

# UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS DE IMERSÃO EM CLORETO FÉRRICO PARA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO UNS S30400 NITROCARBONETADO<sup>1</sup>

Silvio Tado Zanetic<sup>2</sup>  
Neusa Alonso-Falleiros<sup>3</sup>

## Resumo

Foi estudada a influência da nitrocarbonetação em banho de sais (NBS) e a plasma (NPL) sobre a resistência à corrosão do aço inoxidável austenítico UNS S30400 solubilizado utilizando-se ensaios de perda de massa em solução de cloreto férrico (norma ASTM G48), os resultados foram comparados com os obtidos em ensaios de polarização potenciodinâmica cíclica em 3,5% NaCl. A caracterização das superfícies foi efetuada por meio de exames em microscópio óptico (MO) e eletrônico de varredura (MEV), ensaios de microdureza pela DIN 50190 e análise de difração em raios X (DRX). Os resultados mostraram que o tratamento de nitrocarbonetação foi eficiente no sentido de atingir uma dureza superficial acima de 800 HV e promoveu à superfície do substrato uma camada espessa e uniforme. A DRX revelou a presença de nitretos  $\epsilon$ ,  $\gamma'$ , CrN e  $Fe_3O_4$  (NBS) e austenita expandida  $\gamma_N$  ou fase "S" (NPL). Os ensaios de corrosão revelaram que o aço UNS S30400 sem tratamento de nitrocarbonetação solubilizado sofre corrosão por pite. Após nitrocarbonetação apresentaram curvas com aumento acentuado da densidade de corrente em potenciais mais nobres do que aqueles sem tratamento. Foi observada uma mudança no mecanismo de corrosão: não houve a formação de pites nem qualquer outro tipo de ataque corrosivo localizado. A nitrocarbonetação a baixa temperatura não apresentou corrosão generalizada, os poucos pites nucleados não cresceram. Os ensaios de imersão confirmaram os resultados obtidos pelos ensaios eletroquímicos. Concluiu-se que o tratamento de nitrocarbonetação aumenta a resistência à corrosão.

**Palavras-chave:** UNS S30400; Nitrocarbonetação em banho de sais e a plasma; Cloreto; Corrosão por pite.

## INFLUENCE OF NITROCARBURIZING IN SALT BATH OVER CORROSION STRENGTH OF UNS S30400 STAINLESS STEEL IN SOLUTIONS WITH CHLORIDE IONS

### Abstract

It was to study the influence of nitrocarburizing in salt bath (NBS) and in plasma (NPL) over the corrosion resistance of the austenitic stainless steel UNS S30400 solubilized in the presence of chloride ions., was utilized loss mass test in ferric chloride (ASTM G48). The results was compared with obtained in cyclic potentiodynamic polarization tests with 3,5% NaCl. The characterization of surface was evaluated with realization of exams in optical and scanning electron microscopy, microhardness tests for DIN50190 and X-ray diffraction analyses (DRX). The results has shown that the treatment of nitrocarburizing it was efficient for reach a hardness surface over 800HV, and produced a surface of substrate a layer thick and uniform. A DRX revealed the presence of nitriding  $\epsilon$ ,  $\gamma'$ , CrN and  $Fe_3O_4$ .(NBS) and expanded austenitic  $\gamma_N$  or phase "S" (NPL) The corrosion tests revealed that steel UNS S30400 without treatment solubilized nitrocarburizing was corroded by pitting. After the nitrocarburizing, the firsts results presented curves with increase of current density in nobles potentials than without treatment. It was observed a change in the corrosion mechanism: didn't happen pitting nor another type of localized corrosion The nitrocarburizing at low temperature don't showed generalized corrosion, the few pits nucleated didn't grow. That's results were confirmed for the immersion electrochemical. It was concluding that the nitrocarburizing treatment increase the corrosion resistance.

**Keywords:** UNS S30400; Nitrocarburizing in salt bath; Pitting corrosion; Chloride.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

<sup>2</sup> Professor do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza-CEETEPS-Brasil, zanetic.fatecmaua@gmail.com.

<sup>3</sup> Professora do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP-Brasil, nealonso@usp.br.

## 1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis são os mais importantes materiais passivos.<sup>(1)</sup> Dos tratamentos de superfície disponíveis para incrementar propriedades de resistência ao desgaste, fadiga e corrosão aos materiais de engenharia, destaca-se a nitrocarbonetação, por sua baixa temperatura e variações dimensionais relativamente pequenas. Tendo em vista as aplicações do aço UNS S30400 em meios contendo cloreto e as opções de tratamentos de nitrocarbonetação em banho de sais e a plasma, justifica-se examinar a resistência à corrosão nestas condições. Na nitrocarbonetação líquida ou em banho de sais ocorre uma reação entre os sais fundidos e as peças a serem tratadas, formando-se carbono e nitrogênio que difundem e se fixam nas regiões superficiais das peças. Normalmente o processo é realizado entre 530 a 580<sup>o</sup>C. O sal fundido é constituído principalmente por cianetos, cianatos e carbonatos alcalinos. Pela aeração, os cianetos de sódio e potássio são constantemente oxidados a cianato. O cianato ao decompor-se em carbono e nitrogênio permite a difusão destes elementos na superfície. Em virtude da baixa solubilidade do carbono, este é absorvido pela camada superficial, cessando logo sua penetração; o nitrogênio por sua vez, atravessa esta camada e difunde-se em direção ao substrato. Assim, camadas com a espessura, composição química e microestrutura metalográfica prescritas, são obtidas sem dificuldades. Quanto a resistência à corrosão, a literatura é escassa em trabalhos envolvendo o aço UNS S30400 nitrocarbonetado em meios de cloreto.<sup>(2-5)</sup>

