

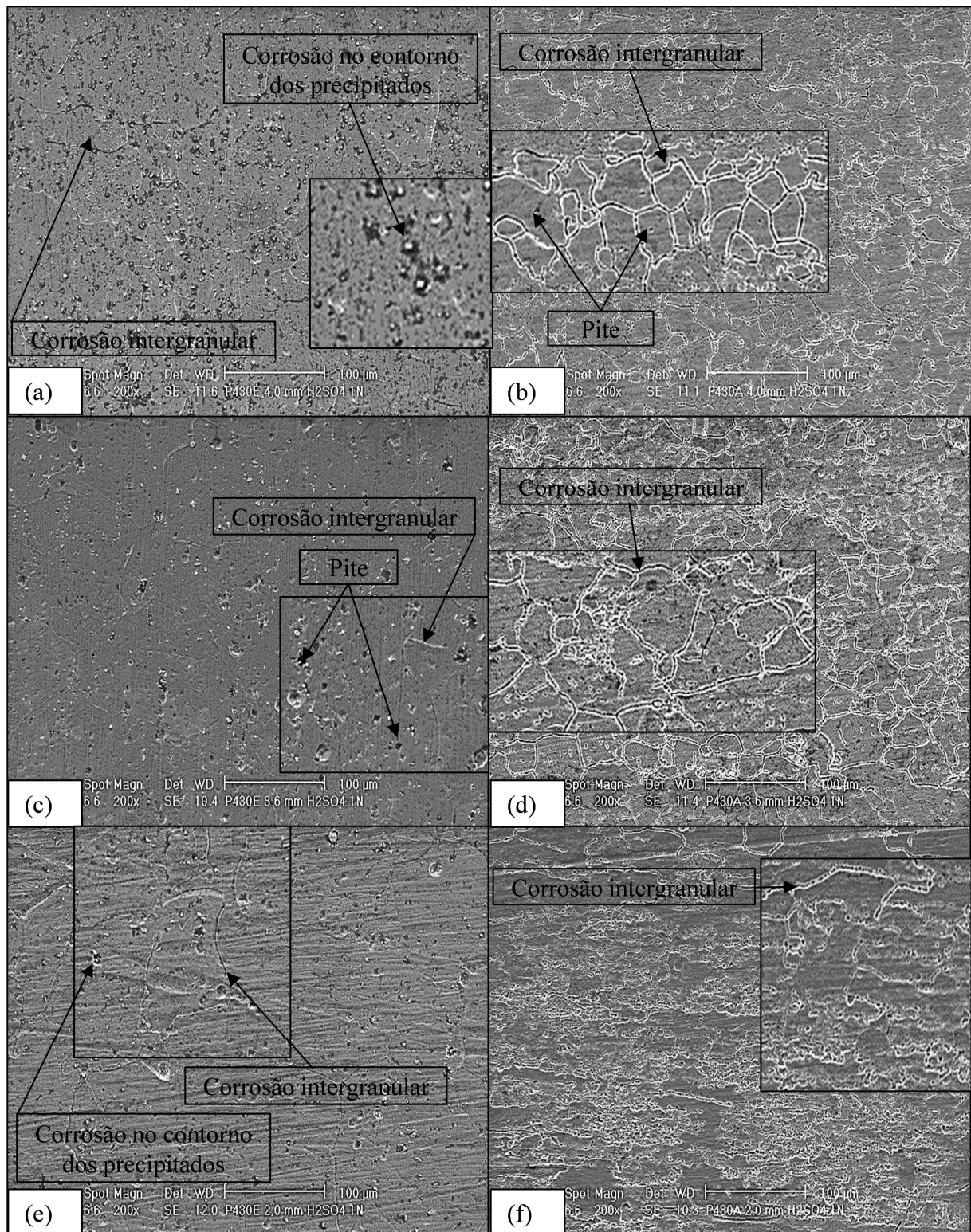


Figura 4.25. Micrografias MEV dos aços ensaiados ao longo da espessura em meio 1N H₂SO₄. (a) P430E 4 mm; (b) P430A 4 mm; (c) P430E 3,6 mm; (d) P430A 3,6 mm; (e) P430E 2 mm; (f) P430A 2 mm.

