



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

Avaliação da susceptibilidade à corrosão de um aço inoxidável AISI 316L submetido à simulação térmica com o uso da Gleeble.

Carmem Nascimento, carmemfn@ifma.edu.br¹

Waldemir Martins, waldemir@ifma.edu.br¹

Eden Silva, edenshenco@yahoo.com.br¹

Thiago Santos, thiago.aguiar.santos@hotmail.com¹

Renato Santos, renato-c.s@hotmail.com¹

Iuri Cavalcante, iuriqc@hotmail.com¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Av. Getúlio Vargas, nº 04 – Monte Castelo – São Luís – MA – CEP 65030-005.

Resumo: O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do tamanho de grão na susceptibilidade à corrosão do aço inoxidável austenítico AISI 316L. Para tanto amostras foram simuladas termicamente em uma Gleeble 3800 nas temperaturas de 900°C e 1200°C sob o tempo de permanência de 0, 5, 20 e 100 segundos, sendo em seguida submetidas à corrosão por técnicas eletroquímicas de polarização linear, usando uma solução de 3,5% de cloreto de sódio (NaCl). Os resultados mostraram que houve uma maior susceptibilidade à corrosão para as amostras submetidas a ciclos térmicos mais longos, onde foi observado um aumento no tamanho médio dos grãos para um menor potencial e maior corrente de corrosão. Das condições estudadas, as amostras submetidas aos ciclos térmicos na temperatura de 1200°C foi a que obteve maior potencial e menor corrente de corrosão, sendo a condição menos susceptível à corrosão.

Palavras-chave: Aço inoxidável austenítico AISI 316L, Corrosão, Polarização Linear, Microestrutura

1. INTRODUÇÃO

O aço inoxidável austenítico é uma liga composta principalmente por cromo e níquel, elementos que tornam este tipo material resistente à corrosão devido à formação de uma fina camada composta por óxido de cromo (Cr_2O_3) (LLEWELLYN, 1994). Quanto maior for a adição de cromo mais estável é a película passiva, contudo o excesso deste elemento pode afetar as propriedades mecânicas e de soldagem, sendo necessária a adição de elementos de liga para melhorar a resistência à corrosão.

Em escala industrial, o aço inoxidável austenítico é bastante utilizado em superfícies expostas à atmosfera, imersão em água doce e salgada, além de ser utilizada em equipamentos de processo, porém, suas limitações se restringem a meios que levam a quebra da película passiva (NUNES, 2007).

Segundo Wolynech (2002), os fenômenos de corrosão de metais podem ser divididos em quatro grupos de mecanismos como observado no Fig. 1: Meios aquosos, meios orgânicos, oxidação, corrosão a quente e metais líquidos. É possível perceber que a corrosão em meios aquosos ocorre com maior frequência, onde o processo eletroquímico é característico para tal mecanismo.

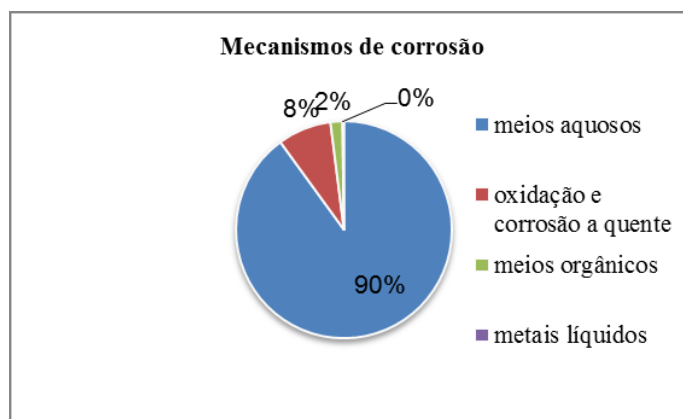


Figura 1. Mecanismos de corrosão. (Wolyniec S., 2013 - adaptado)

De acordo com Nunes (2007), a ação eletroquímica ocorre com mais frequência na natureza associando uma célula de corrosão à formação de potenciais em uma solução diluída com transferência de íons do material para a solução. Dessa forma, na maioria das reações ocorrem na superfície metálica, através da indução de passagem da corrente elétrica. De acordo com Berton (2014) os principais tipos de corrosão que podem ocorrer nos aços inoxidáveis: corrosão por pite, por frestas, intergranular, sob tensão e por hidrogênio.

Os aços inoxidáveis austeníticos quando submetidos a temperaturas variando de 450°C a 850°C por um determinado tempo, ocorre precipitação de carbonetos de cromo (Cr_{23}C_6) em seus contornos de grão, o que os torna sensibilizados, comprometendo sua resistência à corrosão (DIAS et al, 2002).

