

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO EM JUNTAS SOLDADAS PELO PROCESSO GMAW E FCAW DO AÇO ASTM A572*

Fernando Vidal dos Santos¹
João Santiago Pedro Carneiro²
José Rubens Gonçalves Carneiro³
Pedro Paiva Brito⁴
Carlos Roberto de Araújo⁵

Resumo

O aço ASTM A572 Grau 50 é produzido em forma de chapas e perfis laminados a quente, atende aos requisitos fundamentais dos aços microligados estruturais quais sejam: aumento na resistência mecânica e na tenacidade, tornando possível uma diminuição proporcional da seção, ou seja, o emprego de seções mais leves. Esse material é empregado no setor ferroviário por atender rígidas exigências de especificações de segurança, principalmente, das pessoas. O presente estudo teve por objetivo avaliar a resistência à corrosão das juntas de aço ASTM A572 executadas com espessura de 6,3mm, com chanfro tipo "V", ângulo 60° pelos processos GMAW – MAG com arame ER 70S-6 & FCAW – MIG com arame 81 T1-A1.

Palavras-chave: Resistência à Corrosão; ASTM A572; juntas soldadas GMAW - MAG; FCAW-MIG.

ASSESSMENT OF CORROSION RESISTANCE IN WELD JOINTS BY THE GMAW AND FCAW PROCESSES ON ASTM A572 STEEL

Abstract

ASTM A572 Grade 50 steel is produced in the form of sheets and hot rolled sections. It meets the fundamental requirements of structural microalloyed steels such as: Increase mechanical strength, allowing an enhancement of the load of the structure or making possible a reduction of the cross section, ie the use of lighter sections. This material is used in the railway sector because it meets strict requirements of safety specifications. The aim of the present study was to evaluate the corrosion resistance of ASTM A572 steel joints made with a thickness of 6.3mm, with a "V" type chamfer, at a 60° angle by GMAW - MAG processes wire ER 70S-6 & FCAW - MIG with wire 81 T1-A1.

Keywords: Corrosion Resistance; ASTM A572; welded joints GMAW - MAG; FCAW-MIG.

¹ Engenheiro Mecânico, Especialista em Estruturas, Mestrando, Gestor Núcleo de Fundação, Kuttner do Brasil, Contagem, MG Brasil, professor do Instituto de Educação Continuada (IEC), da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG Brasil.

² Engenheiro Mecânico, Mestre, Pesquisador em Tecnologia, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG Brasil.

³ Engenheiro Metalúrgico, Doutor, professor Adjunto da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG Brasil.

⁴ Engenheiro Mecânico, Doutor, professor Adjunto da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG Brasil

⁵ Engenheiro Metalúrgico, Mestre, professor do Instituto de Educação Continuada da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O aço ASTM A572 é produzido em forma de chapas e perfis laminados a quente com resistência à corrosão atmosférica é superior à dos aços carbono. Ele atende aos requisitos fundamentais dos aços microligados estruturais tais como: Melhorar a resistência à corrosão atmosférica e aumentar a resistência mecânica. Este é um fator importante a considerar, porque a utilização de seções mais finas pode significar vida mais curta da estrutura, a não ser que a redução da seção seja acompanhada por um aumento correspondente da resistência à corrosão do material [1].

É empregado no setor ferroviário por atender rígidas exigências de especificações de segurança na condição de soldagem MIG/ MAG. [2].

Atualmente, na indústria vem sendo muito utilizado os processos acima referenciados para soldas de raiz, passes de enchimento e acabamento em estruturas. Para equipamentos sujeitos a vibrações costuma-se utilizar o processo FCAW – MIG com arame 81 T1-A1 (MS" B") e para demais equipamentos GMAW – MAG com arame ER 70S-6 (MS" A") [3].

Poucos estudos foram realizados em soldas nessa classe de aço. É necessário avaliar a resistência à corrosão do metal base (MB), e dos metais de solda (MSA & MSB) em comparação com o metal de base (MB), tal como em equipamentos que experimentaram perda de espessura por corrosão localizada tanto em juntas soldadas como no metal de base [4].