Tabela 4.4. Resumo dos fenômenos corrosivos, presentes nos aços P430A e P430E, ao longo da espessura em meio 1N H₂SO₄.

		430E	430A
4 mm	FCP	Corrosão nos contornos dos precipitados	Corrosão intergranular
	OF	Corrosão intergranular	Presença de alguns pites
3,6 mm	FCP	Não há clareza	Corrosão intergranular
	OF	Presença de pites e corrosão intergranular	Não foi observada
2 mm	FCP	Corrosão nos contornos dos precipitados	Corrosão intergranular
	OF	Corrosão intergranular	Regiões com corrosão generalizada

4.3.4. Ensaios de polarização potenciodinâmica anódica em ambiente aerado, comparação com ambiente desaerado

Realizaram-se ensaios de polarização em ambiente aerado em meio de 3,56% de NaCl, para a comparação dos resultados de potencial de pite executados em ambiente desaerado, apresentados na seção 4.3.2, com o objetivo de obter um padrão de comportamento do ambiente desaerado para futuros estudos de corrosão conjunta com outros fenômenos superficiais, por exemplo, estudos tribocorrosivos.

A Fig. 4.26 apresenta as curvas de polarização potenciodinâmica para os aços P304, P430A e P430E, em ambiente aerado, em comparação com ambientes desaerados. Observa-se uma ligeira influência do ambiente na resistência à corrosão por pite, já que é visível um aumento na diferença de potencial para os ambientes aerados. Isso coincide com o afirmado por Roberge (2000), que mostrou que a taxa de corrosão aumenta com a presença de oxigênio e diminui com o aumento do pH.

Esperando-se observar se o ambiente aerado influenciaria o comportamento à corrosão em função da textura, foram realizados ensaios ao longo da espessura para os aços P430A e P430E; o resultado típico das curvas de polarização comparativas às realizadas em ambiente desaerado é apresentado na Fig. 4.27.

O comportamento ao longo da espessura se manteve igual comparado com o comportamento apresentado na seção 4.3.4, ou seja, ambientes aerados mantêm o comportamento da resistência à corrosão, aumentando a taxa de corrosão para maior.