Silva et al. (2005) constatou que realizando tratamento térmico no aço inoxidável austenítico AISI 316L imersos em petróleo cru aquecido a 200°C e 300°C, houve uma diferença na taxa de corrosão nos dois casos. Foi verificado que a degradação do material se deu de forma mais acentuada para o tratamento a 300°C.

Kianersi et al. (2014) observou que utilizando o processo de soldagem por ponto (RSW) no aço inoxidável austenítico AISI 316L, houve uma variação na dureza no cordão de solda com duas correntes de soldagem distintas, 4 kA e 8kA, sendo que a dureza maior foi encontrada nas regiões soldadas sob baixa entrada de calor, no caso, a corrente de 4kA. Além disto, observou-se que este aumento poderia estar relacionado ao crescimento de grão que ocorreu devido ao processo de soldagem.

Pesquisas realizadas por Li et al. (2013) com o aço AISI 316L mostraram que o acréscimo no tamanho médio de grão deixa o material mais resistente à corrosão intergranular e que nas microestruturas foram encontrados poucos carbonetos de cromo nos contornos dos grãos maiores.

Williams e Barbaro (2005) também observaram que a corrosão intergranular e localizada (pite) de um aço inoxidável não estabilizado contendo 12 % de cromo foi influenciada pelo percentual, morfologia e distribuição de microconstituintes, além do tamanho dos grãos, onde para um menor tamanho de grão, a corrosão era mais severa.

Conforme Chaturverdi, observou que o aumento do tamanho de grão, conseqüentemente após aplicação térmica elevada, ocasionou uma superfícies menor do contorno de grão resultando na separação dos precipitados, carboneto de cromo ao longo destes contornos de grão, resultando numa zona enfraquecida.

Poucos são os trabalhos que associam tamanho médio dos grãos obtidos por ciclos térmicos distintos ao processo de corrosão do aço inoxidável austenítico do tipo AISI 316L. Desta forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência do tamanho médio dos grãos em duas temperaturas distintas 900°C e 1200°C com tempo de permanência de 0, 5, 20 e 100s na susceptibilidade à corrosão do aço inoxidável austenítico AISI 316L.

2. MATERIAIS

O aço inoxidável utilizado no estudo é o AISI 316L. Sua composição química nominal está mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição Química do Aço Inoxidável 316L (% em peso). Fonte: Alphasteel

AISI	C	Mn	SI	P	S	Cr	Ni	Mo	Co	Cu
316L	0,023	1,53	0,42	0,039	0,025	16,54	10,02	2,05	0,150	0,6

3. MÉTODOS

3.1. Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova utilizados no simulador termodinâmico Gleeble 3800 possuem 84 mm de comprimento por 10 mm de diâmetro. A região central das amostras foi reduzida a 5 mm de diâmetro por 5 mm de comprimento para os ensaios térmicos (Fig. 2).



Figura 2. Corpo de prova do aço inoxidável AISI 316L submetido ao simulador térmico.

3.2. Simulação Térmica

Durante a simulação térmica, os corpos de prova foram aquecidos a 900 e 1200°C a uma taxa de 500°C/s, permanecendo nestas temperaturas por 0, 5, 20 e 100s, sendo em seguida resfriados ao ar. O procedimento foi realizado em câmara à vácuo para evitar a oxidação. Foram realizados 5 ensaios para cada condição com o objetivo de ter repetitividade no tamanho médio dos grãos para o estudo de corrosão.

3.3. Análises da microestrutura

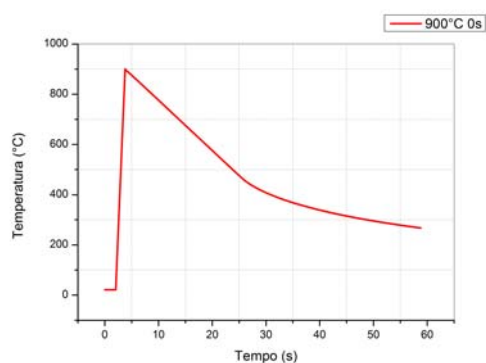
Para avaliar o tamanho médio dos grãos da região simulada, cinco amostras de cada condição com 5 mm de diâmetro foram retiradas da parte central dos corpos de prova, sendo em seguida embutidas em resina polimérica, para então serem lixadas com lixas de granulometria variando de #180 a #1200, para então serem polidas. Após este procedimento, as amostras foram atacadas eletroliticamente com uma solução de ácido nítrico (HNO₃), segundo a norma ASTM A262-15, à 40% (0,3 Amperes por 8 segundos). Após o ataque foram feitas microscopia óptica analisou-se o tamanho médio dos grãos com auxílio do programa Quantikov, versão 11.7/2015, desenvolvido com ferramentas baseado na norma ASTM E112-13 tendo como parâmetros os interceptos linear.

