

# AVALIAÇÃO DA MICROESTRUTURA E DUREZA DO AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO AISI 430 E AISI 430Nb TRATADOS TERMICAMENTE\*

Hugo Rodrigues Magalhães<sup>1</sup>  
Caroline Nazaré Gonçalves<sup>2</sup>  
Neice Ferreira dos Santos<sup>3</sup>  
Gabriel Mendes Almeida Carvalho<sup>4</sup>

## Resumo

Os aços inoxidáveis ferríticos apresentam vantagens econômicas e técnicas apreciados por diversos setores industriais e dentro desta classe, o AISI 430 é o mais utilizados por ser resistente ao calor e à corrosão e esteticamente atraente e, em algumas aplicações, adequado para substituir os inoxidáveis austeníticos. Para suprir algumas exigências que o tipo AISI 430 não possuía, surgiram os aços estabilizados, sendo o Ti e Nb os elementos mais comumente utilizados. O aço AISI 430E, estabilizado com Nb, possui menor susceptibilidade a sensitização além de melhores propriedades mecânicas. Este trabalho consiste em analisar a influência da adição de Nb no AISI 430 tratado termicamente. As implicações da adição de Nb na microestrutura e dureza foram avaliadas por meio de microdureza vickers, microscopia óptica e eletrônica de varredura. Os resultados mostram que o AISI 430A apresentou uma estrutura ferrita e martensita, após tratamento em temperaturas elevadas, enquanto o aço AISI 430E, apresentou crescimento heterogêneo de grão. Notou-se um aumento da dureza no aço AISI 430 A após tratamento térmico em elevadas temperaturas (1000 °C) devido à presença da martensita, enquanto no aço estabilizado, o valor de dureza diminuiu devido ao coalescimento de precipitados de Nb.

**Palavras-chave:** Aços inoxidáveis ferríticos; AISI 430; Nióbio; Microestrutura.

## EVALUATION OF THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF FERRITIC STAINLESS STEELS AISI 430 AND AISI 430Nb TREATED THERMICALLY

### Abstract

Ferritic stainless steels have economic and technical advantages appreciated by many industrial sectors and within this class, the AISI 430 is most commonly used as heat and corrosion resistant and aesthetically attractive and in some application suitable to replace austenitic stainless steels. To meet some requirements that the AISI 430 type did not have, stabilized steels appeared, with Ti and Nb being the most commonly used elements. The AISI 430E steel, stabilized with Nb, has less susceptibility to sensitization besides better mechanical properties.

This work consists in analyzing the influence of the addition of Nb on the thermally treated AISI 430. The implications of the addition of Nb in the microstructure and hardness were evaluated by means of vickers microhardness, optical and scanning electron microscopy. The results show that AISI 430A presented a ferrite and martensite structure, after treatment at high temperatures, while AISI 430E steel showed heterogeneous grain growth. A hardness increase was observed in the AISI 430 A steel after heat treatment at high temperatures (1000 °C).

dueto the presence of martensite, whereas in the stabilized steel the hardness value decreased due to the precipitation of Nb precipitates.

**Keywords:** Ferritic stainless steel; AISI 430; Niobium; Microstructure.

<sup>1</sup> *Graduado em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Itajubá, Itabira/MG, Brasil*

<sup>2</sup> *Mestranda em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, DEMET, UFMG, Belo Horizonte/MG, Brasil.*

<sup>3</sup> *Mestranda em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais, CDTN, Belo Horizonte/MG, Brasil*

<sup>4</sup> *Doutorando em Engenharia Mecânica, DEMEC, UFMG, Belo Horizonte/MG, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis ferríticos apresentam vantagens econômicas e benefícios técnicos apreciados, intensivamente, por alguns setores industriais, como por exemplo, em sistemas de exaustão de automóveis e tambores de máquina de lavar roupas, aplicações que demandam alta exigência.

Quando comparados aos aços inoxidáveis ferríticos, os aços inoxidáveis austeníticos apresentam melhor combinação entre propriedades mecânicas e resistência à corrosão, mas com um custo de fabricação mais elevado [1].