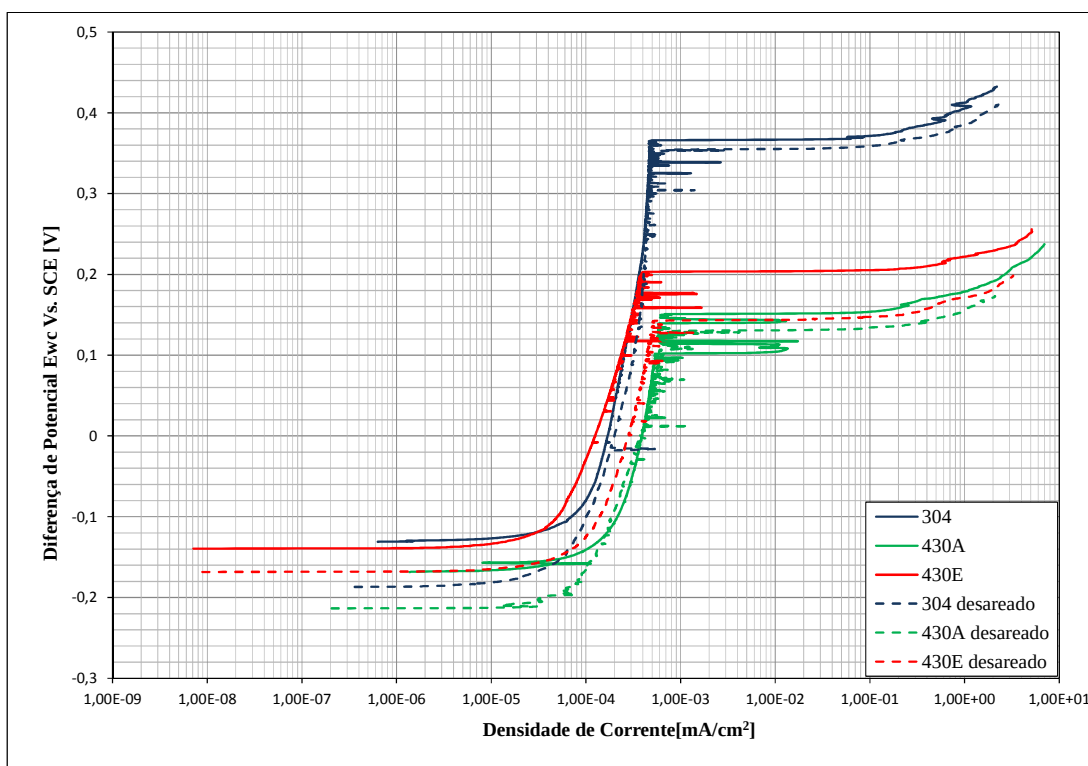


Figura 4.26. Curvas de polarização potenciodinâmica anódica dos aços 304, 430A e 430E em meio 3,56% NaCl, para ambientes aerados e desaerados.

O resumo das médias dos resultados de potencial de pite em ambientes aerados e desaerados são apresentados na Fig. 4.28. Observa-se um ligeiro aumento do potencial em ambientes aerados para todos os aços e posições, o que coincide com o apresentado por Pijanowski e Mahmud (1969), em que indicam que para o aço inoxidável a resistência de polarização aumenta com ambientes aerados, mas a variação apresentada pela mudança de ambiente (aerado e desaerado) não representa uma variação significativa do ponto de vista estatístico, e pode-se supor que o comportamento para potencial de pite, em ambiente aerado e desaerado, é similar, diferindo do apresentado por Pijanowski e Mahmud (1969), que apresentam uma variação significativa para aços inoxidáveis.

Finalizando, percebe-se que a variação do potencial de pite segue um comportamento similar para todos os aços (P304, P430A e P430E), diferindo simplesmente pelo tipo de aço. Isso pode ser explicado pela diferença na composição química de cada um deles. Este fato, certamente, influencia na formação da camada de passivação (PIJANOWSKI E MAHMUD, 1969).

