

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A CORROSÃO DE AÇOS PARA APLICAÇÃO EM AMBIENTE DE ALTA AGRESSIVIDADE INDUSTRIAL*

Cinara Piazzarolo Lana¹
Renata Braga Soraes²

Resumo

O papel da Engenharia de Materiais e estudo da Corrosão com seus aspectos integrados tem se mostrado cada vez mais importante para adoção de métodos, materiais e técnicas de apoio à tomada de decisões gerenciais de gestão de ativos, integridade estrutural de plantas industriais e avaliações de custo benefício de aplicações. Neste contexto, o estudo em questão demonstrou através de testes eletroquímicos laboratoriais, utilizando como eletrólito a solução coletada em planta industrial objeto do estudo, a relação comparativa de alguns aços a fim de concluir a respeito da melhor aplicação no ambiente destas plantas operacionais. O entendimento das taxas de corrosão e do comportamento comparativo entre os aços estudados- sendo o atualmente utilizado, ASTM A36, e os propostos para o prolongamento da vida útil das estruturas: aço patinável ASTM A588 e ASTM A36 galvanizado por imersão a quente- comprova ser de grande utilidade para a aplicação industrial similares submetidas a processos com os agentes agressivos identificados.

Palavras-chave: Corrosão; Ensaio eletroquímico; Aço patinável; aço galvanizado.

DETERMINING OF THE CORROSION RESISTANCE OF CERTAIN STEEL IN ORDER TO APPLICATION IN HIGH AGGRESSIVE ENVIRONMENT INDUSTRIAL Abstract

The role of Materials Engineering and the study of Corrosion with its integrated aspects has been increasingly important to use methods, materials and techniques to support the management decision-making of asset management, structural integrity of industrial plants and cost evaluations benefit of applications. In this context, this study demonstrated through laboratory electrochemical tests, using as electrolyte the solution collected in industrial plant object of the this study, the comparative relation of some steels in order to conclude about the best application in the environment of these operating plants. The understanding of the corrosion rates and the comparative behavior between the studied steel - ASTM A36, and those proposed for the extended life of the structures: ASTM A588 and ASTM A36 hot-dip galvanized steel- prove to be of great utility for the similar industrial application submitted to processes with the aggressive agents identified.

Keywords: Corrosion; Electrochemical tests; Weathered steel; Galvanized steel

¹ Engenheira de Produção, Especialista em Engenharia de Materiais e Integridade Estrutural, Engenheira de Confiabilidade em Integridade Estrutural na ArcelorMittal Tubarão, Serra – ES.

² Engenheira Química, Dra. em Engenharia Química, Pesquisadora e Professora da Universidade Federal de Minas Gerais- Belo Horizonte - MG

1 INTRODUÇÃO

O processo de corrosão é um fenômeno natural e espontâneo e atinge de forma significativa os materiais metálicos para usos em ambientes industriais. O papel da Engenharia de Materiais e estudo da Corrosão com seus aspectos integrados tem se mostrado cada vez mais importante para adoção de métodos, materiais e técnicas de apoio à tomada de decisões gerenciais de gestão de ativos, integridade estrutural de plantas industriais e avaliações de custo benefício de aplicações.

Os problemas com corrosão geram perdas econômicas significativas nas indústrias siderúrgicas, químicas, petrolíferas, alimentícias e outras em geral. Segundo a entidade International Zinc Association (IZA), em estudo realizado junto à USP-SP [1], cerca de 4% do PIB do Brasil é gasto com corrosão, tomando como base o ano de 2015. Este valor é significativamente alto e ainda mais relevante quando associado a perdas indiretas não quantitativas.

Neste contexto, verificou-se a necessidade um estudo mais aprofundado dos meios de ação, características e proposições para um problema de corrosão de aplicação direta em uma siderúrgica brasileira.

A ArcelorMittal Tubarão é uma siderúrgica integrada de aços planos, localizada em região litorânea do Sudeste do Brasil, com capacidade de produção anual de 7,5 milhões de toneladas de aço em placas e bobinas. Foi fundada em 1983 e opera desde então ininterruptamente.

Além de problemas inerentes a sua característica produtiva e localização que propiciam em maior grau a ação e exposição dos aços à corrosão, foi verificado no complexo, uma planta de tratamento do processo de geração de ferro gusa denominada Granulação de Escória que fica localizada na área do Gusa que possui alto grau de severidade para o aço carbono em função da alta condutividade e presença de cloretos e sulfetos na água de tratamento e resfriamento que circula na planta.

