

## **COMPARATIVO DA MICROESTRUTURA E DA MICRODUREZA NO AÇO 4340 A DIFERENTES TEMPOS DE RECOZIMENTO**

**BRUNO MELLO DE FREITAS<sup>1\*</sup>, PATRICK PEREIRA DE SOUZA<sup>2</sup>, JOSÉ COSTA DE MACEDO NETO<sup>3</sup>, ARÍSTIDES RIVERA TORRES<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Doutorando em Engenharia Mecânica, UFRJ/COPPE, Prof. em Engenharia dos Materiais UEA/EST, Manaus-AM, bfreitas@uea.edu.br

<sup>2</sup>Graduando em Engenharia dos Materiais, UEA/EST, Manaus-AM, patrick\_souza2015@outlook.com

<sup>3</sup>Dr. Professor em Engenharia de Materiais, UEA/EST, Manaus-AM, jotacostaneto@gmail.com

<sup>4</sup>Dr. Professor em Engenharia Mecânica, UEA/EST, Manaus-AM, aristides22s@gmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016

29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

**RESUMO:** Aços de ultra-alta resistência são muito requisitados nas indústrias aeroespaciais e automobilística, para construções estruturais por exemplo, e para melhor se adequarem aos seus objetivos, geralmente, esses materiais sofrem tratamentos térmicos. O objetivo deste estudo foi identificar as diferenças nas propriedades visuais e mecânicas do aço SAE 4340 tratados termicamente para o aço sem tratamento térmico. Foi utilizado o parâmetro tempo de 1 a 4 horas de recozimento à 880°C para posterior processo metalográfico e teste de microdureza. Os resultados apontaram que à cada hora houve quebra da homogeneidade das durezas nos diferentes pontos observados, onde foi possível verificar que entre a primeira e segunda hora, não houve modificação nas médias de dureza Vickers. Com o teste de micrografia observou-se aumento importante na quantidade da ferrita proeutetóide principalmente durante o tempo de 4 horas. Portanto, foi possível detectar a influência do tempo de recozimento sobre a microestrutura do aço SAE 4340 e sua microdureza.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aço SAE 4340, Metalografia, Microdureza.

**ABSTRACT:** Ultra high strength steels is stretched pretty thin in the aerospace and automotive industries, to structural constructions for example, and to best suit to your goals, usually, these materials undergo thermal treatments. The aim of this study was to identify differences in Visual and mechanical properties of the SAE 4340 steel heat-treated for steel without heat treatment. We used the time parameter of 1 to 4 hours of annealing to 880° C for further metallographic and microhardness testing process. The results showed that every time there was a break in the homogeneity of the hardness in different points, where it was possible to verify that between the first and second time, there was no modification of Vickers hardness. With the significant increase in observed micrograph on ferrite quantity proeutetóide mainly during the time of 4 hours. Therefore, it was possible to detect the influence of annealing time on the refined microstructure SAE 4340 steel and its microhardness.

**KEYWORDS:** SAE 4340 Steel, Metallography, Microhardness.

### **INTRODUÇÃO**

Muitas pesquisas são realizadas sobre as propriedades mecânicas dos aços para verificar quais finalidades melhor eles se adequam. Segundo (Souza,1998; Prado, 1990) os aços SAE 4340 por serem de ultra-alta resistência são muito utilizados em componentes estruturais de veículos espaciais e trens de pouso de aeronaves, e grande parte desses aços, para desempenhar os seus trabalhos específicos, passam por algum tratamento térmico. Colpaert (2008), destaca que a forma mais utilizada para modificar as propriedades mecânicas, químicas e físicas do aço é através do tratamento térmico. O aço SAE 4340 além de ser muito cogitado no âmbito industrial e no comércio também possui facilidade de ser tratado termicamente (Souza, 1998; Souza, *et al*, 2008). Cada um desses tratamentos é escolhido para um aço de acordo com as finalidades que este exercerá (Colpaert, 2008).