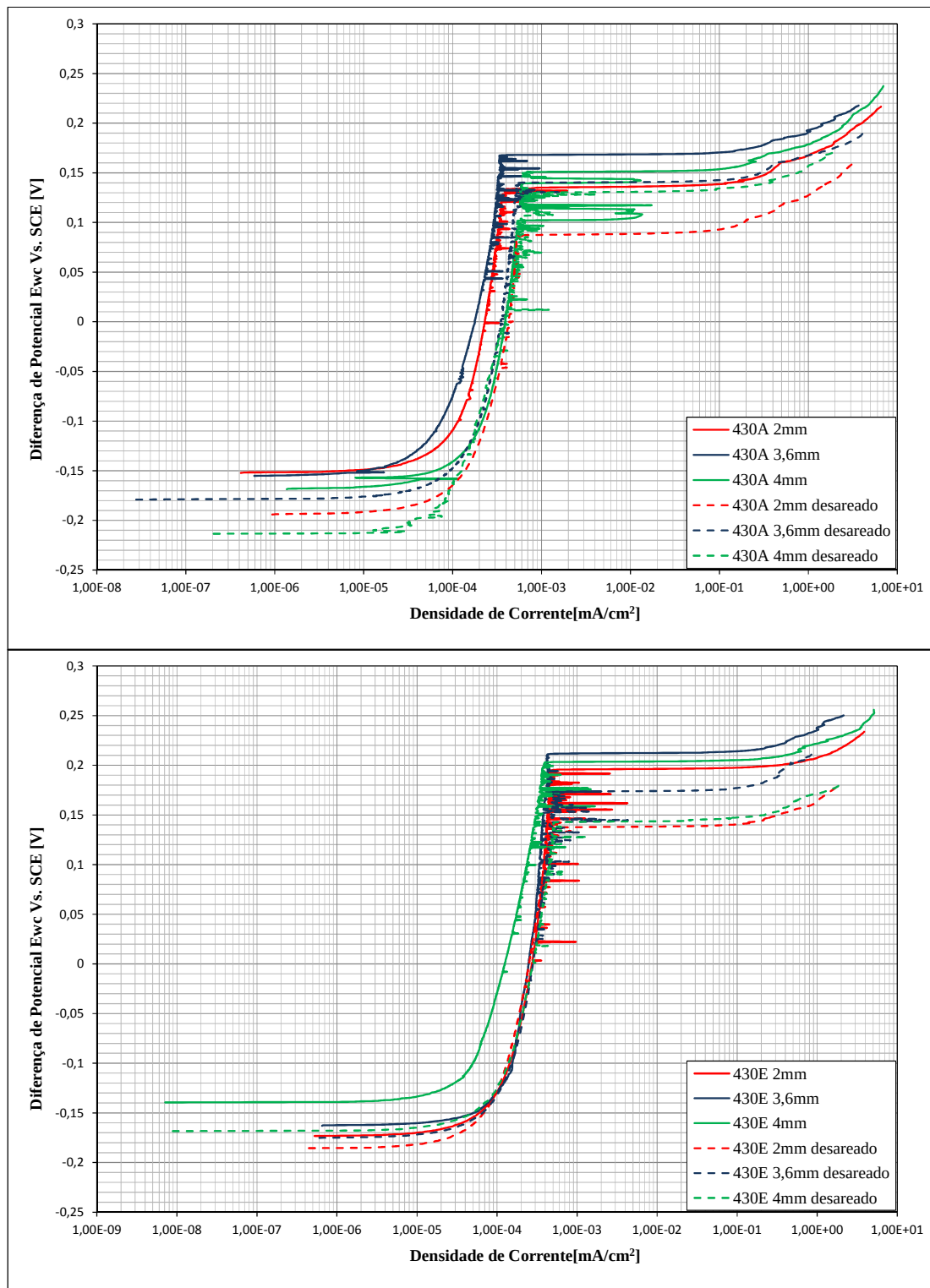


Figura 4.27. Curvas de polarização potenciodinâmica anódica em meio 3,56% NaCl, para ambientes aerados e desaerados ao longo da espessura. (a) P430A; (b) P430E.

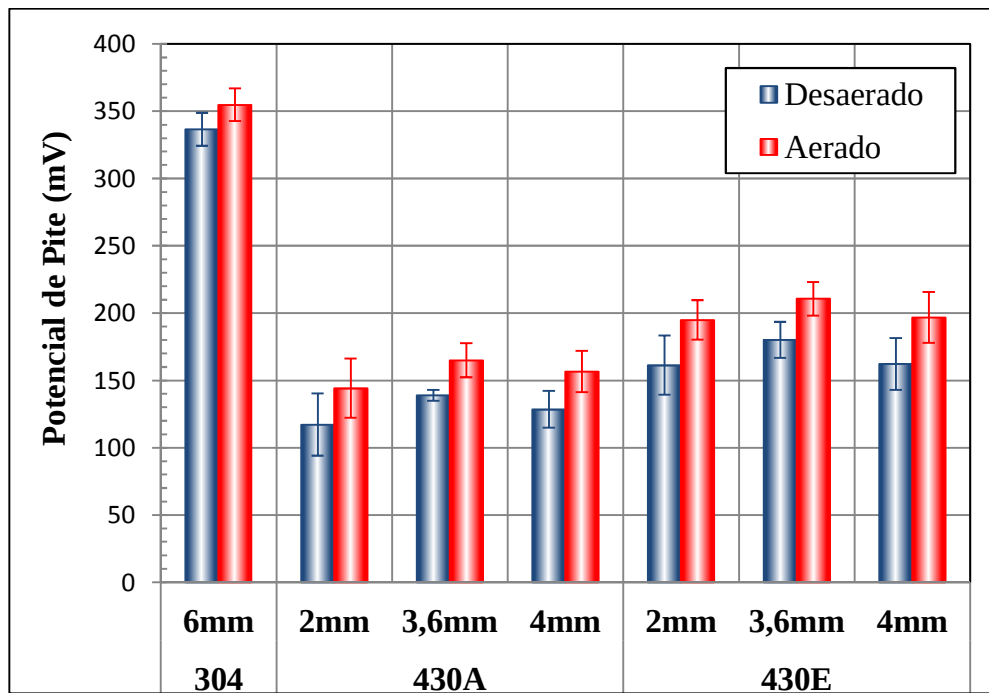


Figura 4.28. Potenciais de pite médios para ensaios em ambientes aerados e desaerados.

5. CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

- 1- Conforme dados de literatura, o aço inoxidável austenítico P304 possui maior resistência à corrosão nos meios estudados que os aços ferríticos. Isto se deve principalmente pelo maior teor de Cr, seguido pela presença de Ni na liga.
- 2- A resistência à corrosão no aço depende, principalmente, do conteúdo de Cromo na liga, dessa forma, os aços inoxidáveis ferríticos com 16% de Cromo (P430A e P430E) apresentam maior resistência à corrosão que os aços com 11% de Cromo (P409 e P410).
- 3- Os elementos estabilizadores melhoram a resistência à corrosão de forma geral, mas, especificamente, atuam de forma negativa na densidade de corrente mínima (i_{min}), talvez em função dos precipitados formados pelos agentes estabilizantes.
- 4- Os aços P409 e P410 possuem alta sensibilidade à corrosão por fresta, principalmente pelo baixo teor de Cr. Associado a isto, como foi utilizado a “*Flat Cell*”, isto tornou inviável a desaeração do meio antes da amostra entrar em contato com o eletrólito, o que pode iniciar previamente um processo corrosivo. Sob estes fatos, o estudo do potencial de pite, por meio de polarização potenciodinâmica em meio de NaCl, torna-se muito complicado.
- 5- O fenômeno de corrosão localizada (pite) aparenta ter um comportamento anisotrópico nos aços inoxidáveis ferríticos, e se evidenciou pela influência da textura cristalográfica, principalmente em relação ao potencial de pite. Esse comportamento anisotrópico mostrou que a presença da textura de cisalhamento de Goss (orientação $\langle 100 \rangle$) possui uma influência positiva na resistência à corrosão, e a fibra α $\{100\} \langle 110 \rangle$ influencia negativamente o potencial de pite. A Tabela 4.3 resume os resultados obtidos e exemplifica esta conclusão.

- 6- O potencial de pite ao longo da espessura mostrou uma tendencia influenciada na região de maior textura Goss (orientação $\langle 100 \rangle$), sendo pior no centro da espessura. Estes resultados seriam questionáveis se utilizado somente o aço P430A, sem estabilização. Isto porque alguma segregação de carbono ocorreria no centro da espessura, já que este aço não é estabilizado. Como utilizou-se também o aço P430E, estabilizado ao Nb, este efeito da segregação fica suprimido. É perceptivo então o aumento do potencial de pite pelo efeito da estabilização, mas também, nos dois aços, pode-se separar claramente o efeito da textura cristalográfica.
- 7- O nióbio diminui a presença de orientações preferenciais, portanto, a influência da textura na resistência à corrosão. No entanto, aumenta a resistência à corrosão nos aços inoxidáveis pela formação de carbonetos de nióbio.
- 8- Os elementos estabilizadores nos aços inoxidáveis ajudam na proteção da corrosão intergranular, por induzir contornos de grãos menos reativos. Isto fica particularmente evidente ao comparar os aços P430A e P430E, sendo este segundo mais imune ao efeito de corrosão intergranular, por ser estabilizado ao Nb.
- 9- O fenômeno de corrosão intergranular afeta de maior forma o comportamento geral à corrosão dos aços inoxidáveis ferríticos que outros fenômenos corrosivos. Assim, quanto mais fenômenos corrosivos afetem o aço inoxidáveis ferríticos, menor será sua resistência total a corrosão.

A Tabela 4.4 apresenta um resumo dos fenômenos corrosivos presentes ao longo da espessura para os aços P430A e P430E, observados no MEV.
- 10- O ambiente aerado nos ensaios de polarização potenciodinâmica anódica influi num pequeno aumento da resistência à polarização e do potencial de pite para os aços inoxidáveis. Isto se deve à viabilidade de formar a camada passiva mais rápida e com maior espessura, em função da presença de quantidade superior de oxigênio, variando em função da composição química de cada aço. Mas a variação apresentada pela mudança de ambiente (aerado e desaerado) não representa uma variação significativa do ponto de vista estatístico, e pode-se supor que o comportamento para potencial de pite em ambiente aerado e desaerado é similar.