3.4. Ensaio Eletroquímico

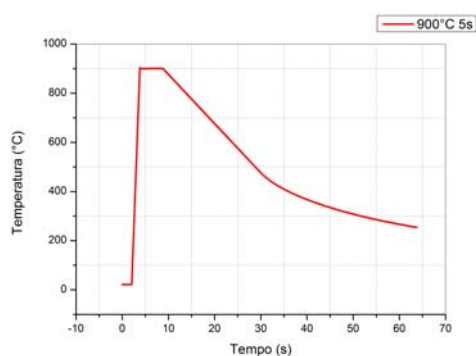
A fim de analisar a susceptibilidade à corrosão das amostras, ensaios de polarização linear foram realizadas numa célula eletroquímica equipado com um sistema de três eletrodos: (eletrodo de referência: ECS Calomelano), eletrodo de trabalho e o contra-eletrodo de platina conectados a um potenciostato modelo - PGSTAT 302N - AutoLab, usando uma solução aquosa contendo 100 mL de NaCl a 3,5%. Foi estabelecido parâmetros como a taxa de varredura a 1 mV/s e o potencial entre -1,2 até 0,6 Volts. Após 45 minutos com amostra imersa, dados como potencial em circuito aberto (OCP), potencial de corrosão (Epotencial) e o potencial de pite (Epíte) foram medidos.

4. RESULTADOS

Os resultados da simulação termicamente estão mostrados nas Figuras 2 (a-d) e 3 (a-d), onde as amostras foram submetidas as temperaturas de 900°C e 1200 °C por 0, 5, 20 e 100 s usando uma taxa de resfriamento a 20°C/s.



(a)



(b)

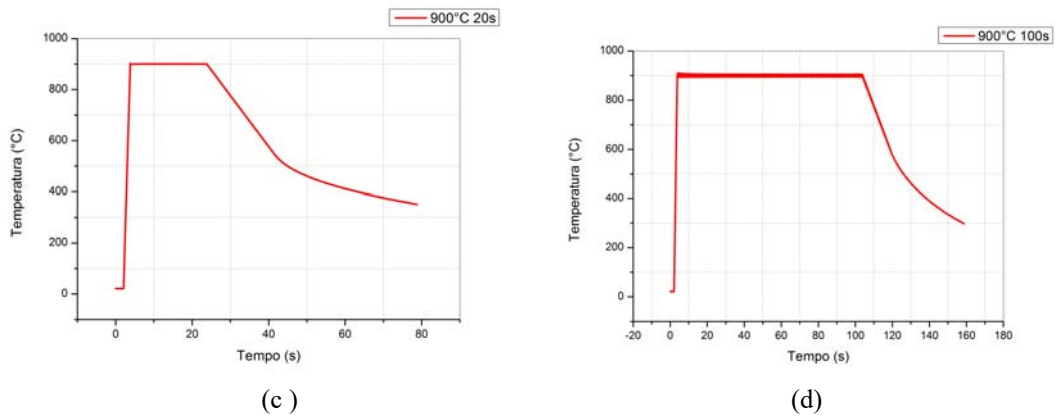


Figura 2 – (a) Ciclo térmico à 900°C pelo tempo de 0 segundos; (b) Ciclo térmico à 900°C pelo tempo de 5 segundos; (c) Ciclo térmico à 900°C pelo tempo de 20 segundos; (d) Ciclo térmico à 900°C pelo tempo de 100 segundos.

