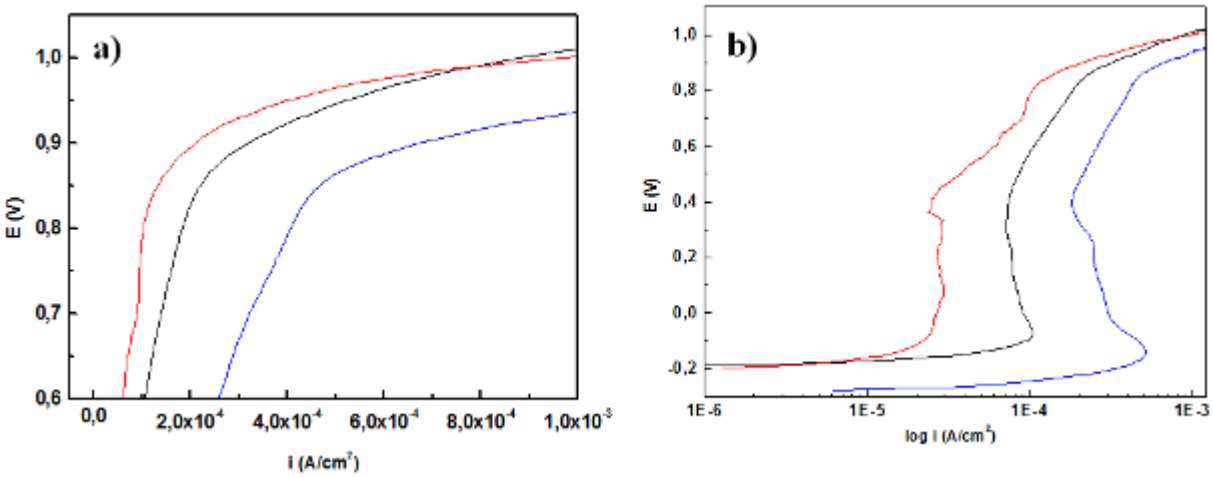

Figura 10 - Curvas de polarização obtidas durante ensaios potenciodinâmico, na varredura anódica, das ligas 1A (preto), 3A (azul) e 6A (vermelho) na condição RLI em: a) escala linear e b) escala logarítmica.

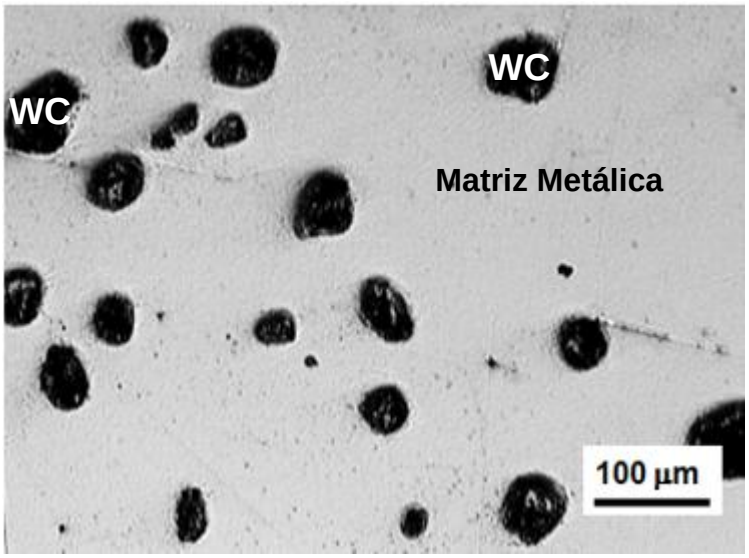

Figura 11 - Micrografia ótica da liga 6A na condição RLI após realização do ensaio de polarização em varredura anódica: superfície isenta de corrosão na matriz metálica.

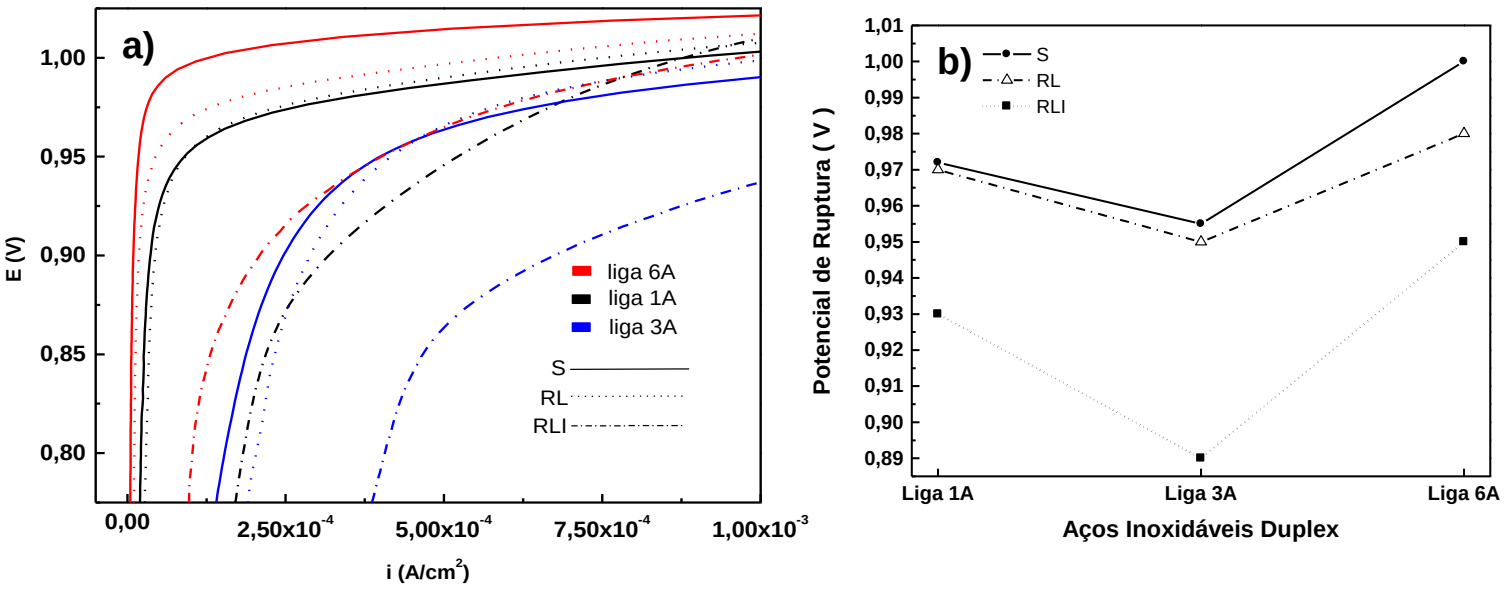

Figura 12 – a) Curvas de polarização obtidas durante ensaios potenciodinâmico, na varredura anódica, das ligas 1A (preto), 3A (azul) e 6A (vermelho) em todas as condições: inicial (linhas sólidas), RL (linhas pontilhadas) e RLI (linhas traço-ponto), b) Potenciais de ruptura da película de óxido da superfície para as três ligas nas três diferentes condições analisadas.