Os principais agentes agressivos presentes nesta planta industrial da Granulação de Escória são cloretos e sulfetos. Estes agentes promovem um ataque químico na pintura de proteção e posteriormente no aço da estrutura de suportaçõo levando a problemas de ordem de Integridade Estrutural.

Desta forma, o estudo em questão pretendeu avaliar através de testes eletroquímicos laboratoriais, dentre a gama dos diversos materiais metálicos hoje disponíveis para utilização industrial, alguns aços, que melhor possuem propriedades de resistência mecânica, corrosividade e durabilidade quando atacados pelos agentes agressivos expostos nos ambientes objeto deste estudo, visando viabilidade técnica e econômica na aplicação.

1.1 Materiais e suas Aplicações

1.1.1 Aço Carbono Patinável ASTM A588

Segundo Pannoni [2], no início da década de 1930, a companhia norte-americana United States Steel Corporation, desenvolveu um aço enriquecido com cobre e fósforo, chamado aço de baixa liga e que mais tarde seria conhecido como aço patinável cujo nome comercial era Cor-Ten e tinha como principal característica a maior resistência à corrosão que demais aços carbonos estruturais.

Este aço, quando exposto à atmosfera, desenvolvem em sua superfície uma camada de óxidos compacta e aderente denominada “pátina”, que funciona como barreira de proteção contra a corrosão e possibilita sua utilização sem qualquer tipo de revestimento (Dutra, [3]).

Segundo Pannoni [2], o que distingue os aços patináveis dos aços comuns, no que diz respeito à resistência à corrosão, era o fato de que, sob certas condições ambientais de exposição, ele podia desenvolver em sua superfície uma película de óxidos aderentes e protetores, chamada de pátina, que atuava reduzindo a velocidade do ataque dos agentes corrosivos presentes no meio ambiente. A adição de cobre e níquel (e molibdênio) ao aço carbono estrutural acarreta alterações sensíveis na dinâmica de quimioabsorção dissociativa da molécula de água. Desse modo, não somente retarda o crescimento da película, mas também a formação de misturas de Fe^{2+}/Fe^{3+} na camada de óxido. Os resultados sugerem que, após a quimioabsorção do oxigênio, há a formação de uma camada de FeO que recobre toda a superfície. Após este estágio, um outro óxido cresce sobre o óxido original, e contém Fe^{3+} , mas, possivelmente, algum Fe^{2+} .

Como resultado, a incorporação de fragmentos de moléculas de água na película de óxido pode fornecer o potencial termodinâmico para o aumento da corrente iônica, levando ao aumento da velocidade de oxidação dos aços patináveis em seus primeiros estágios de exposição.

A composição e a estrutura cristalográfica da ferrugem que se forma sobre os aços patináveis são similares às da ferrugem gerada sobre o aço carbono. Nos primeiros, contudo, constata-se a presença, na interface metal/ferrugem, de uma nova fase, amorfa, rica daqueles elementos de liga neles presentes, como o cobre, o fósforo e outros. É justamente essa camada que, limitando o suprimento de água, oxigênio e estimuladores de corrosão à superfície metálica, inibe a dissolução desta, reduzindo drasticamente a velocidade com que sua corrosão se processa.

Segundo Pannoni [2], a formação da pátina protetora é função de vários fatores tais como os parâmetros climáticos e níveis de poluição do local onde a estrutura está exposta, do grau de abrigo de um dado componente estrutural e da própria composição química do aço. De modo geral, a velocidade de corrosão dos aços patináveis é estabilizada na maior parte das atmosferas após três ou quatro anos de exposição.

Uma condição importante para a formação da pátina protetora é a existência de períodos de umedecimento e secagem alternados. Em áreas abrigadas da chuva, a pátina marrom escura avermelhada não é normalmente obtida e a superfície metálica fica recoberta por uma camada de ferrugem de coloração marrom amarelada que, menos protetora do que a pátina bem formada, mas mais compacta e aderente do que aquela formada sobre o aço carbono comum na mesma condição. Desta forma, em exposições internas (tais como aquelas existentes no interior de uma edificação), nenhuma diferença sistemática tem sido observada entre os aços patináveis e os aços carbono estruturais comuns (Pannoni, [2]).