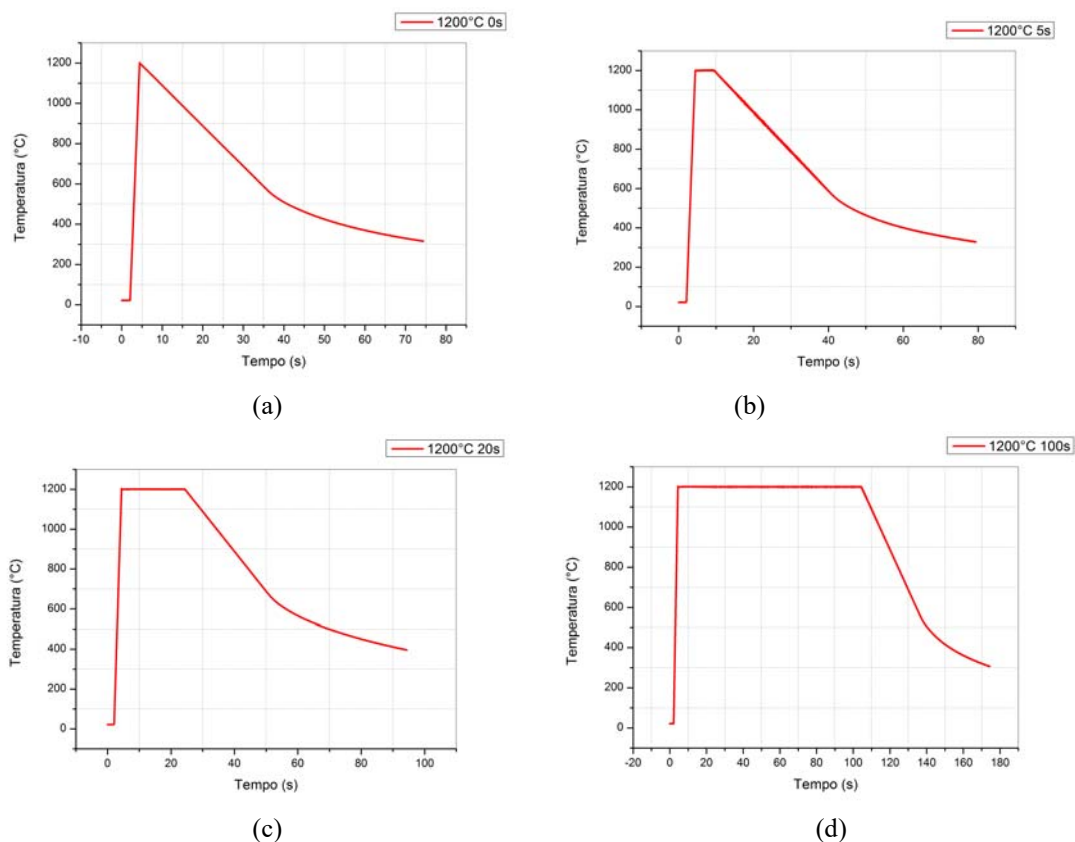


Figura 3 – (a) Ciclo térmico à 1200°C pelo tempo de 0 segundos; (b) Ciclo térmico à 1200°C pelo tempo de 5 segundos; (c) Ciclo térmico à 1200°C pelo tempo de 20 segundos; (d) Ciclo térmico à 1200°C pelo tempo de 100 segundos.

A partir dos resultados de simulação dos corpos de prova do aço inoxidável AISI 316L, foram realizadas micrografias das amostras para determinar o tamanho médio dos grãos mostradas na Figura 5(a-h). Através das microscopias ópticas foi possível usar um analisador de imagem para medir o tamanho médio dos grãos. Através da Tabela 2 observa-se que o maior e o menor tamanho médio dos grãos foi obtido nas condições de 1200 °C com tempo de permanência de 100 s e 900°C com 0 segundos, respectivamente. Em temperaturas mais altas ocorreu uma maior homogeneização da microestrutura, seguida de elevado crescimento de grão para tempos maiores.