A opção de tratamentos de nitrocarbonetação a plasma a baixa temperatura é um tratamento promissor, pois possibilita combinar endurecimento e manutenção da resistência a corrosão nos aços inoxidáveis austeníticos. Ao contrário do que se verifica em temperaturas entre 500 e 550<sup>o</sup>C a intensa precipitação de nitretos de cromo tipo CrN e Cr<sub>2</sub>N, em temperaturas abaixo de 450<sup>o</sup>C a precipitação de nitretos de cromo é suprimida e a camada nitrocarbonetada é constituída predominantemente de uma solução sólida metaestável, cúbica de face centrada, supersaturada em nitrogênio denominada austenita expandida (“ $\gamma_N$ ”) ou fase “S”. Nesta fase, o reticulado da austenita encontra-se expandido com relação ao seu estado inicial, pela introdução do intersticial, causando tensões elevadas residuais de compressão associadas a falhas de empilhamento, o endurecimento superficial promovido não causa empobrecimento das propriedades de corrosão. Em virtude da baixa solubilidade do carbono, este é absorvido pela camada superficial, cessando logo sua penetração; o nitrogênio por sua vez, atravessa esta camada e difunde-se em direção ao substrato. Assim, camadas com a espessura, composição química e microestrutura metalográfica prescritas, são obtidas sem dificuldades.<sup>(6,7)</sup>

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado foi o aço inoxidável austenítico UNS S30400, cedido pela Villares Metals, na forma de barra estirada a frio (trefilada) e retificada. Os corpos de prova foram obtidos de barras cilíndricas com diâmetro de 54mm e 8mm de espessura, foram preparados na condição: solubilizada (a 1100<sup>o</sup>C por 2 horas e resfriados em água). A composição química está apresentada na Tabela 1.

Posteriormente as amostras foram divididas em dois grupos, primeiramente submeteu-se quinze corpos-de-prova ao tratamento de nitrocarbonetação em banho de sais Tenifer-Tenox na empresa Brasimet S.A. Tal tratamento consta da imersão em banho de cianeto de sódio e cianeto de potássio (insuflado com ar) em temperatura de 570<sup>o</sup>C por duas horas, seguido de resfriamento em banho AB1

(composto de nitratos e hidróxidos) a 350<sup>o</sup>C. Um segundo grupo corpos-de-prova constituído de mais 15 amostras, foram submetidos ao tratamento de nitrocarbonetação a plasma pulsado a 420<sup>o</sup>C por dez horas, a composição gasosa foi de 78% N<sub>2</sub>; 20% H<sub>2</sub>; 2% CH<sub>4</sub>, (realizado na EESC-USP).

**Tabela 1.** Composição química do aço UNS S30400 (% em peso)

Elemento	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Nb	Ti
(%)	0,045	17,50	8,40	0,53	1,70	0,29	0,033	0,024	0,07	<0,005

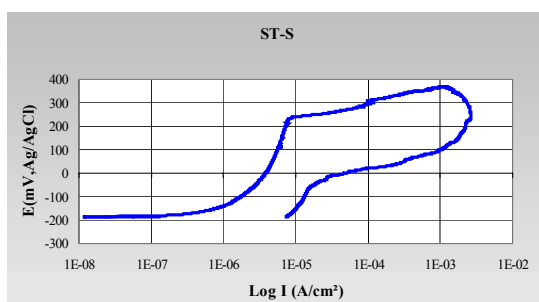
A resistência à corrosão foi avaliada através de ensaio eletroquímico potenciodinâmico (curvas de polarização potenciodinâmica cíclica) e de imersão em cloreto férrico. Para as curvas de polarização foi utilizada solução de 3,5 % NaCl em temperatura ambiente (23±2<sup>o</sup>C). As curvas foram levantadas utilizando um potenciostato PAR 273A da *Princeton Applied Research*, conectado a um microcomputador. Como contra-eletródo foi utilizado um fio de platina na forma de tela quadrada de 1 cm de lado e eletrodos de referência de calomelano saturado e prata cloreto de prata. Os ensaios de imersão em cloreto férrico (100g FeCl<sub>3</sub> 6H<sub>2</sub>O em 900 ml de água destilada) por 72 horas foram feitos tomando-se por base a norma G48.<sup>(8)</sup>

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

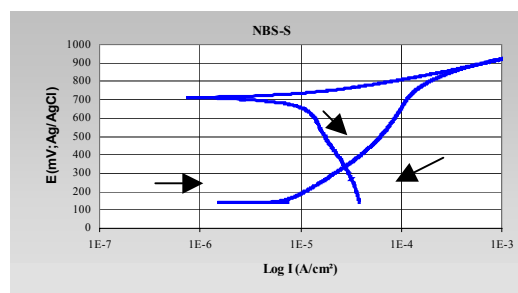
#### 3.1 Curvas de Polarização Potenciodinâmica Cíclica

As Figuras 1a e 1b mostra as curvas de polarização potenciodinâmica cíclica típicas para as condições solubilizada sem e com tratamento de nitrocarbonetação (NBS) e o aspecto da superfície antes e após a polarização respectivamente está apresentado nas Figuras 1c e 1d.