6. CAPÍTULO VI

TRABALHOS FUTUROS

- 1- Para o fabricante do equipamento: melhorar o sistema de fixação das amostras no caso da *Flat Cell*, tomando como exemplo a análise feita da distribuição de pressão na amostra apresentada na secção 4.3.1.
- 2- Fazer uma análise de tamanho do pite (profundidade e diâmetro) para os aços estudados com o objetivo de ver a influência da textura e o ambiente aerado e desaerado no tamanho deles.
- 3- Estudar o comportamento do aço P409 na curva de polarização potenciodinâmica entre os potenciais de 700 e 800 mV, já que, observou-se neste trabalho, que o mesmo possui um comportamento atípico (ao que parece uma repassivação) em comparação com o comportamento dos outros aços inoxidáveis ferríticos.
- 4- Observar o comportamento no ambiente aerado para a polarização potenciodinâmica em meio de 1N H₂SO₄, com objetivo de encontrar outros padrões de comportamento comparativo, entre eles, e o ambiente desaerado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABDALLAH, M. Corrosion behavior of 304 stainless steel in sulphuric acid solutions and its inhibition by some substituted pyrazolones. **Materials Chemistry and Physics**. V. 82, p. 786-792, jul. 2003.

ABINOX. <http://www.abinox.org.br/aco-inox-estatisticas-anuais.php>. Visualizado março 2013.

AHMAD, Z. **Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control**. 1 ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006, 672p.

ARAÚJO, F. A. **Modelagem da Precipitação de MnS em Aços Elétricos de Grão Orientado**. 2010. 76p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM G3-89**, Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing, ASTM, 2010.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM G5-94**, Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements, ASTM, 2004.

ATLAS SPECIALTY METALS. **Technical Handbook of Stainless Steels**. Atlas Specialty Metals Technical Services Department, jul. 2003.

AZUMA, S. *et al.* Effect of Nickel Alloying on Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels. **Corrosion Science**. V. 46, p. 2265-2280, feb. 2004.

BIEFER, G. J. Effects of Alloying on Polarization and Corrosion of Type 430 Stainless Steel. **Canadian Metallurgical Quarterly**. V. 9, n. 4, p. 537-550, 1970.

BUNGE, H. J. Theoretical Methods of Texture Analysis. **Crystal Research and Technology**. Oberursel, v. 23, n. 12, p. 1448, dec. 1988.

BUNGE, H. J. **Mathematical Methods of Texture Analysis**. Berlin: Akademie Verlag, 1969.

CHIN, G. Y. Electrochemical Methods of Corrosion Testing. **Metals Handbook**, v. 13: Corrosion, 9 ed., American Society for Metals, 1985.

CHOUTHAI, S. S.; ELAYAPERUMAL, K. Texture Dependence of Corrosion of Mild Steel after Cold Rolling. **Corrosion Journal**. Br, vol 11, n. 1, p. 40-43, jan. 1976.

Da SILVA M., L. **Estudo da Corrosão Localizada dos Aços Inoxidáveis em Sistemas de Resfriamento Industrial**. 2011. 61p. Projeto de Graduação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

De CASTRO, H. **Simulação em Laminador Piloto da Influência da Lubrificação Durante o Processo de Deformação a Quente na Microestrutura e Textura do Aço Inoxidável Ferrítico AISI 430**. 2008. 114p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Del VALLE; PÉREZ; MADRID. **El Fenómeno de la Corrosión em Estructuras de Concreto Reforzado**. Instituto Mexicano del Transporte. Queretano, Publicación Tecnica n. 182, 2001.

ENGLER, O.; RANDLE, V. **Introduction to Texture Analysis - Macrotecture, Microtexture, and Orientation Mapping**. 2 ed. Boca Raton, Florida: CRR Press LLC, 2010, 456p.

FONTANA, M. G. **Corrosion Engineering**. 3 ed. Singapore: McGraw-Hill Book Co, 1987. 556p.

GENTIL, V. **Corrosão**. 2 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1996, 345p.

GODEC, M.; JENKO, M. Presentation Methods of Textures Measurements. **Materiali in Tehnologije**. Ljubljana, Slovenia, v. 34, p. 359-360, 2000.

LANDOLT, D.; STEMP, M.; MISCHLER, S. Electrochemical methods in tribocorrosion – a critical appraisal. **Electrochim. Acta**. V. 46, p 3913-3929, 2001.

LEFFLER, B. **Stainless Steels and Their Properties**. Stockholm, Avesta Sheffield AB Research Foundation, 1996, 30p..

LLEWELLYN, D.T.; HUDD, R.C. **Steels: Metallurgy and Applications**. 3 ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1992, 389p.