De acordo com Longo & Monteiro (1987) a microestrutura bifásica, encontrada por exemplo no aço 4340, proporciona alta resistência mecânica com ductilidade superior aos aços de alta resistência e baixa liga. Sabe-se que cada microestrutura apresenta uma característica singular e que sozinha ou somada a outras microestruturas admitirão ao aço suas características, portanto, aços liga ou com alto teor de carbono são quase que indispensavelmente tratados termicamente para que estes possam realizar suas devidas tarefas (Chiaverini, 2012).

Por definição é dito que o recozimento é um processo utilizado em geral para diminuir a dureza e para alívio de tensões. Este consiste em aquecer o material até uma temperatura acima da zona crítica (727°C) para uma dada concentração de carbono e permanecer por tempo suficiente para que qualquer reação necessária ocorra (Callister & Rethwisch, 2013).

Uma propriedade importante de se mensurar é a dureza, pois com ela é possível estimar outras propriedades mecânicas, como o limite de resistência a tração. Então, visando a análise dos efeitos de diferentes temperaturas no tratamento térmico de recozimento, este estudo irá avaliar a microestrutura e a microdureza Vickers de um aço SAE 4340, procurando relacionar as propriedades apresentadas com a dureza, as microestruturas e o tempo de tratamento térmico.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Foi utilizado um tarugo de aço ao Ni-Cr-Mo SAE 4340, com composição química nominal 0,38% C; 0,15% Si; 0,6% Mn; 0,8% Cr; 1,65% Ni; 0,2% Mo. Foram realizados 5 cortes longitudinais para as amostras que representavam ¼ da face do tarugo. Uma amostra foi utilizada como parâmetro para comparação. As demais (4 amostras) sofreram tratamento térmico de recozimento, a uma temperatura de 880°C, para diminuição da dureza, e em cada amostra houve variação do parâmetro tempo de 1, 2, 3 e 4 horas, respectivamente, em um forno do tipo mufla, seguido por um resfriamento lento, de aproximadamente 12 horas, dentro do forno para a verificação da difusão da microestrutura do aço hipoeutetóide.

Terminado todos os tratamentos térmicos, foi realizado o processo metalográfico com embutimento a quente. O processo de lixamento das amostras foi feito, seguindo a ordem das lixas de granulação 80, 120, 180, 280, 360, 400, 600 e 1200. Em todas as peças lixadas foi realizado o teste de microdureza *Vickers* no microdurômetro Mitutoyo do Laboratório de Materiais e Processamentos – LabMatPro/UEA/EST, aplicando-se a carga de 0,2 kgf, levando-se em conta 16 medições por cada amostra. Estas medições foram dispostas de maneira igual em todas as peças, onde 13 medições foram na área representante da superfície e 3 pontos na área do núcleo da peça. Após o término das medições a amostra foi polida em uma politriz da marca Arotec com alumina, nas granulações de 0,3 µm e 0,05 µm.