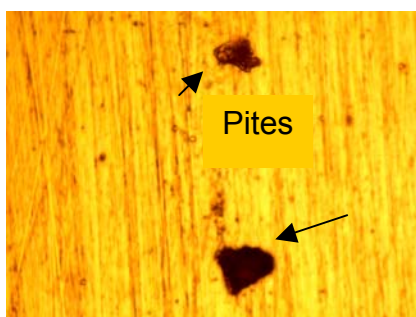
As curvas das amostras solubilizadas sem tratamento apresentam um formato típico com boa reprodutibilidade, mas com oscilações (indicativa de pites instáveis), trecho passivo e potencial de pite de 205±71 mV,Ag/AgCl (Figura 1a). As curvas de polarização das amostras solubilizadas após tratamento de nitrocarbonetação (Figura 1b) não apresentam oscilações de densidade de corrente comparativamente ao aço sem tratamento e o potencial inicial E<sub>corr</sub> é maior sendo também nítido o potencial para o qual tem-se o aumento brusco da densidade de corrente o qual definiria o potencial de pite. No entanto, a Figura 2d (região após ensaio eletroquímico) mostra que a superfície não apresenta sinal de qualquer tipo de ataque (inclusive localizado ou pite). Como a corrosão observada não é nula (pois se encontram densidades de corrente maiores que 10<sup>-6</sup> A/cm<sup>2</sup>) pode-se atribuir esse resultado a uma leve corrosão generalizada, não perceptível ao MO.



(a)



(b)



(c)



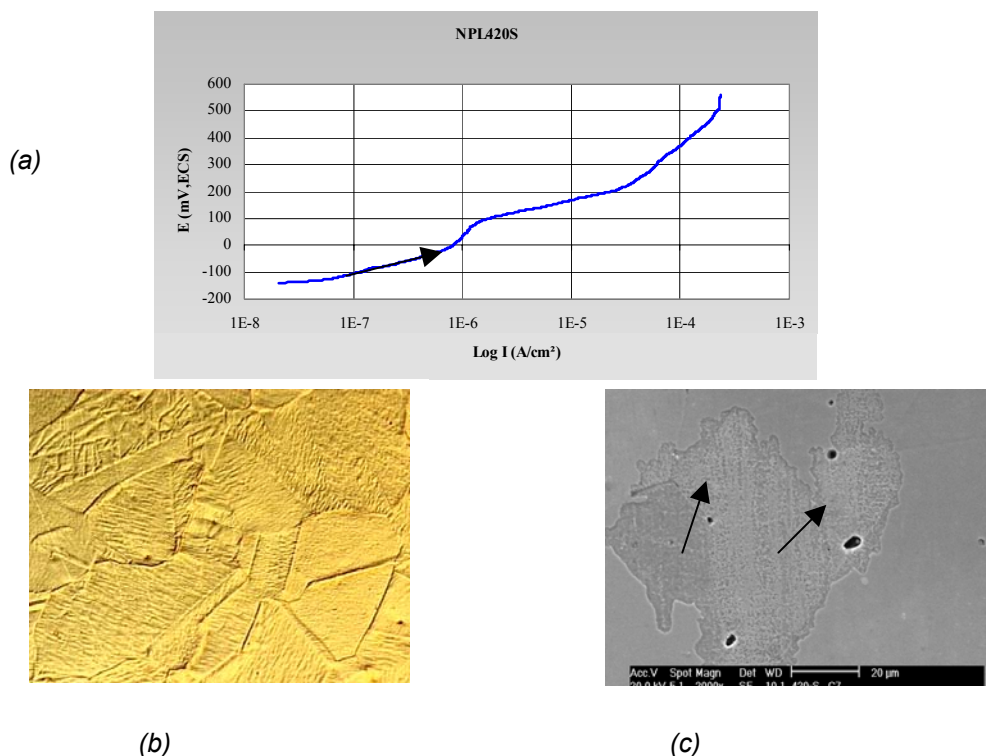
(d)

**Figura 1.** Curvas de polarização potenciodinâmica cíclica do aço UNS S30400 As setas indicam o sentido da polarização: a) sem tratamento solubilizada. Velocidade de varredura 1mV/s. b) Com tratamento (NBS) solubilizada. Velocidade de varredura 1mV/s; c) Aspecto da superfície após ensaio de polarização para a condição sem tratamento, aumento 200x (notar a presença de pites). d) Aspecto da superfície (NBS) após polarização, aumento 200x (notar ausência de pites).