LOMBARDI, C. COSTA M. **Estudo da Influência da Fase Ferrítica Sobre o Comportamento de Corrosão de Aços Inoxidáveis Austeníticos**. 1993, 129 p. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Aautarquia Associada a Universidade de São Paulo, São Paulo.

MESA, D. H. Principios y Aplicaciones de la Técnica de Difracción de Electrones Retro-proyectados (EBSD, Electron Back-Scattering Diffraction). **Informador Técnico**. Colombia, v.74, p. 64-74, dez. 2010.

PADILHA, A. F.; SICILIANO Jr., F. **Encruamento, Recristalização, Crescimento de Grão e Textura**. 3 ed. São Paulo: ABM, 2005, 232p.

PICKERING, H. W. Characteristic Features of Alloy Polarization Curves. **Corrosion Science**. Great Britain, v. 23, n. 10, p. 1107-1120, 1983.

PIJANOWSKI, B. S.; MAHMUD, I. **A Study of the Effects of Temperature and Oxygen Content on the Corrosion of Several Metals**. Washington D. C., 1969. 51p. Report to Institute of Ocean Science & Engineering, The Catholic University of America.

PINTO, A. L.; LOPES, A. M. **A Utilização da Técnica de EBSD em Estudos de Microtextura e Mesotextura**. Instituto Militar de Engenharia, 2001.

RAABE, D.; LÜCKE, K. Influence of Particles on Recrystallization Textures of Ferritic Stainless Steels. **Steel Research**. Great Britain, v. 63, n. 10, p. 457-464, abr. 1992.

RAABE, D.; LÜCKE, K. Textures of Ferritic Stainless Steels. **Material Science and Technology**. Great Britain, v. 10, p. 302-312, abr. 1993.

REVIE, R. W.; UHLIG, H. H. **Corrosion and Corrosion Control - An Introduction to Corrosion Science and Engineering**. 4 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 1998. 490p.

ROBERGE, P. R. **Handbook of Corrosion Engineering**. 1ed. New York: McGraw-Hill Book Co, 2000. 1128p.

SANTANDRÉA, R. **Análise da Corrosão em Aços Inoxidáveis Ferríticos Estabilizados e com Teores Variáveis de Molibdênio**. 1999. 183p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SEDRIKS, A.J. **Corrosion of stainless steels**. 1 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 1980.

SEO, M. *et al.* The Influence of Minor Alloying Elements (Nb, Ti and Cu) on the Corrosion Resistivity of Ferritic Stainless Steel in Sulfuric Acid Solution. **Corrosion Science**. Great Britain, v. 26, n. 11, p. 949-960, 1986.

SHAHRYARI, A; SZPUNAR, J. A.; OMANOVIC, S. The Influence of Crystallographic Orientation Distribution on 316LVM Stainless Steel Pitting Behavior. **Corrosion Science**. V. 51, p. 677-682, dec. 2009

STACK, M. M.; LEKATOS, S.; STOTT, F. H. Erosion-corrosion regimes: number, nomenclature and justification?. **Tribology International**. V. 28, n. 7, p. 445-451, 1995.

STOJAKOVIC, D. Electron backscatter diffraction in materials characterization. **Processing and Application of Ceramics**, v. 6, n. 1, p. 1-13, feb. 2012.

TALBOT, D.; TALBOT, J. **Corrosion Science and Technology**. 1 ed. Boca Raton, Florida: CRR Press LLC, 1998, 374p.

TAYLOR, D. W; SCULLY, J. R. Electrochemical Methods of Corrosion Testing. **Metals Handbook**, v. 13: Corrosion, 9 ed., American Society for Metals, 1987.

UHLIG, H. H. **Uhlig's Corrosion Handbook**. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2000, 1391p.

VIANA, C. S.; PAULA, A. dos S. **Textura de Deformação**. Instituto Militar de Engenharia, p. 23-37, 2001.

WOLYNEC. S. **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão**. São Paulo: Editorial Universidade de São Paulo, 2003.

ZANDI Z., R.; VERBEKEN, K.; ADRIAENS, A. Corrosion Resistance Performance of Cerium Doped Silica Sol-gel Coatings on 304L Stainless Steel. **Progress in Organic Coatings**. V. 75, p. 463-473, jul. 2012.