Como regra geral, aços patináveis têm sido utilizados em seu estado natural, isto é, sem pintura, em ambientes que propiciem o aparecimento da pátina protetora. Em resumo, podemos afirmar que, em situações onde a formação da pátina não é adequada, os aços patináveis e os aços carbono tornam-se praticamente equivalentes na sua aplicação (Pannoni, [2]).

1.1.2 Aço Carbono Galvanizado por imersão a quente

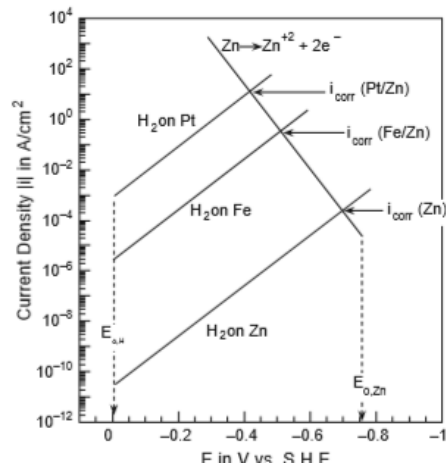
Segundo S.M. Manhoboscoa, et.al [4], a galvanização por imersão a quente aplicada aos aços, comparada a outros revestimentos, apresenta a proteção contra corrosão de longo prazo e de longo prazo em uma ampla gama de ambientes moderadamente agressivos, como no caso da corrosão atmosférica, do solo e das águas naturais. A resistência à corrosão conferida pelos revestimentos de zinco por imersão a quente (HD Zn) é fornecida por uma camada metálica compacta e perfeitamente aderente, colada ao substrato que veda a superfície do aço contra a ação corrosiva do meio ambiente. Quando o revestimento é danificado durante a vida útil, o zinco menos nobre corrói sacrificialmente para proteger o substrato de aço.

McCafferty [5] explica a dinâmica do funcionamento da proteção catódica do zinco para o aço carbono através das curvas de polarização a seguir na figura 1. A taxa de corrosão do zinco no par de Zn / Fe é maior que a do zinco desacoplado, porque a densidade da corrente i_c para a reação catódica (evolução de hidrogênio) é maior no ferro do que no zinco. A densidade de corrente de troca para evolução de hidrogênio em Pt, Fe e Zn segue a seguinte ordem:

$i_{0,H}(Pt) > i_{0,H}(Fe) > i_{0,H}(Zn)$. Conseqüentemente, os diagramas de Evans mostrados na Figura 1 mostram que as taxas de corrosão seguem a seguinte ordem:

$i_{corr}(Zn \text{ acoplado a } Pt) > i_{corr}(Zn \text{ acoplado a } Fe) > i_{corr}(Zn \text{ sozinho})$

Figura 1- Efeito do metal catódico na taxa de corrosão do zinco em um par galvânico em uma solução ácida.



Fonte: McCafferty, [5]

2 DESENVOLVIMENTO

Para realização do trabalho foram escolhidos três aços de aplicação comum no mercado para montagem de estruturas metálicas e coletadas amostras da água usada diretamente no processo de resfriamento da escória granulada na Torre de Refrigeração da planta de Granulação de Escória 1 do Alto Forno 1, ao qual as estruturas metálicas da planta estão submetidas seja diretamente, seja indiretamente através da névoa ou escapes, de forma a se obter o cenário de teste mais próximo à realidade deste objeto de campo.

2.1 Corpos de Prova

Os corpos de prova utilizados consistiram em substratos de aço, em duplicata, de dimensão aproximada de 100mm x 100mm, sendo suas caracterizações:

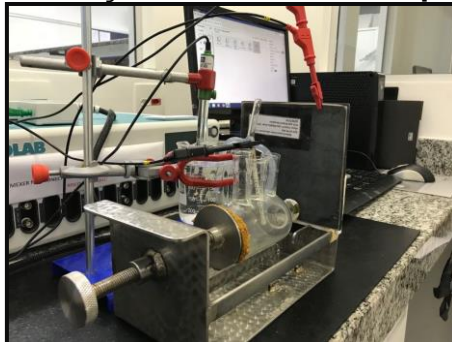
- Aço Carbono ASTM A36, com composição conforme norma.
- Aço Patinável ASTM A588- COR 500, com composição conforma norma. Esta amostra ficou exposta ao tempo por aproximadamente 4 meses. Havia, portanto, uma fina camada de óxido formada em sua superfície, mas não estava com a pátina perfeitamente formada. Alguns ensaios foram feitos removendo-se esta camada óxido através de lixamento e outros deixando a camada formada e apenas limpando com pano e água destilada para análise dos resultados.
- Aço Galvanizado, sendo substrato em aço carbono A36 revestido com zinco pelo processo de galvanização por imersão a quente, sendo 85 micron de espessura de revestimento e composição química do zinco com classificação SHG (*special high grade*), segundo norma ASTM B6 ou BS EN 1179, sendo 99,99% da composição em Zinco e depositado através de processo de imersão a quente segundo norma ASTM A123 e NBR6323 de 07/2016.

A área de exposição de cada amostra foi igual a 0,19635 cm² (correspondente a um diâmetro de 5 mm).

2.2 Tipos de Eletrodo

Foram utilizados em todos os testes um contra-eletrodo de platina e eletrodo de referência de calomelano saturado (SCE), conforme Figura 2.

Figura 2 - Eletrodo de referência de calomelano saturado (SCE) posicionado para realização de ensaio eletroquímico.



2.3 Caracterização do Eletrólito

O eletrólito utilizado foi a água industrial do processo de resfriamento da Escória Granulada coletada em ponto de amostragem próxima à Torre de resfriamento do Granulador de Escória (GE). Esta água vem da saída do espessador do Alto Forno 1 e é usada no processo de resfriamento da escória que é um subproduto da produção do Ferro Gusa nos Altos Fornos.

Esta água possui elevado teor de cloretos e sólidos em suspensão, por se tratar de uma água industrial. As estruturas metálicas ao entorno das edificações da planta sofrem processo de corrosão severo, pois além da proximidade com os gases siderúrgicos, partículas de enxofre (S) em suspensão do ambiente industrial, permanecem frequentemente umedecidas pela névoa das águas usadas no processo ou por problemas de vazamentos em tubulações. Este filme de cloretos depositado na superfície das estruturas é extremamente favorável ao aumento da taxa de corrosão destas estruturas.

A caracterização do eletrólito quanto a condutividade, dureza, ph, ferro e cloretos foi feita e os dados históricos de acompanhamento da solução do processo também foram fornecidos pela empresa AMT para que se pudesse realizar este estudo.

2.4 Ensaio de Corrosão

Os ensaios de corrosão foram realizados em duplicata utilizando-se um potenciostato Autolab PGSTAT 128N associado a uma célula eletroquímica composta por um eletrodo de trabalho (amostra de aço), contra-eletrodo de platina e eletrodo de referência de calomelano saturado (SCE). Como eletrólito foi empregada a solução coletada e cedida pela empresa.

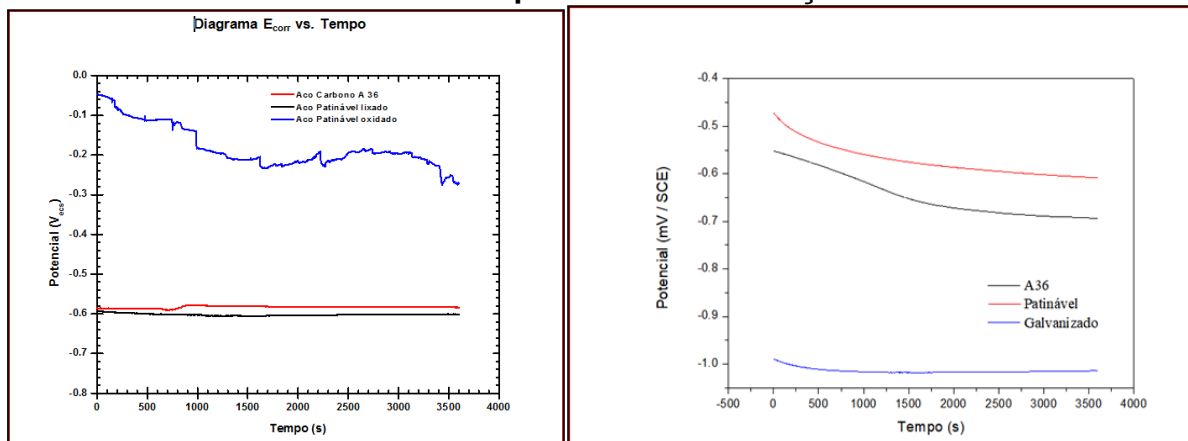
2.4.1 Ensaio de Potencial de Circuito Aberto (OCP)

Os valores obtidos e estabilizados por 3600 segundos para os potenciais de circuito aberto dos os aços A36, patinável e galvanizado, sendo o aço patinável em duas amostras, lixado e com a película de óxido em processo de formação, estão demonstrados na Tabela 1 e Figura 3.