Assim, o ferrítico oferece os benefícios do aço inoxidável, em termos de exigência técnica em muitos tipos de aplicações, porém com custos reduzidos quando comparados aos aços inoxidáveis austeníticos, especialmente pelo preço do níquel.

São amplamente utilizados na indústria, principalmente na confecção de baixelas, fogões, geladeiras, entre outros itens. A boa resistência mecânica (ductibilidade) e elevada resistência à corrosão tornam essas aplicações possíveis [2].

O aço utilizado neste trabalho é do tipo 430, um dos mais comuns entre os aços inoxidáveis ferríticos e amplamente utilizado na indústria. Este tipo de aço apresenta melhor resistência à corrosão do que os aços inoxidáveis martensíticos e um custo mais baixo do que a maioria dos aços austeníticos [1,3].

Com o intuito de melhorar algumas propriedades dos aços inoxidáveis ferríticos, surgiram aços que incluem elementos estabilizadores como titânio e nióbio. Neste cenário surgiu, por exemplo, o aço AISI 430 E, estabilizado com nióbio.

O aço inoxidável ferrítico 430 E, estabilizado com nióbio, é um aço magnético, endurecível por conformação a frio e utilizado basicamente no estado recozido. A estabilidade é em consequência da formação de carbonetos de nióbio, distribuídos na matriz ferrítica com o intuito de evitar a precipitação de carbonetos de cromo, que pode provocar um empobrecimento localizado e favorecer a corrosão intergranular [2].

Durante a conformação a quente nos aços inoxidáveis ferríticos pode ocorrer a transformação da ferrita em austenita em elevadas temperaturas segundo [4]. Este fato pode provocar a formação de uma estrutura martensítica durante o resfriamento, por exemplo, no aço AISI 430.

Como o aço AISI 430 A apresenta uma estrutura mista de martensita e ferrita após conformação a quente, este aço inoxidável ferrítico passa por um tratamento térmico posterior com o intuito de se obter uma microestrutura com carbonetos distribuídos pela matriz ferrítica [4 -5].

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar a influência da adição de nióbio no aço AISI 430 no estado encruado e após tratamentos térmicos, em particular sua microestrutura e propriedades mecânicas.

Do ponto de vista tecnológico, o entendimento da influência da adição do nióbio é bastante apropriado, pois as propriedades do material sofrem a intervenção direta da microestrutura.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da adição de nióbio na microestrutura e nas propriedades mecânicas do aço inoxidável ferrítico AISI 430 tratado em diferentes temperaturas.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e métodos

Neste trabalho foram utilizadas amostras do aço AISI 430 convencional e estabilizado ao nióbio na forma de chapas com a composição química apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química (em % mássica) dos aços inoxidáveis ferríticos AISI 430A e AISI 430E.

Aço	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ti	%Nb	%N	%P	%S
430A	0,043	0,28	0,244	16,251	0,008	0,041	0,38	0,04	0,015
430 E	0,021	0,23	0,29	16,312	0,011	0,358	0,02	0,035	0,016

**Fonte:** APERAM SOUTH AMERICA [6]

Os aços foram produzidos industrialmente até a etapa de laminação a frio, com espessura final de 0,60 mm.

Os tratamentos térmicos foram realizados em um forno tipo mufla com aquecimento do forno a 600 e 1000 °C, por um período de 1 h, e posteriormente os corpos-de-prova foram resfriados ao ar.

Para a análise metalográfica as amostras foram polidas até diamante de 1 µm, e atacadas com reagente Kalling's modificado (5 g CuCl<sub>2</sub>, 100 mLHCl, 100 mL HNO<sub>3</sub>). Foram utilizados microscopia óptica (MO) e/ou eletrônica de varredura (MEV).

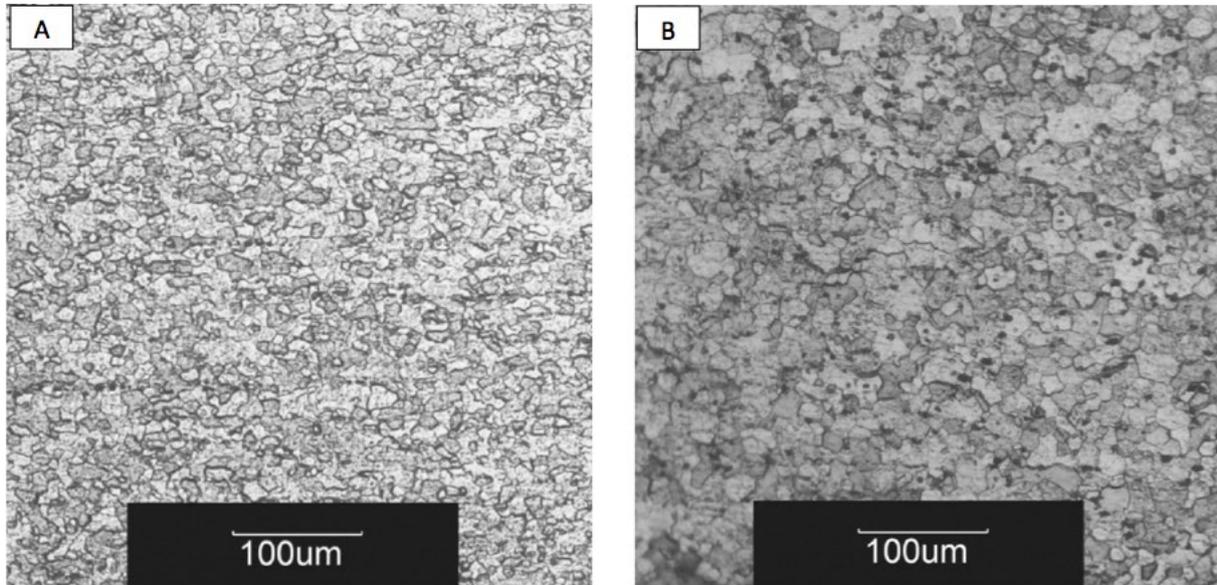
Após as amostras serem devidamente polidas, foram realizados os testes de microdureza Vickers utilizando 0,3 kgf de carga aplicada. Durante todo o ensaio foram respeitadas as considerações feitas pela norma ABNT NBR NM ISO 6507-1:2008.

## 2.2 Resultados

### 2.2.1 Caracterização microestrutural

#### Estado encruado

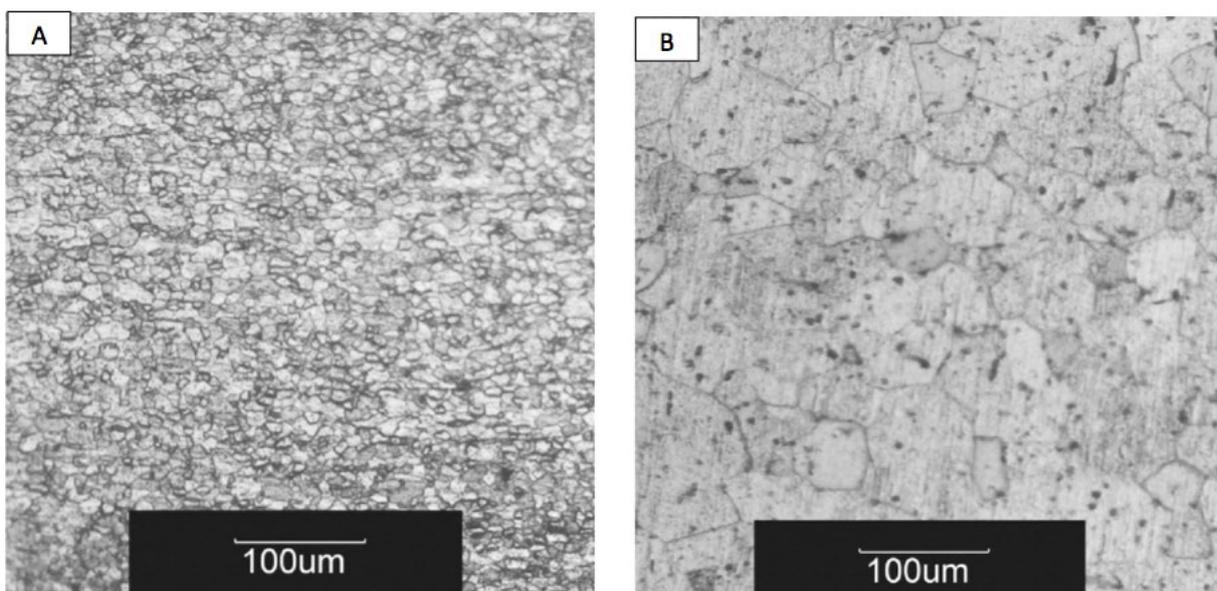
Na Figura 1 apresentam-se as micrografias dos aços AISI 430A e AISI 430E no estado encruado obtidas por meio de MO.



**Figura 1:** Micrografia óptica (a)AISI 430A e (b)AISI 430E

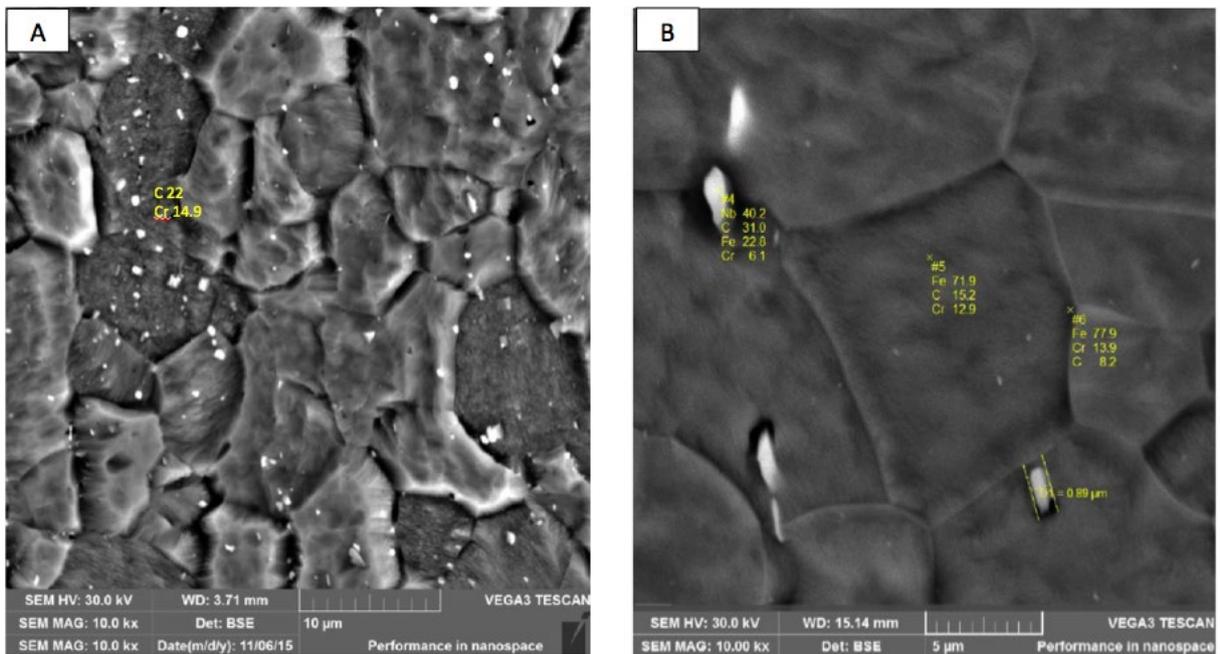
Percebe-se pela microestrutura do aço AISI 430A no estado encruado a existência de grãos pequenos e equiaxiais. Já para o aço estabilizado com Nb, pode-se notar a presença de grãos grosseiros.

As Figuras 2 e 3 apresentam as micrografias MO E MEV, respectivamente, após tratamento térmico a 600 °C por 1 hora.



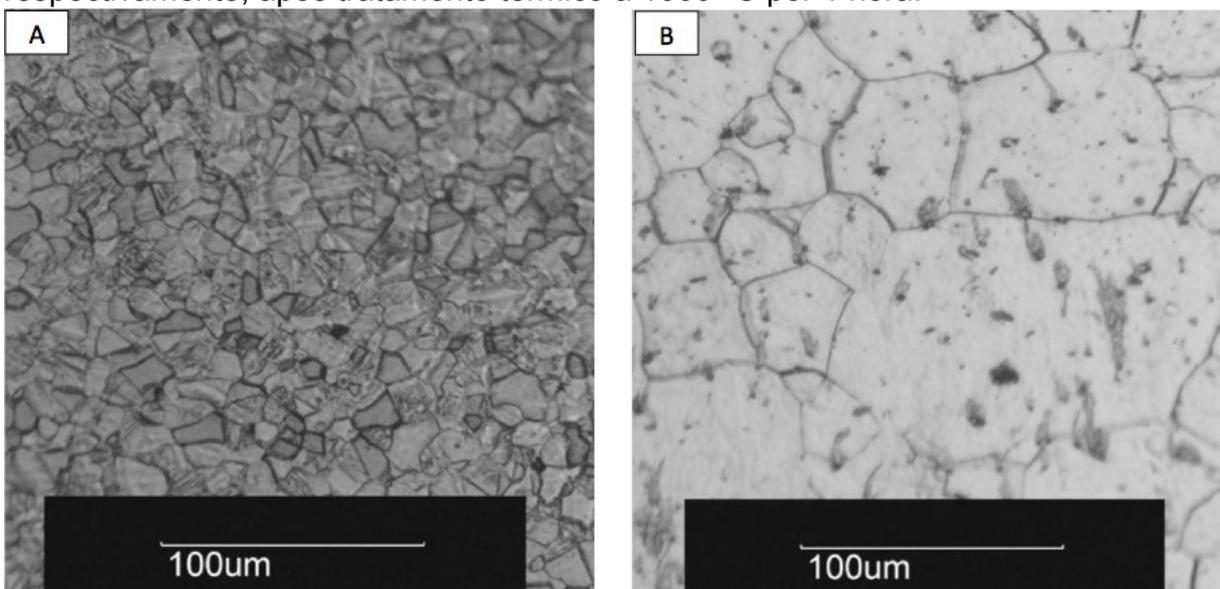
**Figura 2 .** Micrografia em MO do aço AISI 430A (a) e AISI 430E (b) tratado termicamente a 600°C durante 1 hora e resfriado ao ar

Não se notou uma diferença considerável na microestrutura do AISI 430A no estado encruado e após ter sido submetido ao tratamento térmico de 600 °C. A microscopia obtida a partir do MEV (Figura 3) revelou a presença de precipitados finos inter e intragranulares contendo carbono e cromo, o que de acordo com a literatura são carbonetos de cromo, **M23C6**. Com relação ao aço AISI 430 E verificou-se um crescimento de grão, uma vez que o Nb (elemento gamagênio) tende a estabilizar a matriz ferrítica [8]. A partir do MEV, observou-se precipitados de carbonetos de Nb em regiões adjacentes aos contornos de grão da ferrita.



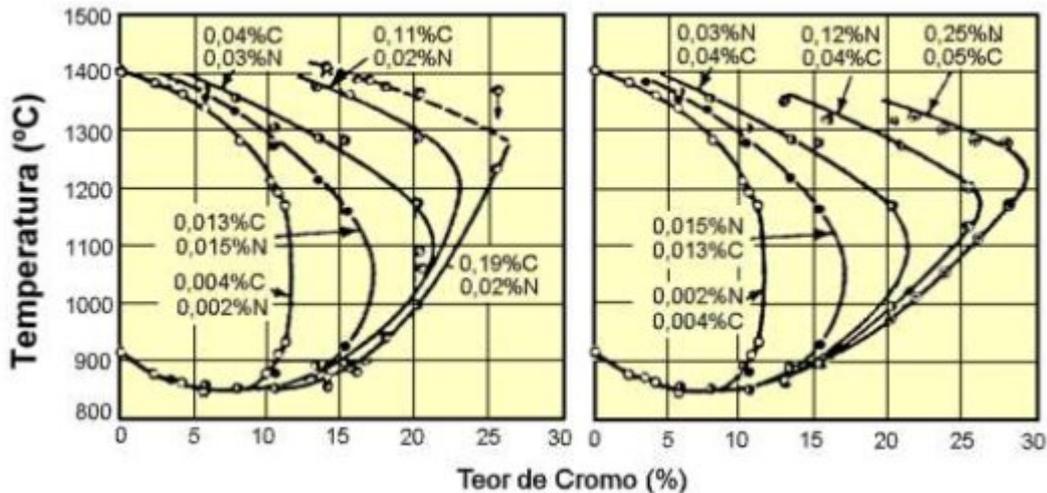
**Figura 3.** Microscopia eletrônica de varredura no modo de elétrons retroespalhados do aço AISI 430A (a) e AISI 430E (b) tratados a 600°C.

As Figuras 4 e 6 apresentam as micrografias obtidas a partir do MO e MEV, respectivamente, após tratamento térmico a 1000 °C por 1 hora.



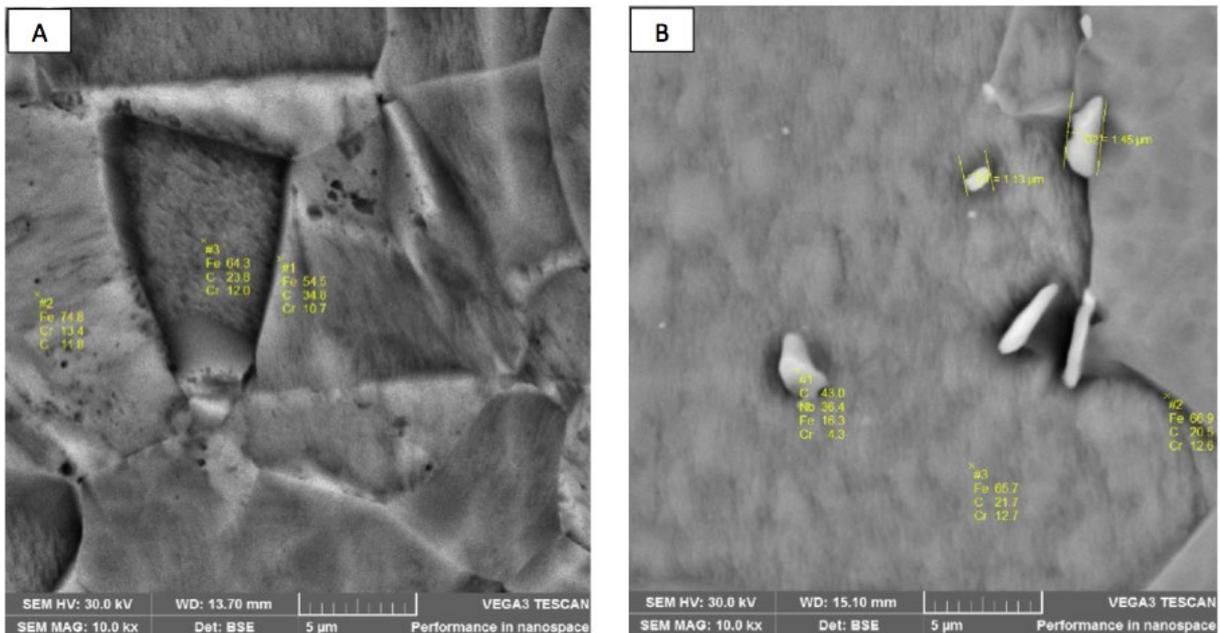
**Figura 4.** Micrografia em MO do aço AISI 430 A e AISI 430E tratado termicamente a 1000°C durante 1 hora e resfriado ao ar.

Observa-se, nas micrografias do AISI 430A, a presença de uma rede de martensita em torno dos contornos de grão da ferrita. Essa microestrutura é justificada pelos altos teores de C e N, Figura 5, que favorece a formação da austenita para maiores teores de cromo e em temperaturas elevadas. Desta forma, durante o tratamento térmico, o aço sofre transformação parcial da ferrita em altas temperaturas apresentando estrutura bifásica, austenita + ferrita, e estrutura ferrita + martensita após o resfriamento ao ar. Isso não foi observado para o aço estabilizado, uma vez que a adição de Nb faz com que o Cr permaneça em solução sólida mantendo uma estrutura completamente ferrítica em temperaturas elevadas [3,7,9].



**Figura 5.** Deslocamento da linha de separação dos campos austenita e (austenita + ferrita) no sistema Fe-Cr através das adições de C e N [10].

As amostras do aço 430E tratados em temperaturas elevadas apresentaram crescimento heterogêneo de grão. A presença do Nb em solução sólida dificultou o movimento dos contornos de grão. Assim, de acordo com a literatura, no aço estabilizado predomina contornos de grão com maior mobilidade onde o crescimento heterogêneo de grão é favorecido [2].

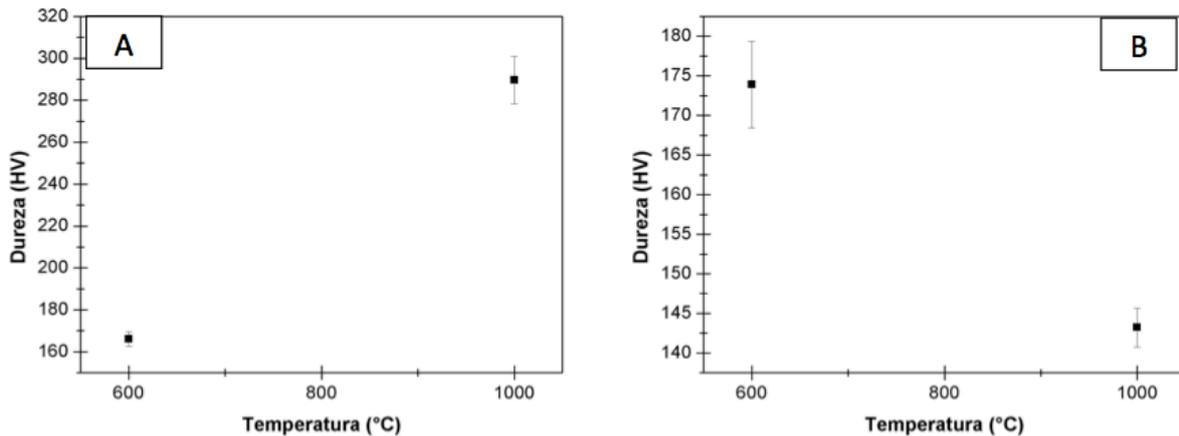


**Figura 6.** Microscopia eletrônica de varredura no modo de elétrons retroespalhados do aço AISI 430A (a) e AISI 430E (b) tratados a 600°C.

A partir da Figura 6 para o aço AISI 430A, pôde-se observar a presença de precipitados finos e dispersos na matriz ferrítica contendo cromo, enquanto no aço AISI 430E os precipitados se concentraram nos contornos de grãos. Esses resultados foram similares aos dos aços tratados termicamente à 600 °C.

## 2.2.2 Microdureza Vickers

Nas Figuras 7(a) e 7(b) apresentam-se os valores médios de microdureza obtidos para o aço AISI 430A e AISI 430E a partir da temperatura ambiente até 1000 °C.



**Figura 7.** Gráfico de dureza Vickers para o aço inoxidável ferrítico AISI 430 A(a) e AISI 430E(b)

Nota-se nas figuras acima que os valores de dureza para os aços AISI 430A e AISI 430E no estado encruado apresentaram valores mais elevados quando comparados com os aços tratados termicamente. Além disso, percebe-se ambos os aços tratados a 600°C apresentaram uma redução valores de dureza, o que pode ser explicado pela redução dos defeitos cristalinos que existiam no estado encruado. Ainda nesta temperatura, é possível observar que o aço estabilizado apresentou maior dureza em relação ao não estabilizado, o que pode ser justificado pelas partículas de nióbio que funcionam como uma barreira para o crescimento de grão ocasionando um aumento na rede interna da rede cristalina reduzindo a ductilidade do material.

A partir da Figura 7, observa-se um aumento considerável nos valores de dureza no aço AISI 430A tratado termicamente a 1000 °C. Isso se deve a formação de martensita em temperaturas elevadas, como foi visto na análise metalográfica. Já para o aço AISI 430E, o valor de dureza diminuiu devido ao coalescimento de precipitados de Nb.

## 3 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram analisadas as influências do nióbio na microestrutura e dureza do aço inoxidável ferrítico AISI 430.

Pode-se verificar que com o aumento da temperatura, a microestrutura dos aços AISI 430A e AISI 430E se tornaram cada vez mais distintas. A 600 °C, o aço AISI 430E começou a apresentar grãos grosseiros e heterogêneos. Enquanto a 1000 °C, o aço não estabilizado apresentou uma estrutura bifásica (austenita + ferrita) próximo a esta temperatura, resultando em estrutura ferrita + martensita após o resfriamento ao ar.

A partir do MEV, observou-se que com a adição de Nb, o cromo permaneceu em solução sólida, portanto, no aço AISI 430E, apenas foram observados a presença de precipitados contendo Nb nas regiões adjacentes aos contornos de grão.

Notou-se um aumento da dureza no aço inoxidável ferrítico AISI 430 A após tratamento térmico em elevadas temperaturas (1000 °C) devido à presença de uma estrutura martensítica. Enquanto no aço estabilizado, o valor de dureza diminuiu devido ao coalescimento de precipitados de Nb.

## Agradecimentos

Agradecemos às agências governamentais brasileiras (CNPQ, CAPES e FAPEMIG) pelo apoio financeiro para esta pesquisa e à UNIFEI-Campus Itabira pelo suporte técnico.

## REFERÊNCIAS

- 1 SERNA-GIRALDO, C. A. Resistência à corrosão intergranular do aço inoxidável ferrítico UNS S43000: avaliação por método de reativação eletroquímica, efeito de tratamento isotérmico e mecanismo de sensitização. 2006. 197f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- 2 SIQUEIRA, R. P., RODRIGUES, C. E. M., SANDIM, H. R. Z., BALDAN, C. A. OLIVEIRA, T. R. d. Recristalização do aço AISI 430 com estrutura colunar de grãos; Revista Escola de Minas Vol. 60; Ouro Preto; 2007.
- 3 SIQUEIRA, R. P. Efeitos de orientação na Recristalização do Aço Inoxidável Ferrítico AISI 430 com Grãos Grosseiros e Estabilizados ao Nióbio. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de Lorena. Lorena, 2010.
- 4 SCHMITT, V. M. ; Pardal, J. M. ; SOUTO, S. ; PONZIO, E. A ; SOUZA, V. M. ; KINA, A. Y. . Estudo da Influência da Microestrutura na Suscetibilidade à Sensitização do Aço Inoxidável AISI 430 por Polarização Eletroquímica de Reativação Cíclica (PERC). Revista Virtual de Química , v. 5, p. 691-712, 2013.
- 5 SILVA, A.L.C. e MEI, P.R.. Aços e ligas especiais – 3ª Edição – São Paulo: Blucher, 2010.
- 6 APERAM SOUTH AMERICA, Especificações técnicas. Disponível: <http://www.aperam.com/brasil/port/arquivos/TT-0012-11- EspecificacoesTecnicas.pdf> acessado em: Novembro de 2015.
- 7 MODENESI, P.J. Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2016.
- 8 FUJITA, N.; OHMURA, K.; YAMAMOTO, A. Changes of microstructures and high temperature properties during high temperature service of Niobium added ferritic stainless steels. *Mat. Sci. Eng*, v.351, n.1-2, p.272-281, 2003.

- 9 GORDON, W.; BENNEKON, A. V.  
Review of stabilization of ferritic stainless steels. *Materials Science and Technology*, v.12, p.126-131, 1996.
- 10 PECKNER, D.; BERNSTEIN, I.M. Handbook of stainless steels. Mc Graw-Hill, 1977.  
Capítulos 4 e 5.