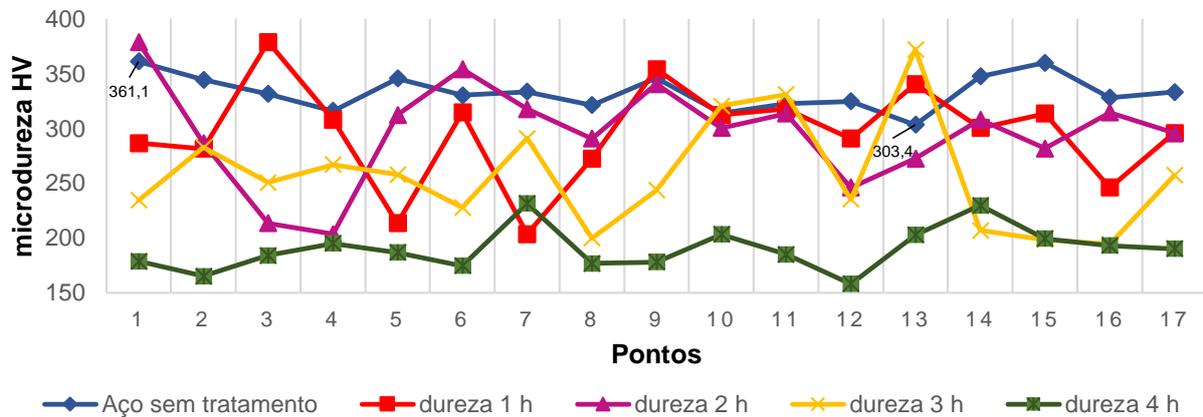
Terminado o polimento foi feito o ataque químico para a visualização dos grãos em uma solução de Nital a 3%. Para a microscopia foi utilizado um Microscópio Metalográfico Óptico THS-200 Olympus onde utilizamos uma ampliação de 400x e 1000x para identificação das microestruturas.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Por meio dos experimentos realizados foi possível detectar a dificuldade de homogeneizar a dureza da peça após o tratamento térmico de recozimento. Partindo da amostra do aço 4340 Ni-Cr-Mo em tratamento térmico, observou-se que esta encontra-se numa faixa de microdureza a 333,1HV, demonstrado no Figura 2, notavelmente com uma boa homogeneidade na amostra não sendo observado valores de microdureza abaixo de 303 HV e acima de 361,1 HV, demonstrado no Figura 1. A amostra submetida ao tratamento térmico por período de 1 (uma) hora possui valores de microdureza muito variáveis, em torno de 295,8 HV onde o maior valor encontrado foi de 378,8 HV e o menor 203,6 Hv. Para o tratamento de 2 (duas) horas a média dos valores se mantiveram os mesmos que do tratamento térmico de 1 (uma) hora, 295,8 HV, o que pode ter sido ocasionado por haver pouca difusão das fases ferrítica e austenítica, e a área de presença da fase Perlita ainda ser muito grande. O ponto de maior microdureza foi 365,7 HV e o de menor 202 HV. Já no recozimento de 3 (três) horas notamos que a microdureza se tornou pouco mais homogênea variando por volta de 257,1 HV. Podemos notar que há o surgimento de faixas de cor escura, provavelmente Perlita. No interior dessas faixas a difusão das fases Ferrita (clara) é extensa, porém com uma variação na microdureza, maior de 372,1 HV na região central da superfície da amostra no ponto p13, e a microdureza p16 na ponta do cone de 194,4 HV. Para a última variação de tempo, ou seja, 4 horas, encontrou-se a menor variação, uma homogeneidade bastante

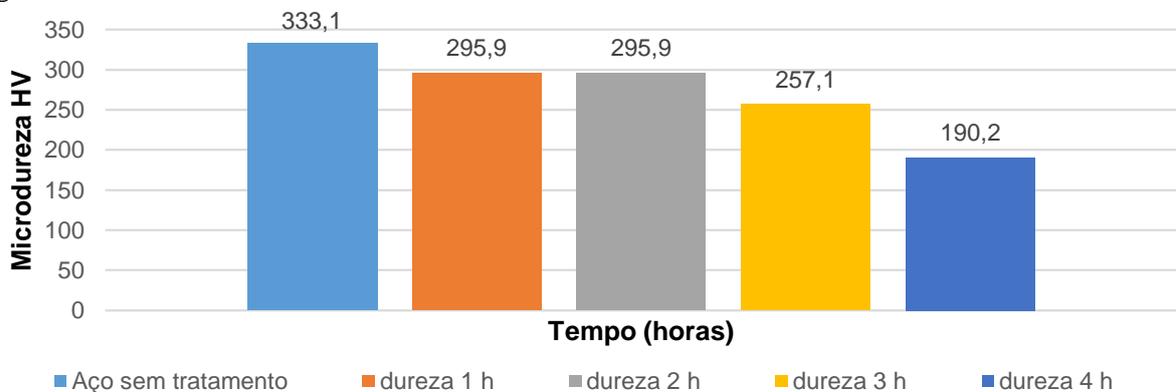
satisfatória da microdureza, em torno de 190 HV. Esta última apresentou a menor microdureza de todos os testes 158,2 HV nesta amostra foram encontrados altos níveis das fases claras Ferrita e austenita, onde os grãos se tornaram maiores e as faixas escuras de Perlita se tonaram menos abrangentes.