Tabela 1- Valores do Potencial de Circuito Aberto (OCP) medidos

Amostras	OCP (mV / SCE)
A36	-0,693
Patinável	-0,608
Galvanizado	-1,02

Figura 3- Valores obtidos no Ensaio de OCP para os aços A36, galvanizado e patinável, sendo o aço patinável em duas amostras, lixado e com a película de óxido em processo de formação



O aço patinável lixado, ou seja, sem a formação da pátina, e o aço A36 apresentaram praticamente mesmo valor de potencial (algo em torno de -0,6 V). O aço patinável com presença de óxido, apresentou valor muito maior de potencial (em torno de -0,25 V).

Quando comparados os aços A36 e patinável ao aço galvanizado (substrato A36 com galvanização por imersão a quente), verifica-se um potencial aproximado dos aços não revestidos e bem distinto do aço galvanizado que possui potencial mais negativo, característico do zinco que possui menor potencial na série galvânica.

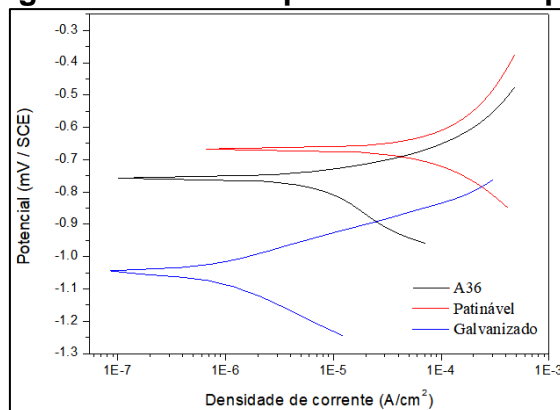
2.4.2 Ensaio de polarização por Extrapolação de Tafel

As curvas de Tafel foram obtidas utilizando taxa de varredura de 1,0 mV.s⁻¹, numa janela de potencial de ± 250 mV (vs SCE) em relação ao potencial de circuito aberto previamente estabilizado por 3600 segundos. Os parâmetros de taxa de corrosão foram calculados pelo método de extrapolação de Tafel. A Tabela 2 e Figura 4 abaixo demonstra as curvas de polarização comparativas dos três aços estudados: A36, aço patinável e aço galvanizado por imersão a quente.

Tabela 2- Parâmetros de Tafel obtidos para as amostras dos aços no meio eletrolítico fornecido pela empresa

Amostras	E_{corr} (mV / SCE)	i_{corr} (A/cm ²)
Patinável	-0,665	$3,41 \times 10^{-5}$
A36	-0,758	$6,06 \times 10^{-6}$
Galvanizado	-1,04	$6,63 \times 10^{-7}$

Figura 4- Curvas de Polarização Potenciodinâmica dos aços em eletrólito com solução de água industrial de processo cedida pela empresa



Como se observa na curva de polarização potenciodinâmica, as amostras avaliadas não apresentam região de passivação. Todas apresentam corrosão uniforme.

Observa-se ainda que o aço patinável apresenta densidade de corrente superior aos aços carbono A 36 e aço galvanizado, em até duas ordens de grandeza, o que pode ser significativo, indicando menor resistência à corrosão. Este comportamento é um tanto quanto inesperado se apenas avaliarmos a propensão do material à resistência à corrosão, haja vista conter aditivos em cobre e cromo. Mais à frente no estudo, serão analisados estes resultados e os motivos pelos quais entende-se este comportamento. O aço galvanizado apresentou melhor resistência a corrosão comparativamente aos outros dois, indicando uma densidade de corrente de $6,63 \times 10^{-7}$ A/cm², sendo uma ordem de grandeza inferior ao aço A36.