Dentro deste contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar a resistência à corrosão das juntas de aço ASTM A572 executadas com espessura de 6,3mm, com chanfro tipo "V", ângulo 60° pelos processos GMAW – MAG com arame ER 70S-6 & FCAW – MIG com arame 81 T1-A1.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e métodos

O aço ASTM A572 (Grau 50) é microligado de alta resistência mecânica com elevada resistência à corrosão atmosférica, utilizado comumente na soldagem de peças de chassis de metro, tendo a finalidade de dar sustentação aos sistemas mecânicos e, ao mesmo tempo, garantir segurança no seu funcionamento. Esse aço é utilizado na área de fabricação de uma indústria ferroviária como material base na forma de chapa laminada a quente com espessura de 6,3mm.

2.1.1 Preparação dos Corpos de Prova e Soldagem

Os cortes dos corpos de prova para o metal base e soldagem foram realizados em máquina CNC de Oxicorte. As dimensões iniciais da chapa eram 80 x 80 x 6,3 mm, o corte foi realizado na direção de laminação. Em seguida, os corpos de prova para soldagem foram chanfrados em uma máquina fresadora. Foram realizados os processos de soldagem MAG - GMAW & MIG - FCAW semiautomáticos em dois corpos de prova de dimensões finais 6,3x193x425mm, com tipo de chanfro em "V", ângulo 60°, abertura de solda 3mm, de acordo com [5].

Foram soldados 2 corpos-de-prova, com dimensões finais de #6,3x193x425mm, 01 peça com o arame "A", e peça com o arame "B". As juntas qualificadas em aço carbono ASTM A572. A posição de soldagem foi plano-horizontal. O processo GMAW ocorreu com a seguinte proporção (75% de Ar & 25% de CO₂) e para o processo de soldagem FCAW ocorreu com a seguinte proporção (99,99% de CO₂).

Os parâmetros de soldagem foram controlados por meio dos comandos da máquina de soldagem, e foram registrados para arames A e B, estes parâmetros foram determinados experimentalmente em função da qualidade da solda.

Após o posicionamento do corpo-de-prova no dispositivo, o soldador regulou os parâmetros da máquina de solda conforme os procedimentos de soldagem. Executou as soldas dos corpo-de-prova, retirando as impurezas do cordão com uma escova de aço.

Para as duas chapas, após o processo de soldagem em um dos lados, foi retirado o corpo-de-prova do dispositivo e feito a extração de raiz com uma lixadeira rotativa. Após resfriamento de 30 minutos foi realizado o ensaio de líquido penetrante. Nesse ensaio aplicou-se o líquido ao longo do cordão, e após 10 minutos, o revelador.

Para os corpos de com os arames do tipo “A” e do tipo “B”, após a soldagem completa dos três passes (raiz, preenchimento e extração da raiz), foi realizado além dos ensaios de líquido penetrante o ensaio de Ultrassom conforme dados do resultado dos ensaios.

2.1.2Preparação metalográfica

A macrografia foi realizada em aumento de 20X, realizada em lupa Discovery, marca Zeiss.

Para a análise metalográfica de prova foi executado o embutimento a quente das amostras. As amostras foram embutidas em baquelite por meio de prensa, utilizando-se pressão de até 120 kgf/mm², tempo de aquecimento 10 min e tempo de resfriamento de 5 min para polimerização. A análise metalográfica avaliou as microestruturas do metal base (MB), metal de solda do tipo “A” (MSA) e metal de solda do tipo “B” (MSB).

Essas amostras foram fresadas e, posteriormente, preparadas em lixas com granulometrias de 180, 220, 320, 400, 500, 600 e 1000 mesh. Em seguida, foi realizado polimento de acabamento em feltro impregnado com pasta de diamante de dimensão de 9, 3 e 1 µm.

Para análise da microestrutura, essas amostras foram atacadas com nital 2%, e, posteriormente, observadas em microscópio ótico marca Zeiss, com aumentos de 100X e 200X.

2.1.3Microdureza Vickers

Perfis de microdureza Vickers, foram levantados nas amostras embutidas, do metal base (MB), metal de solda do tipo “A” (MSA) e metal de solda do tipo “B” (MSB). O ensaio foi realizado em microdurômetro Vickers carga de 0,2 kgf, amostra embutida 10 x 10 mm e atacada com nital 2%.

A medida do metal de base foi realizado 10 impressões aleatórias em ponto diversos e aleatórios numa amostra de 10 x 10 mm embutida e atacada quimicamente.