Portanto conclui-se que o tratamento de nitrocarbonetação (NBS) tornou a amostra mais resistente à corrosão. Voltando as Figuras 1b nota-se em potenciais da ordem de 800 mV, Ag/AgCl o aumento da densidade de corrente que pode ser causado, por exemplo, pela formação de oxigênio (no presente caso, calculando-se, tem-se:  $E_{O/H_2O} = 686 \text{ mV, Ag/AgCl}$ ). Os valores obtidos para o potencial cuja densidade de corrente aumenta, aqui identificado como  $E_1$  tem alta reprodutibilidade,  $803 \pm 10 \text{ mV, Ag/AgCl}$  e o potencial  $E_2$  onde a densidade de corrente é praticamente nula, também tem boa reprodutibilidade, considerando-se que os desvios padrão, são concordantes com o potencial de equilíbrio do oxigênio calculado:  $706 \pm 27 \text{ mV, Ag/AgCl}$  para o solubilizado, sendo assim conclui-se que  $E_2$  é o potencial de equilíbrio da reação de oxigênio.

As curvas de polarização das amostras solubilizadas após tratamento de nitrocarbonetação a plasma (NPL) estão apresentadas na Figura 2a e o aspecto da superfície antes e após a polarização (Figuras 2b e 2c).

Nota-se que o material apresenta inicialmente um trecho passivo e em potenciais menores do que 200 mV, Ag/AgCl, já se obtém a definição do potencial de pite. Isto indica uma menor resistência à corrosão por pite do que no aço sem tratamento, o qual apresentou potencial de pite de  $205 \pm 71 \text{ mV, Ag/AgCl}$ , porém os pites nucleados não cresceram, no MEV para sua visualização foi necessário um aumento de 2000x ver setas na Figura 2c notou-se tratar de pites muito pequenos preenchidos de produtos.

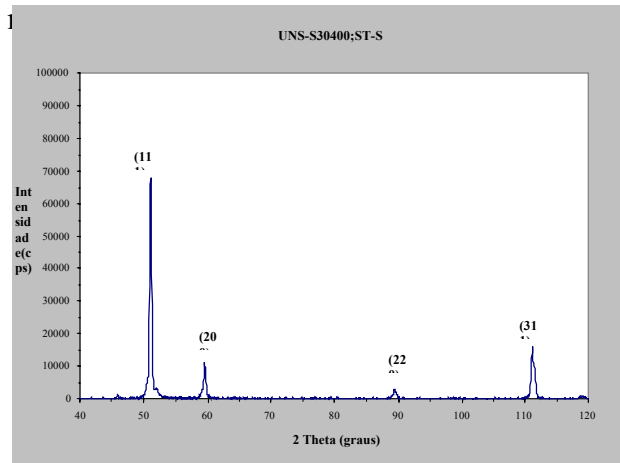


**Figura 2.** a) Curvas de polarização potenciodinâmica interrompida em  $10^{-4}$  A/cm<sup>2</sup> obtidas para a condição solubilizada e nitrocarbonetada a plasma a 420<sup>o</sup>C por 10 horas. b) Aspectos das superfícies antes do levantamento das curvas de polarização em MO. c) Aspecto das superfícies em MEV após levantamento das curvas de polarização, aumento 2000x, nota-se pequenos pites nucleados.

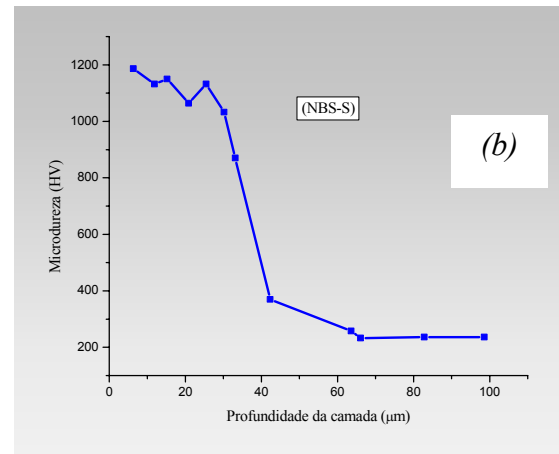
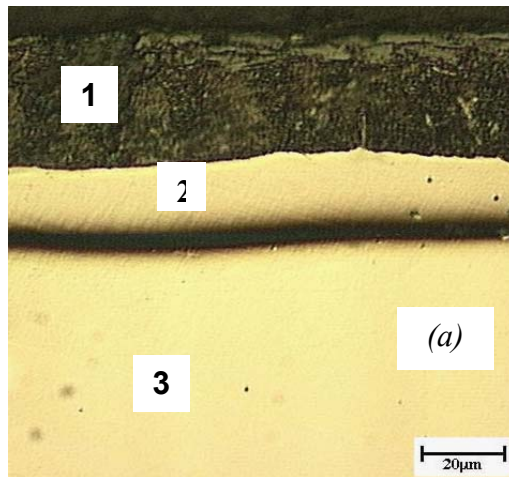
### 3.2 Caracterização Microestrutural