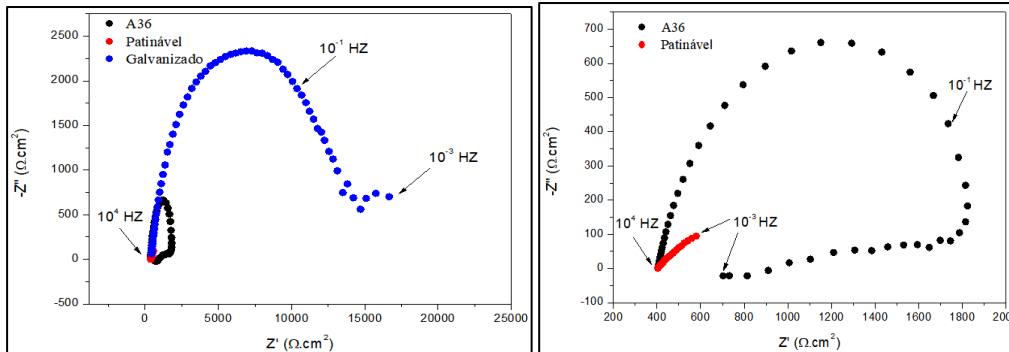
2.4.3 Ensaio de Impedância ou Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE)

Os ensaios de EIE foram realizados em duplicata e conduzidos numa faixa de frequências de 104 a 10⁻² Hz, com perturbação potencioestática de amplitude de 10 mV (vs SCE) acima do potencial de circuito aberto (previamente estabilizado por 3600 s).

A Figura 5 abaixo representam os Diagramas de Nyquist das amostras de aço A36, aço patinável e aço galvanizado em eletrólito com solução de água industrial do processo da empresa.

É notória a maior resistência a corrosão do aço galvanizado frente aos aços carbono sem revestimento observada graficamente na Figura 5. O parâmetro R_p (Resistência à polarização), também indicado na Tabela 3, chegou próximo a $15000 \Omega \cdot \text{cm}^2$, significando cerca de 10 vezes mais que o valor da resistência a polarização encontrado para o A36 neste eletrólito. Além disso, o ensaio de impedância demonstrou que a amostra de aço patinável teve desempenho bem inferior em relação à resistência à corrosão do aço carbono A36 sob ação do eletrólito em questão. Este comportamento será analisado mais adiante.

Figura 5 Diagrama de Nyquist das amostras de aço no meio eletrolítico fornecido pela empresa



Os Diagramas de Bode representados na Figura 6 comprovam graficamente todo comportamento ensaiado. É possível verificar maiores valores de resistência a polarização representados em módulo de Z para o aço galvanizado, aço carbono A36 e aço patinável A588 respectivamente.

Figura 6 Diagrama de Bode das amostras de aço no meio eletrolítico fornecido pela empresa

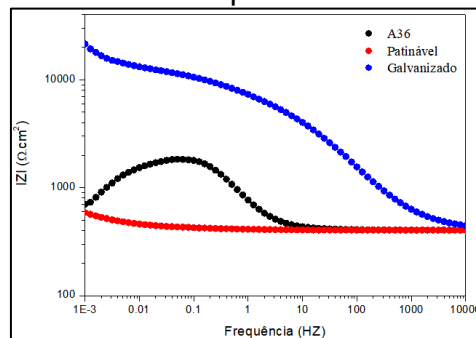


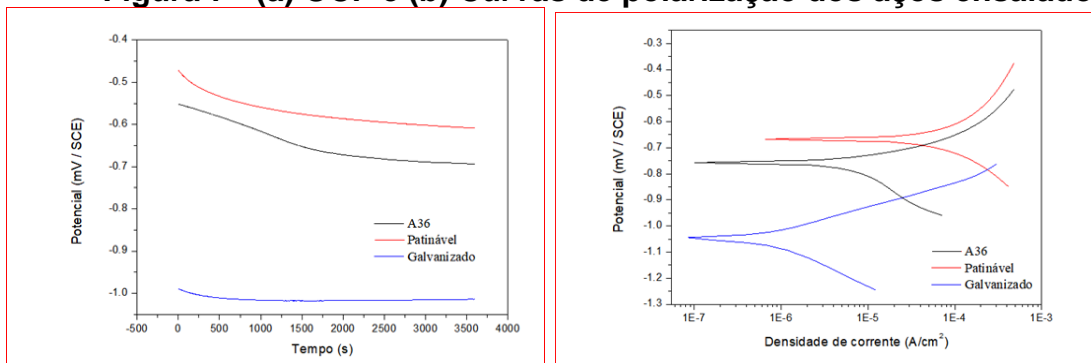
Tabela 3- Parâmetro R_p (Resistência à polarização) obtido para os aços no ensaio de EIE