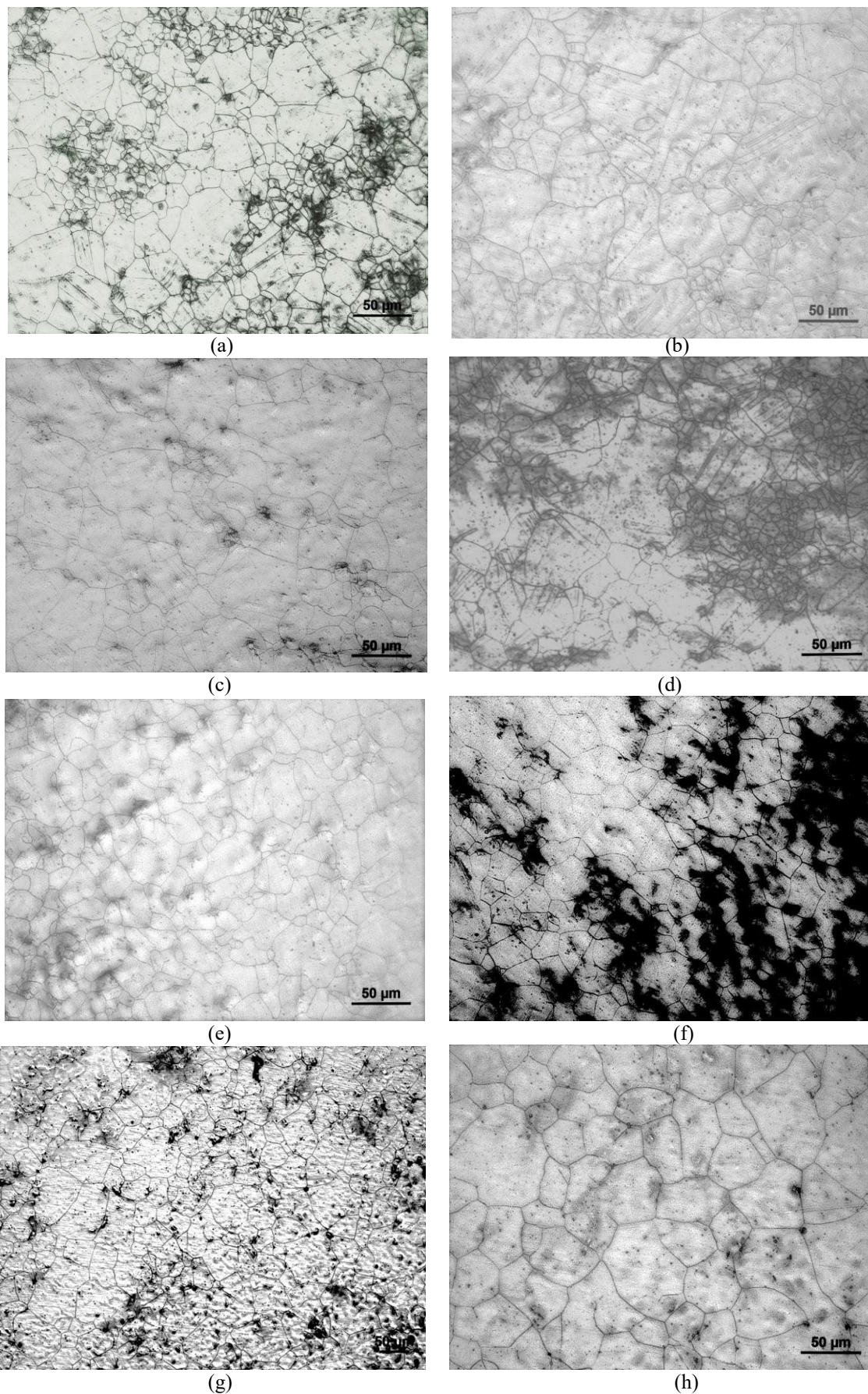


Figura 5 – Simulação a 900°C: (a) no tempo de 0 segundos; (b) no tempo de 5 segundos; (c) no tempo de 20 segundos; (d) no tempo de 100 segundos. Simulação a 1200°C: (e) no tempo de 0 segundos; (f) no tempo de 5 segundos; (g) no tempo de 20 segundos; (h) no tempo de 100 segundos.

Tabela 2 – Tamanho médio dos grãos para cada condição térmica estudada usando o programa Quantikov.

Amostras	Tamanho de Grão Médio (μm)
Amostra sem nenhum tratamento térmico	1,369
900°C /0 s	1,417
900°C /5 s	2,424
900°C /20 s	2,887
900°C /100 s	9,689
1200°C /0 s	2,144
1200°C /5 s	2,369
1200°C /20 s	3,391
1200°C /100 s	11,11

O aumento do tamanho médio dos grãos influenciou a susceptibilidade à corrosão das amostras simuladas. Na Figura 4 observa-se que houve pouca variação do potencial e corrente de corrosão das amostras submetidas a 900 °C, evidenciando que o aumento no tamanho dos grãos teve pouca influência sob a susceptibilidade à corrosão dessas amostras. Caso semelhante é observado na Figura 5, porém é verificado um pequeno aumento do potencial de corrosão para as amostras submetidas à temperatura de 1200 °C com tempo de permanência de 0 segundos.

Ainda fazendo um comparativo entre as condições estudadas através da Tabela 3 e Figuras 4 e 5 observa-se que os potenciais e a densidade da corrente de corrosão mudaram entre as condições estudadas, sendo que o maior potencial (-0,68181V) foi obtido para a amostra simulada a 1200 °C no tempo de permanência de 0 segundos para um tamanho médio de grão de (2,144 μm), tornando-o menos suscetível à corrosão, porém com tamanho de grão maior (1200°C /100s) acontece o oposto. Quanto ao potencial de Pite podemos notar claramente que as condições 1200°C /20s e 1200°C /100s tiveram o potencial menos nobre em relação a todas as condições simuladas, com uma densidade de corrente maior para amostra simulada a 1200°C /20s.

Tabela 3 – Valores do potencial e corrente de corrosão e de pite em relação ao tamanho de grão das amostras simuladas.

Amostra	Potencial de Corrosão (V)	Densidade de Corrente de Corrosão ($\log(i)$) (A/cm ²)	Tamanho Médio de Grão (μm)	Potencial de Pite (V)	Densidade de Corrente do pite ($\log(i)$) (A/cm ²)
Amostra Neutra	-0,29254	3,82491E-8	1,369	0,05436	2,47838E-6
900°C/ 0 s	-0,91459	1,10256E-6	1,417	0,06821	6,54148E-6
900°C/5 s	-0,87985	3,15262E-7	2,424	0,05787	3,09745E-6
900°C/20 s	-0,84279	1,97226E-7	2,887	-0,0445	2,08155E-6
900°C/100 s	-0,92413	1,24626E-7	9,689	-0,03049	2,06939E-6
1200°C/0 s	-0,68181	5,2614E-7	2,144	0,00434	3,53445E-6
1200°C/5 s	-0,71308	1,4082E-7	2,369	0,03213	2,77045E-6
1200°C/20 s	-0,85379	5,5648E-7	3,391	-0,11652	9,07166E-5
1200°C/100 s	-0,83977	5,7468E-7	11,11	-0,1801	3,38723E-6