Figura 1. Gráfico com os resultados dos valores obtidos nos ensaios de microdureza Vickers.



Fonte: Freitas et. al. (2016).

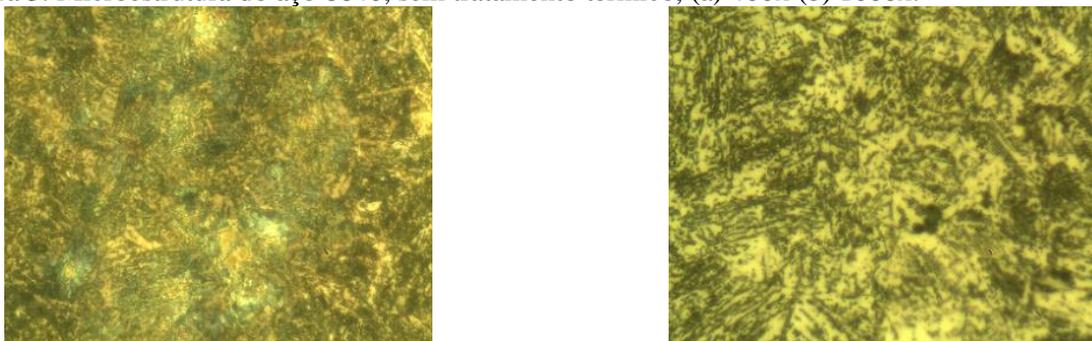
Figura 2. Gráfico com o resultado médio da microdureza Vickers das 5 amostras.



Fonte: Freitas et. al. (2016).

A amostra sem tratamento térmico do SAE 4340 apresenta uma microestrutura com a presença de muitas fases de colorações distintas apesar de bem parecidas. É possível indicar com aumento de 400x, Figura 3 (a), que as fases claras representam as fases dúcteis Ferrita e Austenita, e as várias fases escuras representam as fases mais duras de Perlita e as ligas presentes no aço (Laurito, 2010). Porém, com aumento de 1000x, Figura 3 (b) observamos que existe uma matriz de fase Ferrita envolvendo a fase Perlita.

Figura 3. Microestrutura do aço 8640, sem tratamento térmico, (a) 400x (b) 1000x.

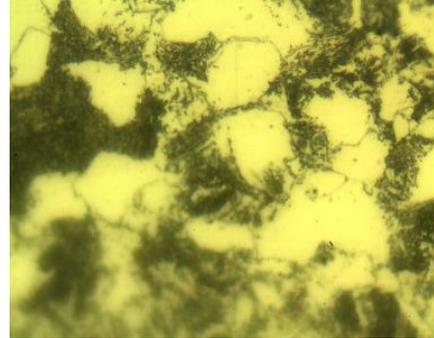
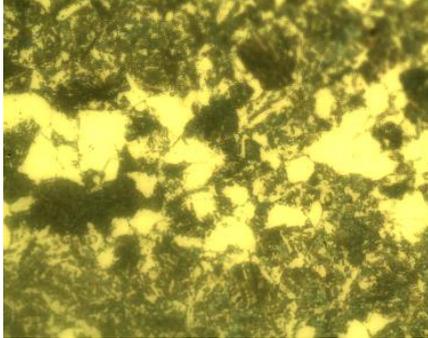


(a)

(b)

Segundo (Callister e Rethwisch, 2013) dois microconstituintes sempre estarão presentes em ligas ferro-carbono hipoeutetóides que são resfriadas lentamente, a Ferrita proeutetóide e a Perlita. Nota-se o aparecimento de faixas de fase ferrítica e perlítica nas amostras estudadas (Figura 4).