Amostras	R_p ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)
A36	1531,99
Patinável	460,07
Galvanizado	13165,49

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados no ensaio de Potencial de Circuito Aberto e Polarização poderiam em primeira análise representar dados discrepantes em relação ao comportamento do aço carbono galvanizado, pois na OCP indicada na figura 7 (a) observa-se que a amostra de aço revestido com zinco pelo processo da galvanização a quente quando exposta ao eletrólito em questão, apresentou potencial mais negativo que as demais, indicando uma maior propensão à corrosão do que do aço carbono A36 sem revestimento e o aço patinável A588. Entretanto, observando-se os ensaios de polarização na Figura 7 (b), este comportamento se inverte, e é então verificada uma menor densidade de corrente no aço galvanizado.

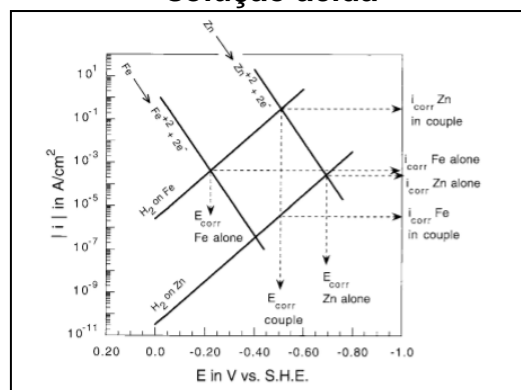
Figura 7- (a) OCP e (b) Curvas de polarização dos aços ensaiados



Este fenômeno evidencia o processo de proteção catódica ao qual o aço carbono quando imerso em solução de zinco a fim de revestimento por processo de galvanização está submetido e é bem explicado por McCafferty [5] em sua obra.

McCafferty [5] afirma que se analisando a Figura 8 abaixo, temos que o potencial de corrosão para o par Fe / Zn é maior que o do Ferro separadamente e que a densidade de corrente de corrosão do ferro no par Fe / Zn é menor que a densidade de corrente de corrosão do ferro desacoplado. Assim, a teoria do potencial misto mostra que o acoplamento do ferro ao zinco em soluções ácidas resulta na proteção catódica do ferro pelo zinco.

Figura 8 - Explicação cinética da proteção catódica do ferro por zinco em uma solução ácida



Fonte: McCafferty [5]

Desta forma, podemos afirmar no procedimento experimental em questão, que a amostra de aço galvanizado submetida à exposição da solução de água industrial de processo demonstrou maior resistência à corrosão que as demais amostras ensaiadas.

Além disto, é de grande relevância a observação do comportamento do aço patinável A588 frente aos demais ensaiados. Esperava-se pela composição química mais nobre deste aço, uma maior resistência a corrosão face ao menos ao aço carbono A36.

Conforme abordado, o mecanismo de proteção do aço patinável que lhe confere a característica da resistência à corrosão superior aos demais aços de sua categoria é a formação da pátina em sua superfície, que na verdade trata-se do óxido da liga de ferro-cobre que possui dureza superficial capaz de inibir a dissolução do oxigênio e reduzir a corrosão na camada posterior à da pátina formada.

Ocorre que, as amostras ensaiadas no estudo em questão possuíam a pátina ainda em formação. A pátina pode demorar de 8 meses a 2 anos para sua formação em condições favoráveis, mas as amostras estavam com exposição a intempéries a no máximo 4 meses.

Desta forma, observa-se então nos resultados dos ensaios de polarização e impedância reiterados no Diagrama de Bode, que o óxido em formação não somente não aumentou a resistência a corrosão do aço patinável como propiciou uma superfície mais porosa, favorecendo o aumento do processo de corrosão eletroquímica, através da dissolução do oxigênio neste aço.