#### Nitrocarbonetação em banho sais (NBS)

Quanto a DRX o material solubilizado (Figura 3) indica a presença de austenita. Após a nitrocarbonetação (NBS) a imagem ao microscópio óptico permite visualizar a morfologia de uma aderente, espessa e uniforme camada nitrocarbonetada (Figura 4a). Para identificar as fases presentes procedeu-se as medidas de profundidade de dureza (Figuras 4b) e DRX (Figura 5), com os resultados verifica-se que há um patamar de dureza elevada (1200 HV) na faixa de 25 a 30 $\mu$ m (Figura 4b), na micrografia distingue-se as regiões 1, 2 e 3: a região 1 é de tonalidade escura que foi atacada pelo reagente água régia, a região 2 não atacada de tonalidade mais clara, as quais juntas constituem aqui a denominada camada de compostos, e em seguida vem a região 3 que começa a partir de 30 $\mu$ m de profundidade aproximadamente, a dureza diminui gradativamente até atingir a dureza do substrato (que inclui as regiões 2 e 3).

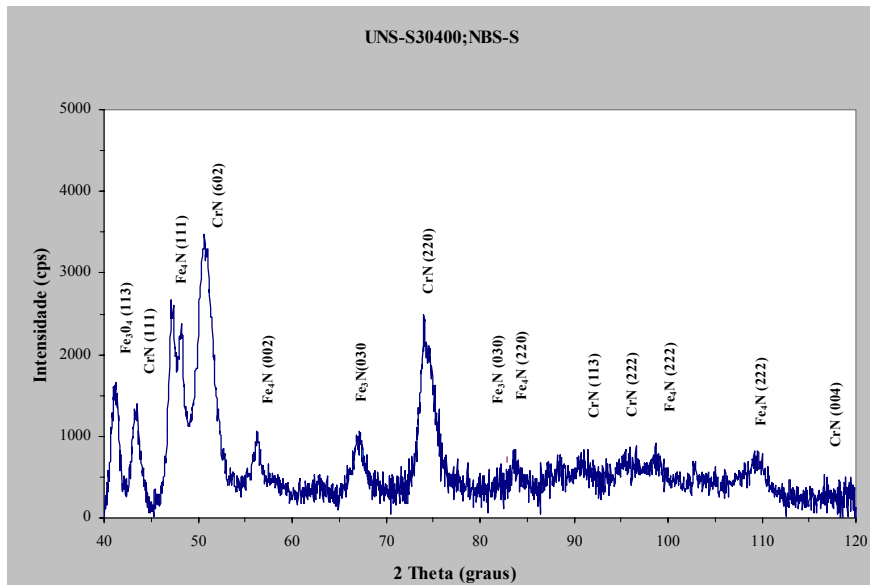


**Figura 3.** DRX para amostras solubilizada, Indica presença de austenita.



**Figura 4.** a) Micrografia do aço UNS S30400 solubilizado e nitrocarbonetado. Aumento 500x. Ataque água régia. b) Perfil de microdureza do aço UNS S30400, solubilizado. Profundidade de dureza 40 µm.

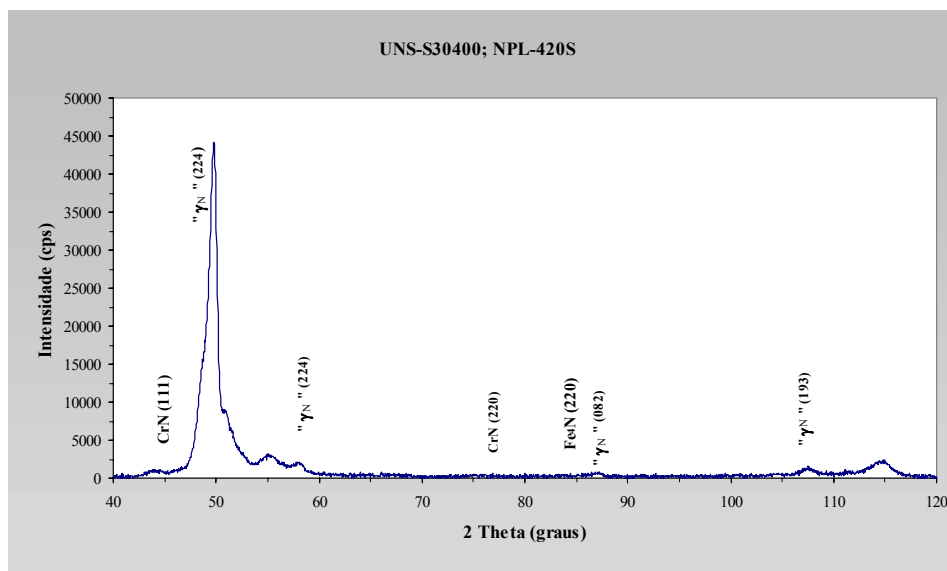
A análise dos resultados de DRX (Figura 5) indica a presença dos compostos:  $\epsilon$  ( $Fe_{2-3}N$ ),  $\gamma'$  ( $Fe_4N$ ), CrN e  $Fe_3O_4$ ). Apesar de se esperar aumento de dureza por nitretos deve-se investigar quais são os nitretos e suas respectivas capacidades de endurecimento nas regiões 1 a 3. Segundo Oliveira<sup>(9)</sup> camadas puras de nitretos  $\epsilon$  ( $Fe_{2-3}N$ ) de estrutura cristalina hexagonal, geram elevada dureza (o qual não é atacado pelo reagente água régia), se a camada for constituída por nitretos  $\epsilon + \gamma'$  (de reticulado cfc, mais dúctil) a dureza é mais baixa. Desse modo pode-se esperar que a região 2 deva ser uma região constituída por estes dois tipos de nitretos, já a região 1 que foi severamente atacada contém também nitretos de cromo (CrN). A presença de  $Fe_3O_4$  ocorre devido a aplicação de tratamentos de oxidação (imersão no banho AB1).