Figura 4. Microestrutura do aço 8640, recozimento, 1 hora, (a) 400x (b) 1000x.

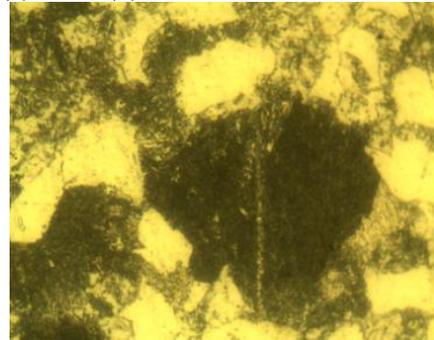
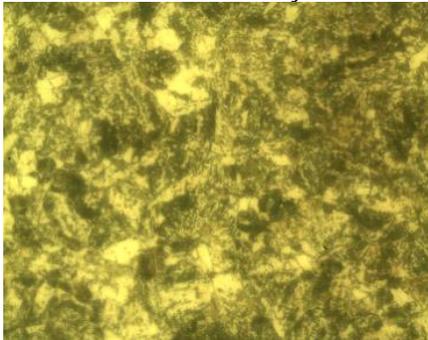


(a)

(b)

Na micrografia do recozimento de 2 (duas) horas (Figura 5), não houve um aumento percentual de Ferrita muito significativo e ainda é possível notar que houve pouco crescimento no tamanho do grão de Ferrita, o que explica o valor médio da microdureza ter permanecido o mesmo do que o recozimento de 1 hora.

Figura 5. Microestrutura do aço 8640, recozimento, 2 horas, (a) 400x (b) 1000x.

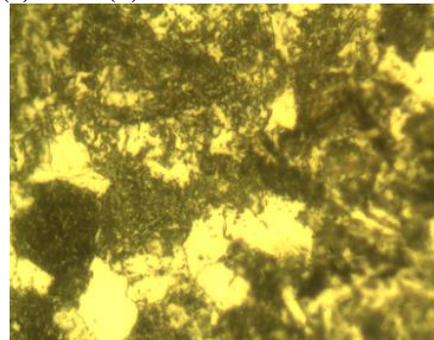
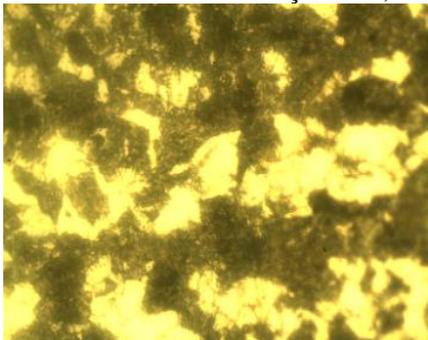


(a)

(b)

No recozimento de 3 horas houve um notável aumento no tamanho dos grãos ferríticos bastante perceptível (Figura 6). Na visualização também foi possível perceber que as faixas antes formadas por uma boa concentração de Perlita foram difundidas em Ferrita proeutetóide, o que ocasionou a diminuição em média de 38HV da microdureza.

Figura 6. Microestrutura do aço 8640, recozimento, 3 horas, (a) 400x (b) 1000x.



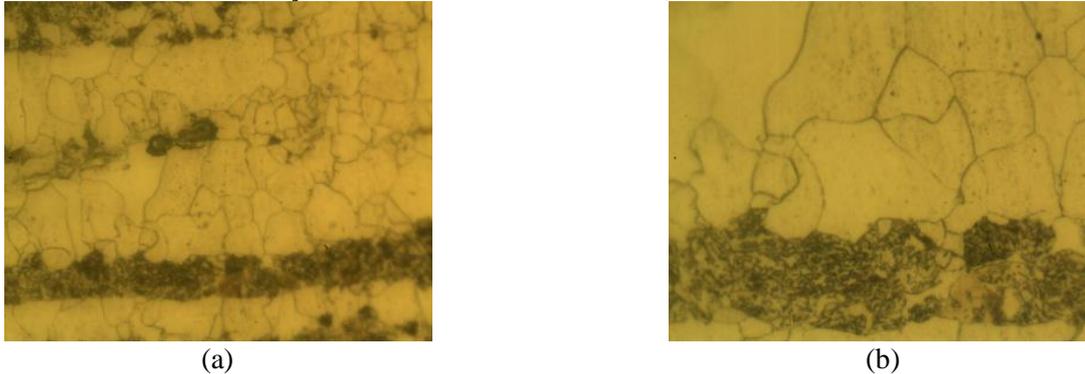
(a)

(b)

Na última micrografia, a do tratamento térmico de recozimento pelo tempo de 4 horas, notou-se a extrema difusão da fase ferrítica e austenítica, onde na Figura 7 é possível observar o decréscimo

da faixa de Perlita. Na ampliação de 1000x, Figura 7 (b), observa-se que os grãos ferríticos tornaram-se extremamente grandes, ocasionando alto decréscimo da microdureza a valores tão baixos quanto 200HV.

Figura 7. Microestrutura do aço 8640, recozimento, 4 horas, (a) 400x (b) 1000x.



## CONCLUSÃO

O estudo oportunizou um conhecimento mais aprofundado em se tratando de tratamento térmico onde foi possível detectar a influência do tempo de recozimento sobre a microestrutura do aço SAE 4340 e sua microdureza, destacando as fases presentes após o tratamento térmico de recozimento que possibilitam a diminuição da microdureza.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade do Estado do Amazonas (UEA), ao Departamento de Materiais da Faculdade de Engenharia de Materiais da Escola Superior de Tecnologia (EST). Agradecimento especial pela oportunidade de participação, do aluno Patrick Souza, como voluntário no Laboratório de Materiais e suporte técnico dos monitores e Professores pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

- Abdalla, A. J.; Anazawa, R. M.; Hashimoto, T. M.; Pereira, M. S.; Souza, G. A.; Carrer, G. R.; Silva, O.M. M. Caracterização microestrutural de aços multifásicos por microscopia óptica com a utilização de diferentes ataques químicos. Disponível em: <<http://pelicano.ipen.br/pibic/ensino/aulas/cbecimat08/302-030.pdf>>. Acessado em: 07/06/2016.
- Callister, W. D.; Rethwisch, D.G. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- Chiaverini, V. Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7 ed. ampl e rev. – São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2012.
- Colpaert, H. Metalografia de produtos siderúrgicos comuns. 4ª edição, Editora Edgard Blucher Ltda. p. 178, 179, 2008.
- Laurito, D. F. Baptista, C.A.R.P, Torresb, M. A. S., Abdalla, A. J. Microstructural effects on fatigue crack growth behavior of a microalloyed steel *ca Department of Materials Engineering, Escola de Engenharia de Lorena, University of São Paulo, Lorena/SP, Brazil b Department of Mechanics, FEG/UNESP, São Paulo State University, Guaratinguetá/SP, Brazil cIEAv/CTA – Instituto de Estudos Avançados, Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial São José dos Campos/SP, Brazil*, 2010.
- Longo, W. P., Monteiro, S. N., Metalurgia – ABM, v.43, n.356, p.406-12, 1987.
- Prado, J. S. A. Tratamento térmico e tenacidade de aços 300M e Maraging 300, Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA/CTA, São José dos Campos, 1990.
- Souza, G. A., Lucente, A.B.F., Abdalla, A.J., Hashimoto, T.M., Pereira, M.S., Microstructural characterization of hard bainite in a medium – carbon and low - alloy steel, SAE Technical Paper Series, S. Paulo, pg.01-06, 2008.

Souza, R. C. Estudo do comportamento em fadiga do aço ABNT 4340 revestido com carbeto de tungstênio pelo sistema HVOF/HP.158p. Dissertação (mestrado em engenharia mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, FEG/UNESP, Guaratinguetá, 1998.