Pannoni [2], retrata este processo afirmando que após a quimioabsorção do oxigênio, há a formação de uma camada de FeO que recobre toda a superfície. Após este estágio, um outro óxido cresce sobre o óxido original, e contém Fe³⁺ e algum Fe²⁺. A incorporação de fragmentos de moléculas de água na película de óxido pode levar ao aumento da velocidade de oxidação dos aços patináveis em seus primeiros estágios de exposição.

Para uma melhor análise do comportamento deste aço seria necessária a avaliação do produto dos óxidos formados através de ensaios de Difração ou análise química no microscópio eletrônico de varreduras (MEV) e técnicas complementares.

Desta forma, não podemos afirmar que o aço patinável tem menor resistência à corrosão quando submetido a ação deste eletrólito, mas sim que esta amostra coletada, que ainda não possui a patina protetora formada apresentou pior desempenho frente aos demais ensaiados.

3 CONCLUSÃO

A realização dos ensaios de corrosão de forma a se obter o comportamento real de aços carbono revestidos ou não comumente usados no mercado sujeitos à exposição de água industrial de resfriamento do processo de Granulação de Escória se mostrou eficaz e interessante para apoio na tomada de decisão das equipes de engenharia de materiais e aplicações da Usina.

Neste estudo foram caracterizadas as amostras e agentes agressivos presentes na água industrial ao qual estão submetidas, bem como realizada ampla revisão bibliográfica sobre as características destes aços e comportamentos esperados quanto à resistência a corrosão, assim como dos ensaios eletroquímicos usados para a comprovação da resistência a corrosão real testada.

Através dos ensaios realizados foi possível observar que o aço carbono galvanizado por imersão a quente apresentou um melhor desempenho quanto a resistência à corrosão quando exposto ao agente agressivo da solução coletada da água de processo da usina, embora o estudo não possa ser conclusivo quanto a não eficácia da utilização do aço patinável para fins de prolongamento da vida útil das estruturas metálicas atualmente fabricadas em aço carbono A36 pois conforme analisado, seriam necessários ensaios complementares e amostras mais estáveis.

O entendimento das taxas de corrosão e do comportamento comparativo entre os aços estudados, sendo o atualmente utilizado – A36- e os propostos para o prolongamento da vida útil das estruturas – aço patinável A588 e aço galvanizado por imersão a quente – é de grande utilidade para a aplicação industrial não somente na siderúrgica objeto do estudo mas para diversas aplicações industriais similares submetidas a processos com os agentes agressivos identificados.

Este estudo visa então contribuir de forma satisfatória com as equipes de engenharia de materiais e aplicações das indústrias locais na tomada de decisão sobre os processos de manutenção, substituições e novas aquisições de estruturas metálicas, demonstrando a resistência a corrosão dos materiais expostos aos agentes agressivos presentes no ambiente industrial estudado e desta forma, poder contribuir para a redução dos custos totais, aumento da produtividade e estabilidade operacional através do prolongamento da vida útil das estruturas de suas plantas. Descrição das principais conclusões.

REFERÊNCIAS

- [1] *Corrosion Cost*. 2018. Building Context and Their Prevention.” *Swedish Corrosion Institute*, 1985 [acesso em 21 de janeiro de 2019]. Disponível em : www.corrosioncost.com
- [2] Fabio Domingos Pannoni, Ph.D.1. “História, comportamento e usos dos aços patináveis na engenharia estrutural brasileira.” 2002. [acesso em 20 de março de 2019]. Disponível em : [http://www.engmarcoantonio.com.br/cariboost_files](http://www.engmarcoantonio.com.br/cariboost_files;);
- [3] Dutra, A.S., U. Boff, A.S. Marques, e L. Schaeffer. “Estudo analisa o uso de aços estruturais resistentes à corrosão atmosférica.” *Corte & Conformação de Metais*. 2013 [acesso em 20 de março de 2019]. Disponível em : https://www.academia.edu/27944525/Artigo_Universidade_Federal_UFRGS;
- [4] Manhoboscoa, Sara M., Taise M. Manhoboscob, Nicolas Geoffroy, Vincent Vignalc, e Luis Dicka. “Corrosion behaviour of galvanized steel studied by electrochemical microprobes applied on low-angle cross sections.” *Corrosion Science*, 2018.
- [5] McCafferty, E. *Introduction Corrosion Science*. New York: Springer Science, 2010. of electrochemistry in corrosion science and in practice.” *Corrosion Science*, 1974: 25-82..