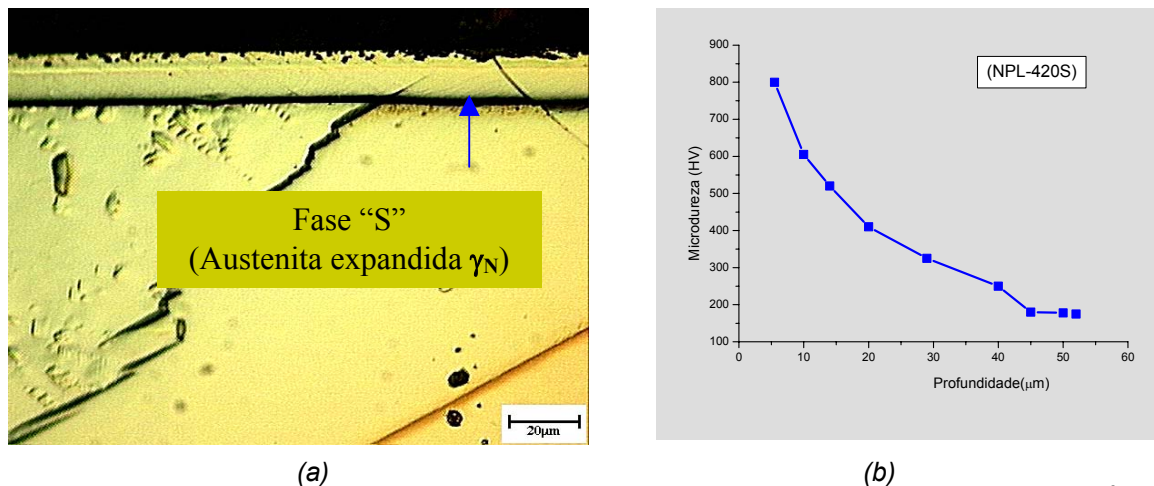
**Figura 5.** DRX do aço solubilizado e nitrocarbonetado. Nota-se a presença dos compostos:  $\epsilon$ ,  $\gamma'$ , CrN e  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

### Nitrocarbonetação plasma (NPL)

Quanto a DRX o material solubilizado apresentou após a nitrocarbonetação a plasma (Figura 6) a presença da fase "S". A imagem ao microscópio óptico, Figura 7a permite visualizar a morfologia de uma aderente, espessa e uniforme camada monofásica denominada fase "S" ou "austenita expandida". A profundidade de dureza foi determinada pelo perfil de dureza, Figura 5b (atingindo o valor máximo de 800 HV). A denominação de austenita expandida é devida à expansão causada pela supersaturação de nitrogênio na austenita. Verifica-se isto através da comparação entre o teor normal de nitrogênio (8,7 átomos %) e (20 a 40 átomos %) na austenita expandida.<sup>(10-12)</sup>



**Figura 6.** DRX para amostras solubilizada, nota-se a presença da fase "S" ( $\gamma'_N$ ) e pico de baixa intensidade de CrN.



**Figura 7.** a) Micrografia do aço UNS S30400 solubilizado e nitrocarbonetado a plasma 420<sup>o</sup>C por 10 horas. Ataque água régia. b) Perfil de microdureza do aço UNS S30400, solubilizado. Profundidade de dureza 40 μm.

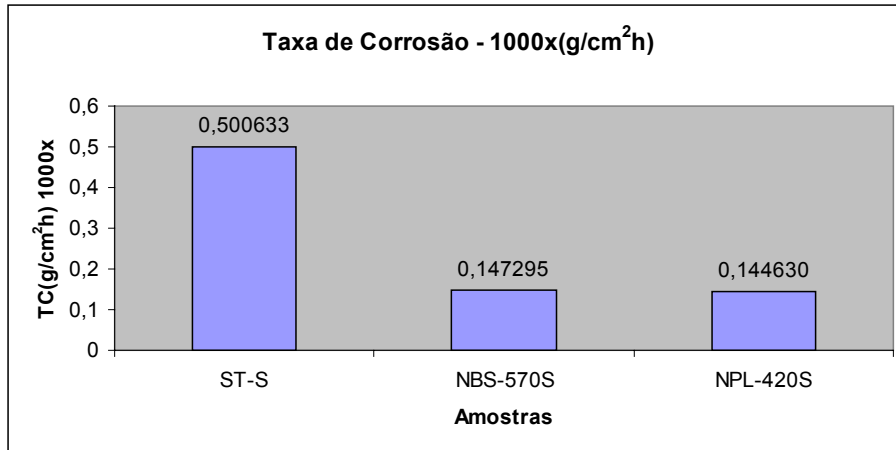
### 3.3 Ensaios de Imersão em Cloreto Férrico (FeCl<sub>3</sub>. 6H<sub>2</sub>O)