As amostras soldadas com “solda do tipo A” e “solda do tipo B” foram medidas conforme figura 10. Foram realizadas 3 medidas em cada uma das posições analisadas no cordão e com as distâncias indicadas na figura de 0,5 mm entre a mesma linha e 0,3 mm entre as linhas.

A Figura 2 mostra esquematicamente como foram feitas as medidas.

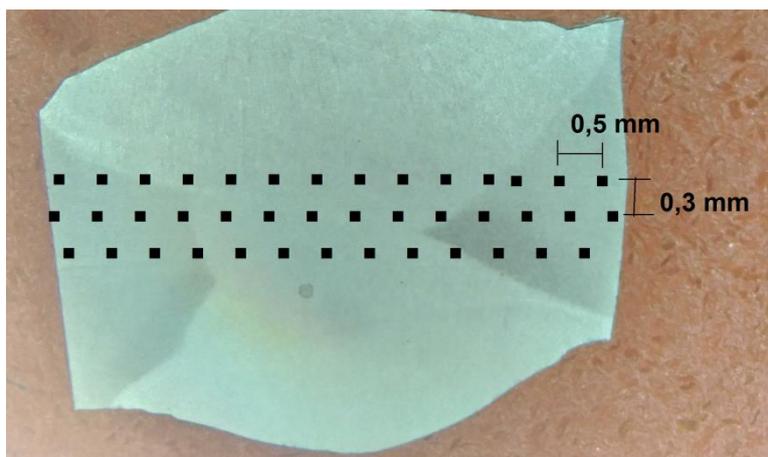


Figura 2. Esquema das medidas realizadas.

2.1.4 Ensaio de Corrosão Eletroquímico

Na realização dos ensaios eletroquímicos utilizou-se a célula de corrosão eletroquímica tipo “flat cell”.

Foi utilizado como solução eletrolítica uma solução de ácido sulfúrico 0,5 mol/L (H_2SO_4 0,5M). O preparo desta solução consiste em diluir 27,7 mL de H_2SO_4 , grau PA, em água destilada para 1000 mL. O equipamento usado na realização dos ensaios de corrosão eletroquímica foi o potenciostato, modelo IviumStat, da Ivium Technologies B. V., acoplado “on-line” a um microcomputador e a célula eletroquímica de três eletrodos: eletrodo de platina (auxiliar e medidor de corrente elétrica), eletrodo de calomelano saturado (Hg_2Cl_2 sat., referência e aplicação de potencial) e eletrodo de trabalho (amostra a ser analisada).

Todos os ensaios foram conduzidos à temperatura ambiente do laboratório. Durante 1 hora (3600 segundos) foram feitos levantamentos das curvas de potencial de circuito aberto (OCP – Open Circuit Potential) registrando-se a variação de E_{corr} (potencial de corrosão) com o tempo até a estabilização.

As condições usadas na obtenção das curvas de polarização potenciodinâmicas estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Condições usadas na obtenção da curva de polarização potenciodinâmica.

CONDIÇÕES USADAS	VALOR
Potencial inicial de varredura	-600 mV (-0,6V) abaixo do potencial de circuito aberto
Potencial final de varredura anódica:	2000 mV (2,0 V)
Velocidade de varredura	0,2 mV/s – 0,002 V/s

Os parâmetros físico-químicos para os materiais metálicos são dados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos para o aço ASTM A572

Parâmetros	Metal Base ASTM A572
Eq.wt (g)	27,79
ρ (g/cm ³)	7,82

A obtenção dos parâmetros eletroquímicos correspondentes às curvas de polarização potenciodinâmicas e curvas de Tafel foi feita através do software IviumSoft, que gerencia também o levantamento das curvas de estabilização de potencial com tempo e o levantamento dos diagramas de impedância eletroquímica. As condições usadas na obtenção dos diagramas de espectroscopia de impedância eletroquímica são listadas na Tabela 3.

Tabela 3. Condições usadas na obtenção do diagrama de espectroscopia de impedância eletroquímica.

CONDIÇÕES USADAS	VALOR
Faixa de frequência	15 mHz – 10 kHz
Amplitude de voltagem (rms)	5 mV rms
Frequência de leitura	5 pontos/década

A interpretação dos resultados e análise dos diagramas de espectroscopia de impedância eletroquímica seguiram os procedimentos recomendados pela literatura específica [5; 6; 7]

2.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultados de trabalho estão descritos nessa seção.

2.2.1 Macrografia das Juntas Soldadas

As Figura 3 apresenta a macrografia da seção transversal da junta com consumível Aonde denota-se claramente os passes realizados. No entanto, é possível visualizar nitidamente a extensão da ZTA cujo valor máximo não excede, de forma aproximada, os 0,5 mm.

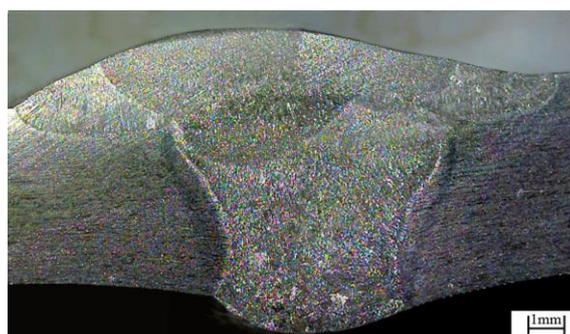
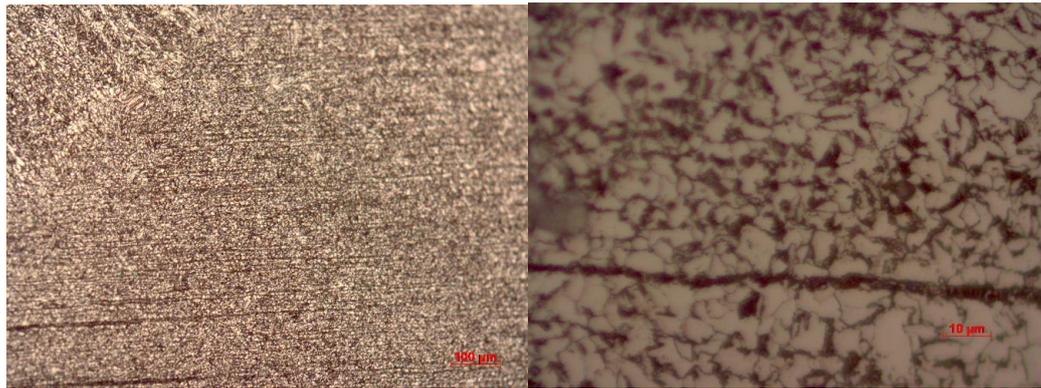


Figura 3. Macrografia da junta soldada para os corpos de prova do tipo “A”. Ataque eletrolítico de ácido oxálico.

2.2.2 Micrografia das Juntas Soldadas

As Figuras 5, 6 apresentam as microestruturas característica do Metal Base. Zona Fundida e Zona Termicamente Afetada, atacada pelo reagente Beraha. Este ataque é propício para uma boa distinção entre as fases δ (escura) e γ (clara).

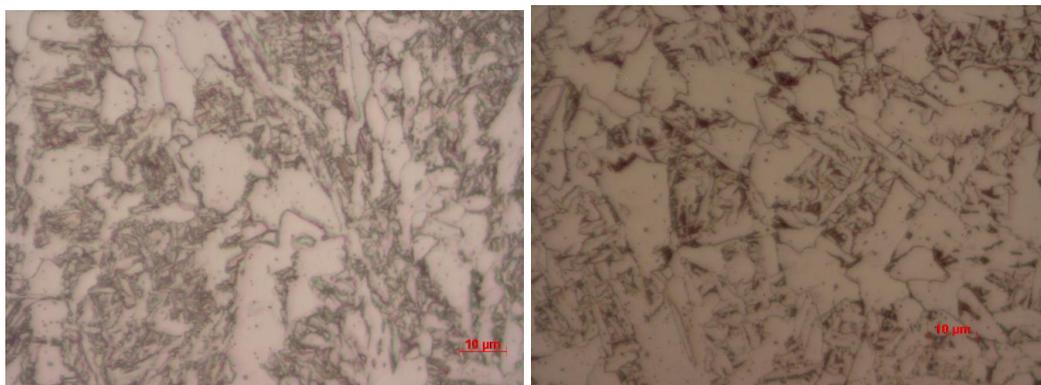


(a)

(b)

Figura 5a. Microestrutura da junta soldada Metal Base (MB) c.p. prova do tipo “A”.

Figura 5b. Microestrutura da junta soldada Metal Base (MB) c.p. prova do tipo “B”.



(a)

(b)

Figura 6a. Microestrutura da junta soldada Zona Fundida (ZF) c.p. prova do tipo “A”.

Figura 6b. Microestrutura da junta soldada Zona Fundida (ZF) c.p. prova do tipo “B”.

2.2.3 Microdureza Vickers

A microdureza Vickers das amostras do metal de base e das soldas com consumíveis A e B está mostrada na figura 7.

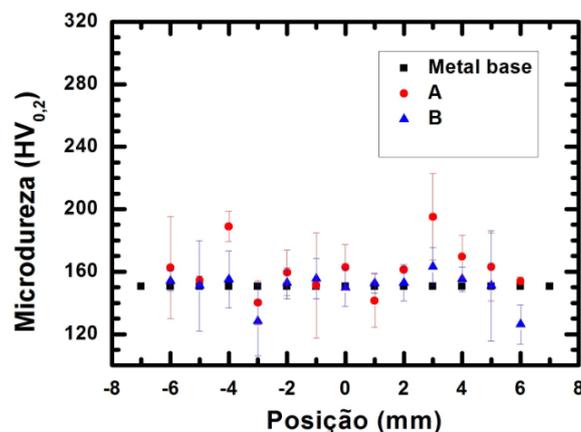


Figura 7. Perfil de microdureza do Metal Base (MB)

Na Figura 7 se observa o perfil de microdureza da ZTA exibindo um comportamento parecido com o da ZF com picos de microdureza na ZTA, embora também possam ser observados valores mais elevados de microdureza no MB se comparados com os valores obtidos na região da ZTA. Deste modo, fica evidenciada que esta região também apresentou certa sensibilidade ao aumento desta propriedade mecânica.

2.3.4 Ensaio de Corrosão Eletroquímico

A Figura 8 apresenta as curvas de polarização potenciodinâmica para as amostras de aço ASTM A572 obtidas em solução de ácido sulfúrico 0,5 mol/L (H_2SO_4 0,5 M), na condição não aerada onde se tem oxigênio naturalmente dissolvido, à temperatura ambiente.

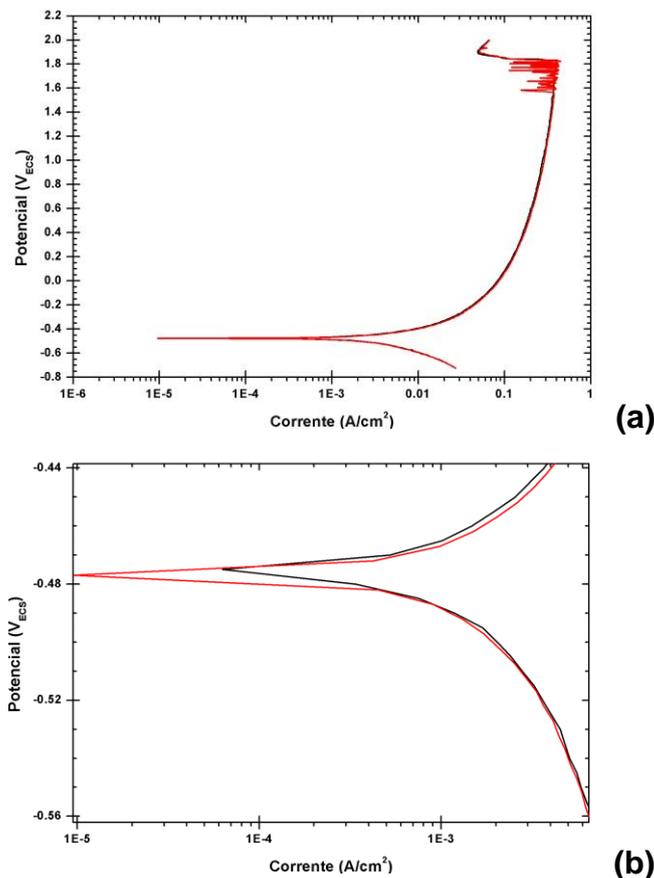


Figura 8. (a) Curva de polarização potenciodinâmica para amostras de aço ASTM A572 obtidas em H_2SO_4 0,5 M à temperatura ambiente e (b) Região de Tafel

Observa-se na Figura 8 que as amostras sofrem dissolução anódica contínua até cerca de 1,8 V (ensaio 01) e 1,6 V (ensaio 02), não apresentando condição de passivação superficial; acima destes potenciais ocorre a pseudo passivação, que lamentavelmente não protege o material contra a corrosão eletroquímica. De modo geral, a passivação é decorrente da formação de um filme de oxi-hidróxido na superfície do metal quando a liga apresenta elementos químicos tais como Cr e Ni em concentrações elevadas, o que não é o caso do aço ASTM A572, que pode ser considerado um aço carbono.

A Tabela 4 apresenta os parâmetros eletroquímicos extraídos das curvas da região de Tafel apresentadas na Figura 8. (b).

Tabela 4. Parâmetros eletroquímicos extraídos das curvas de polarização potenciodinâmica apresentados na Figura 19

Amostra	E_{corr} (mV _{ECS})	I_{corr} (A/cm ²)	R_{corr} (mpy)	R_{corr} (mma)
Ensaio 01	- 477,1	0,001633	747,64	18,99
Ensaio 02	- 476,3	0,0008296	379,76	9,646

A Tabela 4 revela que o potencial de corrosão, E_{corr} , medido pelo eletrodo de calomelano saturado (ECS) é constante para ambas as amostras. No entanto, observa-se que a densidade de corrente de corrosão, I_{corr} , e a taxa de corrosão, R_{corr} , da amostra 02 é metade da amostra 01; ademais, os valores são muito altos para se afirmar que o material é resistente à corrosão eletroquímica no meio corrosivo de H_2SO_4 0,5 M.

A Figura 9 apresenta as curvas de polarização potenciodinâmica para as amostras de aço ASTM A572 soldadas usando o metal de solda A, Tabela 2, obtidas em solução de ácido sulfúrico 0,5 mol/L (H_2SO_4 0,5 M), na condição não aerada onde se tem oxigênio naturalmente dissolvido, à temperatura ambiente.

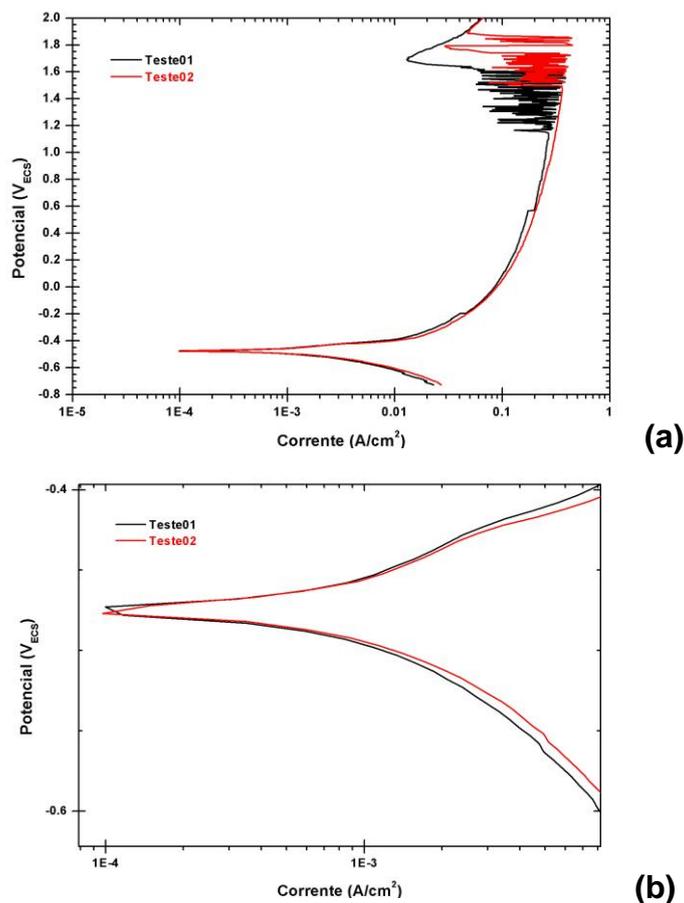


Figura 9. (a) Curva de polarização potenciodinâmica para amostras de aço ASTM A572 soldada com o metal de solda A obtidas em H_2SO_4 0,5 M à temperatura ambiente e (b) Região de Tafel

Observa-se na Figura 9 que as amostras sofrem dissolução anódica contínua até cerca de 1,2 V (ensaio 01) e 1,5 V (ensaio 02), não apresentando condição de

passivação superficial; acima destes potenciais ocorre a pseudo passivação, que lamentavelmente não protege o material contra a corrosão eletroquímica. A Tabela 5 apresenta os parâmetros eletroquímicos extraídos das curvas da região de Tafel apresentadas na Figura 9(b).

Tabela 5. Parâmetros eletroquímicos extraídos das curvas de polarização potenciodinâmica apresentados na Figura 20

Amostra	E_{corr} (mV _{ecs})	I_{corr} (A/cm ²)	R_{corr} (mpy)	R_{corr} (mma)
Ensaio 01	- 474,2	0,001162	531,89	13,51
Ensaio 02	- 476,6	0,0007871	360,79	9,164

A Tabela 5 revela que o potencial de corrosão, E_{corr} , é constante para ambas as amostras. No entanto, observa-se que a densidade de corrente de corrosão, I_{corr} , e a taxa de corrosão, R_{corr} , da amostra 02 é 0,68 menor do que a amostra 01.

A Figura 10 apresenta o gráfico de barras comparativo dos valores de R_{corr} (mma – milímetros por ano), para as amostras de aço ASTM A572 sem solda e ASTM A572 soldadas usando o metal de solda A, Tabela 2, obtidas em solução de ácido sulfúrico 0,5 mol/L (H_2SO_4 0,5 M), na condição não aerada onde se tem oxigênio naturalmente dissolvido, à temperatura ambiente.

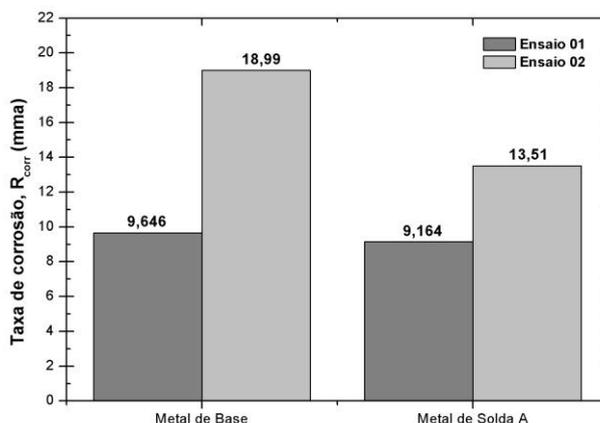


Figura 10. Curva de polarização potenciodinâmica para amostras de aço ASTM A572 soldada com o metal de solda A obtidas em H_2SO_4 0,5 M à temperatura ambiente

Observa-se que a adição do metal de solda A no metal de base reduziu a taxa de corrosão da zona soldada; isto é, provavelmente, devido ao fato da associação dos teores de Cr, Ni e Mo presentes no metal de solda A serem superiores ao metal base.

3 CONCLUSÕES

O Efeito das soldas na microdureza é quase inexistente com a dureza praticamente constante tanto na zona termicamente afetada quanto na zona fundida e no metal de base.

As amostras de aço ASTM A572, com e sem cordão de solda de metal A, apresentam dissolução anódica contínua, sem fenômeno de passivação: ocorre uma pseudopassivação em potenciais acima de 1,6 V, que não é recomendável;

As amostras de aço ASTM A572, com e sem cordão de solda de metal A, apresentam comportamento eletroquímicos diferentes e distintos mecanismos de corrosão;

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento a pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 FERRER, M H ; Tenacidade à fratura do aço AISI/SAE- 4140 quando tratado através de têmpera e partição. Joinville: Ufsc, 2013. 20 p.
- 2 GORNI, A. A.; Aços avançados de alta resistência: microestrutura e propriedades mecânicas, Corte e Conformação de Metais, 44, pp. 26-57, 2008.
- 3 PADILHA A.F., AMBROSIO F.F; Técnicas de análise microestrutural, São Paulo: Ed. Hemus, 1985, 190p.
- 4 COLPAERT, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. In *Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns*. Edgard Blucher, 1994.
- 5 Norma AWS D1.1. "Código de Soldagem estrutural-aço". AWS, 2002
- 6 ORAZEM, M. E.; TRIBOLLET, B. Electrochemical Impedance Spectroscopy. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 523p., 2008.
- 7 WOLLYNEC, S. Técnicas eletroquímicas em corrosão. São Paulo: Editora USP, 2003.
- 8 Norma ASTM G106. "Standard practice for verification of algorithm and equipment for electrochemical Impedance measurements", ASTM International, 2003