As amostras que foram atacadas eletroquimicamente por polarização linear em cloreto de sódio a 3,5% apresentaram corrosão por pite como mostrado na Figura 6. Observa-se uma pequena diferença no tamanho e quantidade dos pites das condições em estudo o que leva a crer que esta variação no tamanho e distribuição dos pites esteja mais relacionado a distribuição, quantidade e/ou tamanho médio dos microconstituintes anódicos em relação a matriz catódica do que propriamente o tamanho dos grãos da austenita.

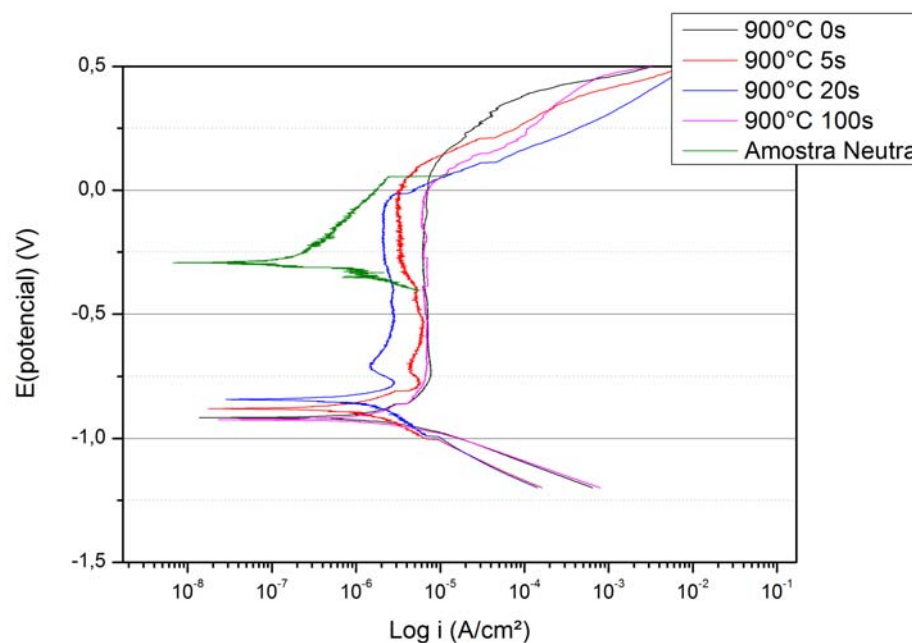


Figura 4. Curvas de polarização potenciodinâmicas das amostras submetidas à temperatura de 900°C em relação a condição neutra para o aço AISI 316L.

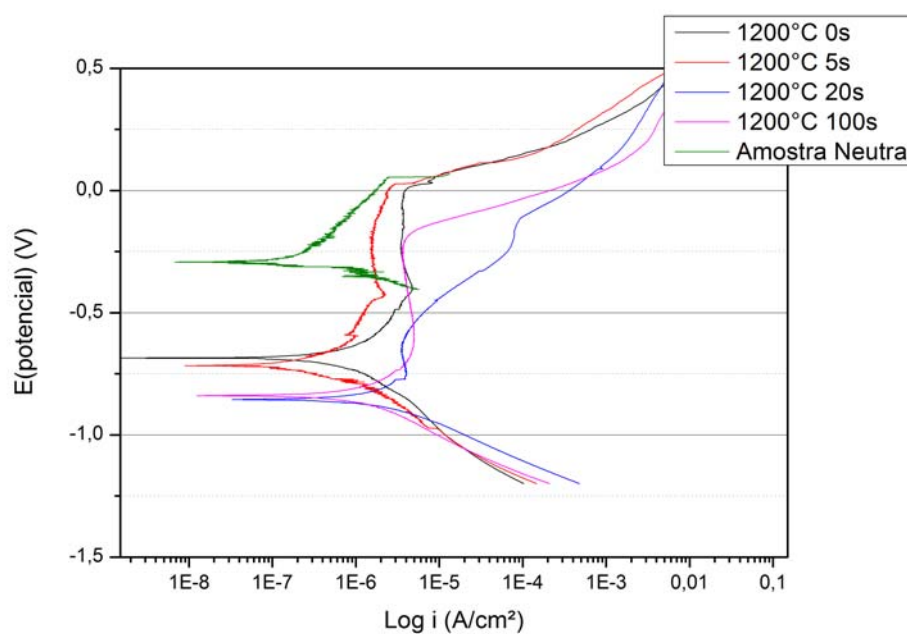


Figura 5. Curvas de polarização potenciodinâmicas das amostras submetidas à temperatura de 1200°C em relação a condição neutra para o aço AISI 316L.

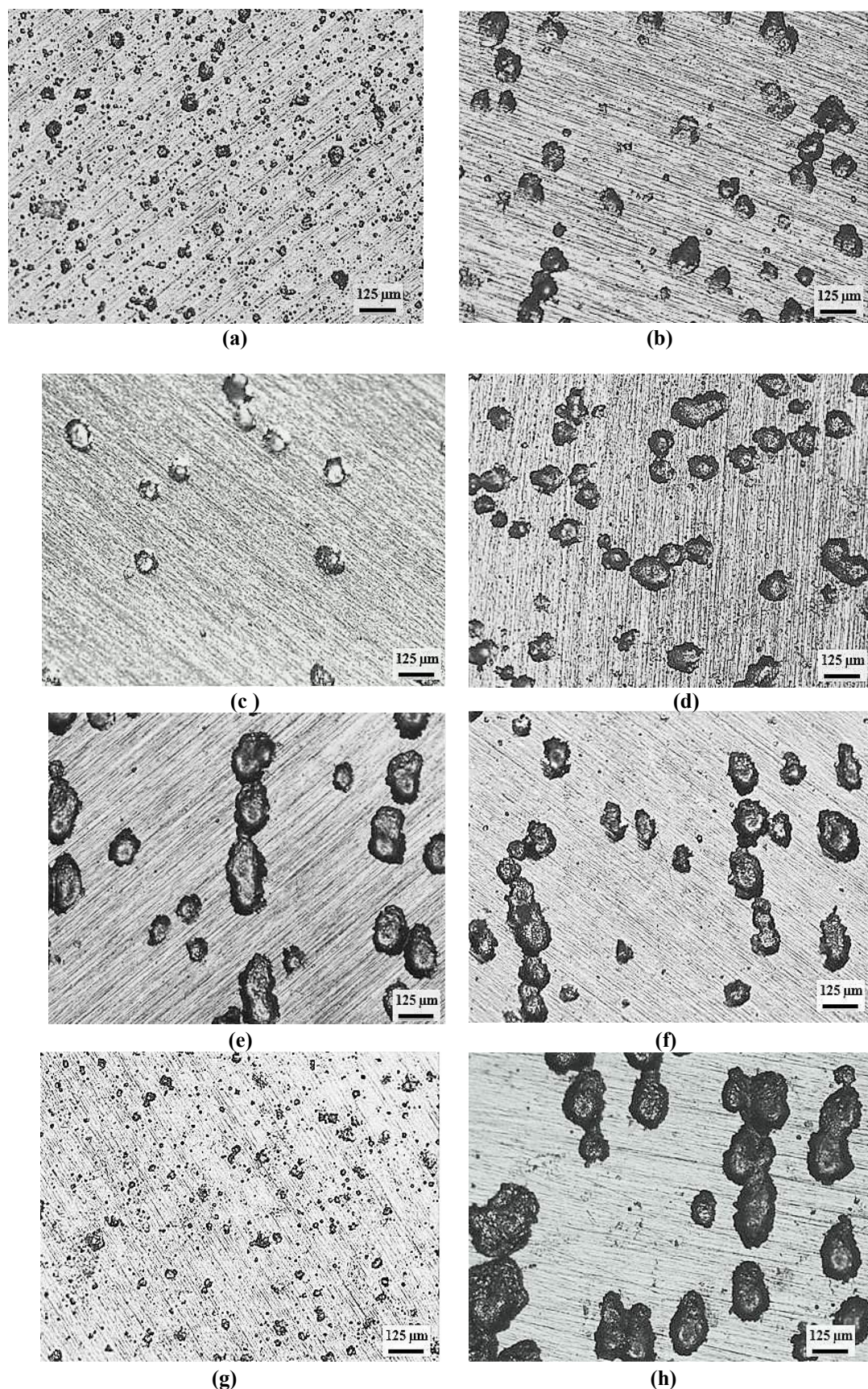


Figura 6 – Microscopia óptica das amostras após corrosão eletroquímica nas seguintes condições: Simulação a 900°C: (a) no tempo de 0 segundos; (b) no tempo de 5 segundos; (c) no tempo de 20 segundos; (d) no tempo de 100 segundos. Simulação a 1200°C: (e) no tempo de 0 segundos; (f) no tempo de 5 segundos; (g) no tempo de 20 segundos; (h) no tempo de 100 segundos.

5. CONCLUSÃO

De acordo com os objetivos deste trabalho, chegou-se as seguintes conclusões:

- A simulação térmica do aço 316L submetido a condições diferentes de temperatura mostrou-se sensível a variação no tamanho médio dos grãos, influenciando diretamente na susceptibilidade à corrosão;
- As condições em que as amostras foram aquecidas a 900°C foram as que obtiveram o menor tamanho de grão, sendo a condição com melhor resistência à corrosão por pite;
- A condição em que as amostras foram aquecidas a 1200°C foi a que obteve o maior tamanho de grão (condição 1200°C 100s), menor potencial de pite, sendo a mais susceptível à corrosão por pite.
- A variável tempo de exposição das amostras nas temperaturas de 900°C e 1200°C mostrou ser significativa para o aumento médio dos grãos e comparando, podemos notar menor potencial para condições com o tempo de permanência prolongado devido a formação de carbonetos de cromo, enfraquecendo o contorno de grãos como demonstrado por Kwietniewski.
- A corrosão por pite foi a que se desenvolveu nas amostras submetidas ao cloreto de sódio (NaCl) na concentração de 3,5%.

6. AGRADECIMENTOS

Ao PIBITI/IFMA pelo financiamento da pesquisa.

A professora pela orientação e apoio durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao CNPEM e à equipe do LNNano pela disponibilidade do equipamento Gleeble 3800 e pela assistência.

7. REFERÊNCIAS

- Berton E. M., 2014, “Efeito das temperaturas de têmpera e de revenido na resistência à corrosão da camada martensítica de alto nitrogênio produzida por SHTPN sobre o aço AISI 409”, Dissertação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.
- Dias J. C. N., Oliveira R. C. B. de, Correia A. N., Abreu H. F. G. de, Sobral A. V. C., 2002, “Estudo da ocorrência da corrosão em aços inoxidáveis AISI 316L e 444 utilizados na indústria petroquímica”, 22º CONBRASCORR – Congresso Brasileiro de Corrosão, Salvador, Brasil.
- Kianersi D., Mostafaei A., Amadeh A. A., 2014, “Resistance spot welding joints of AISI 316L austenitic stainless steel sheets: Phase transformations, mechanical properties and microstructure characterizations”, Materials and Design Vol. 61, pp 251–263.
- Li S. X., He Y. N., Yu S. R., Zhang P. Y., 2013, “Evaluation of the effect of grain size on chromium carbide precipitation and intergranular corrosion of 316L stainless steel”, Corrosion Science, Vol. 66, pp. 211-216.
- Kwietniewski, C. E. F. “Avaliação de alteração microestrutural em um aço AISI 316 que opero em elevada temperatura”, Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- Llewellyn, D. T. Steels: Metallurgy & Applications, Editora Butterworth-Heinemann, 2ª edição, 1994.
- Nunes, L. P., 2007, “Fundamentos de resistência à corrosão”, Ed. Interciência, Rio de Janeiro, Brasil, 330 p.
- Silva C. C., Júnior J. M. de B. R., Machado J. P. S. E., Sant’Ana H. B. de., Farias J. P., 2005, “Estudo da corrosão na ZAC do aço inoxidável austenítico AISI 316L causada por petróleo pesado da bacia de campos”, 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador, Brasil.
- Wolyne, S., 2013, “Técnicas Eletroquímicas em Corrosão”, Ed. EDUSP - Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 166 p.

SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT TO CORROSION OF A STAINLESS STEEL AISI 316L SUBMITTED TO THERMAL SIMULATION WITH THE USE OF GLEEBLE

Carmem Nascimento, carmemfn@ifma.edu.br¹

Waldemir dos Passos Martins, waldemir@ifma.edu.br¹

Eden Silva, edenshenco@yahoo.com.br¹

Thiago Santos, thiago.aguiar.santos@hotmail.com¹

Renato Conde, renato-c.s@hotmail.com¹

Iuri Cavalcante, iuriqc@hotmail.com¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão. Av. Getúlio Vargas, nº04 – Monte Castelo – São Luís – MA – CEP 65030-005

Abstract. *The purpose of this research is to evaluate the influence of grain size on the susceptibility to corrosion of austenitic stainless steel AISI 316L. To study the influence samples of AISI 316L were thermal simulated on a Gleeble 3800 at temperatures of 900 ° C and 1200 ° C during the simulation times of 0, 5, 20 and 100 seconds, and then submitted to corrosion by electrochemical techniques of linear polarization using a solution of 3.5% sodium chloride (NaCl). The results showed that for samples simulated in longer thermal cycles there was an increased susceptibility to corrosion, was also observed the samples had an increase in grain size, lower potential and higher corrosion current. In addition, the samples subjected to thermal cycles in the temperature of 1200 ° C had the lowest potential and current corrosion and they are less susceptible to corrosion conditions.*

Keywords: *Austenitic Stainless Steel 316L, Thermal Cycle, Corrosion.*