Os ensaios de imersão foram realizados a temperatura ambiente (23±2)<sup>o</sup>C em solução de cloreto férrico (FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O) por 72 horas para as amostras solubilizadas, sem e com tratamento de nitrocarbonetação. Os valores da taxa de corrosão estão apresentados na Tabela 2 e Figura 8. Nota-se em termos quantitativos que as amostras sem tratamento apresentaram alta taxa de corrosão por pite e alta densidade de pites (Figura 9a e 9b). Por outro lado as amostras nitrocarbonetadas (NBS; Figura 9c e 9d) mostraram uma resistência ao ataque localizado muito maior (não revelando a presença de pites) confirmando os resultados dos ensaios eletroquímicos. Quanto a nitrocarbonetação a baixa temperatura (NPL; Figura 9e e 9f) nota-se ausência de corrosão generalizada e os poucos pites nucleados não cresceram sendo ainda preenchidos de produtos de corrosão impedindo o crescimento dos poucos pites nucleados.

**Tabela 2.** Resultados da taxa de corrosão obtidos dos ensaios de imersão em cloreto férrico por perda de massa das amostras sem tratamento (ST), NBS e NPL.

	Massa antes da imersão (g)	Massa após imersão (g)	Perda de massa (g)	Área (cm <sup>2</sup> )	Taxa de corrosão (g/cm <sup>2</sup> .h)	Taxa de corrosão x 1000 (g/cm <sup>2</sup> .h)	Taxa de corrosão média (g/cm <sup>2</sup> .h)
ST-S	96,6050	94,6570	1,9480	54,68075	0,000495	0,494791	
ST-S	91,8100	89,8160	1,9940	54,68075	0,000506	0,506475	0,500633
NBS-570S	101,7478	101,1630	0,5848	54,68075	0,000149	0,148539	
NBS-570S	100,9465	100,3715	0,5750	54,68075	0,000146	0,146050	0,147295
NPL-420S	67,3043	66,8752	0,4291	46,14265	0,000129	0,129159	
NPL-420S	67,3058	66,7739	0,5319	46,14265	0,000160	0,160101	0,144630

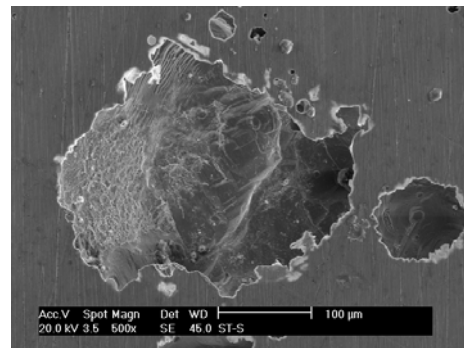




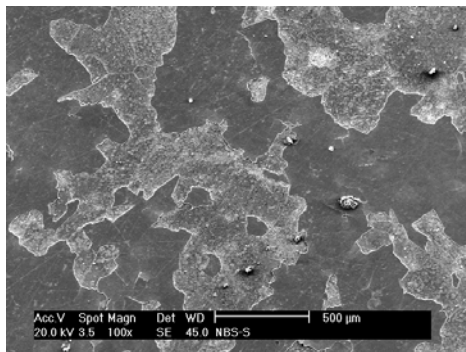
**Figura 8.** Resultados da taxa de corrosão (perda de massa; 1000x) após ensaio de imersão em cloreto férrico do aço UNS S30400 das amostras sem e com tratamento de nitrocarbonetação.



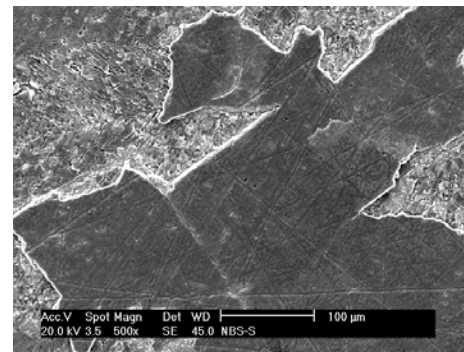
a



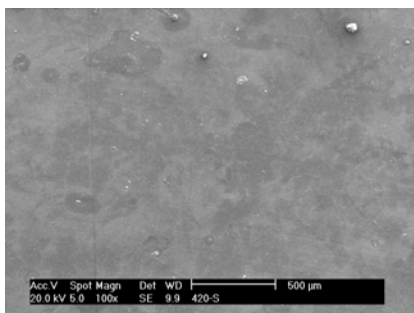
b



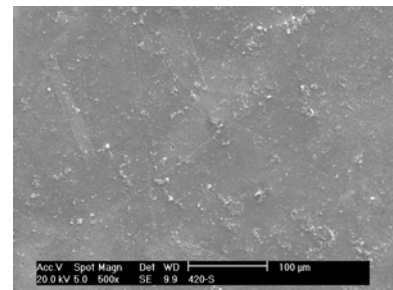
c



d



e



f

**Figura 9.** a) Fotografia das superfícies do aço UNS S30400 solubilizado sem tratamento, após imersão em cloreto férrico por 72 horas. b) Imagens no MEV de pites na amostra sem tratamento solubilizada, aumento 500x. c) e d) Imagens no MEV das amostras com tratamento NBS, após imersão em cloreto férrico por 72 horas. Aumentos 100 e 500x respectivamente. e) e f) Imagens no MEV das amostras com tratamento NPL, após imersão em cloreto férrico por 72 horas. Aumentos 100 e 500x respectivamente

## 4 CONCLUSÕES

- I) O aço UNS S30400 sem tratamento sofre corrosão por pite.
- II) O tratamento de nitrocarbonetação (NBS) foi eficiente no sentido de atingir dureza superficial (foram encontrados valores acima de 1000 HV).
- III) A análise por DRX da camada endurecida revelou que o aço inoxidável austenítico nitrocarbonetado em banho de sais apresenta nitretos  $\epsilon$  e  $\gamma'$ , CrN e  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . A nitrocarbonetação a plasma a baixa temperatura apresentou a fase "S".
- IV) A nitrocarbonetação a plasma revelou um relevante desempenho, as curvas de polarização mostraram elevada resistência à corrosão, a eficiência da fase "S" impediu o crescimento dos pites.
- V) Os ensaios de imersão em cloreto férrico confirmaram os resultados obtidos nos ensaios eletroquímicos: o material sem tratamento é fortemente susceptível à corrosão por pite apresentando o pior desempenho em cloreto férrico; após nitrocarbonetação em banho de sais as taxas de corrosão são muito inferiores a condição não tratada. Na nitrocarbonetação a baixa temperatura a fase "S" demonstrou sua resistência ao crescimento dos pites.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fapesp pelo apoio à pesquisa, à Villares Metals pela doação do aço estudado e à Brasimet S.A e a EESC-USP São Carlos. pela execução dos tratamentos de nitrocarbonetação.

## REFERÊNCIAS

- 1 **NEWMAN, R.C.** 2001 W.R. Whitney Award Lecture: Understanding the corrosion of stainless steel. NACE International 2001. CORROSION-December 2001.p.1030-1041.
- 2 **WAHL, G. e ETCHELLS, V.** QPQ Surfece heat treatment for corrosion resistance. Degussa A. G. Hamau, Federal Republic of Germane, 1977, p. 29.1 – 29.7.
- 3 **VENDRAMIN, J.C.** Processos de nitretação. In.: Seminário de Tratamentos térmicos. Realizado pela Brasimet, no período de 10 a 14 de agosto. 1998.
- 4 **WAHL, G.** Redução de custos e melhoria das propriedades tribológicas através da nitrocarbonetação pelo processo TENIFER.Ed. Brasimet. Tombo 02.000.04. São Paulo. (Trad. Luiz Roberto Hirschheimer) 1996. p. 1-19.
- 5 **BRANDÃO, B. S. P.** Recentes desenvolvimentos e aplicações da nitretação em banho de sal como meio de aumentar a resistência à corrosão superficial, In: EBRAT'S 83-III ENCONTRO BRASILEIRO DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES. 3 a 6 de Outubro. 1983. p.1-12.
- 6 **SUN, Y. & BELL, T.; KOLOSVARY, Z.; FLIS, J.** The response of austenitic stainless steels to low temperature plasma nitriding. Heat treatment of metals. 1999. p.9-16. UK.
- 7 **THAIWATTHANA, S.; LI, X.Y.;DONG, H.; BELL, T.** Comparison studies on properties of nitrogen and carbon S phase on low temperature plasma alloyed AISI 316 stainless steel. Surface Engineering 2002. vol. 18 n. 6 p.433-437.
- 8 **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM).** Standard test methods for pitting and crevice corrosion resistance of stainless steel and related alloys by the use of ferric chloride solution; G48-76, v. 03.02. 1999.

- 9 **OLIVEIRA, A. M.** Nitretação e Carbonitretação por Plasma em Aços Inoxidáveis e suas influências nas Resistências à Corrosão e ao Desgaste. 2004. p. 111. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos.
- 10 **BELL, T.** Surface engineering of austenitic stainless steel. Surface Engineering. Vol. 18, n. 6 p. 415-421. 2002.
- 11 **LI, X. Y.** Low temperature plasma nitriding of 316 stainless steel-nature of "S" phase and its thermal stability. Surface Engineering, vol. 17, n<sup>o</sup> 2, p.147-152, 2001.
- 12 **ZANETIC, S.T.** Influência de diferentes processos de nitrocarbonetação sobre a resistência à corrosão do aço UNS S30400 em meios contendo íons cloreto. 2006 p.119. Tese (Doutorado). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo.