

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DOS CONSTITUINTES DO AÇO SAE 4340 MEDIANTE TRATAMENTOS TÉRMICOS

AUTOR: Lucas Gomes Sevale - **Email:** lucas_sevale@hotmail.com
Universidade de Brasília – UnB, Cln Qd. 208 Bloco C. Ap. 105 – Asa Norte – Brasília - DF

RESUMO: A pesquisa em questão procura avaliar o efeito que os tratamentos térmicos normalização e recozimento, influenciaram na dureza e nos constituintes do aço SAE 4340 qualificado. Para isso, serão realizados ensaios de dureza nas amostras não tratadas e tratadas termicamente, juntamente com ensaios metalográficos em todas as etapas, visando acompanhar todas as alterações que o aço sofrerá ao longo do processo.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento térmico, Ensaio de Dureza, Análise Metalográfica.

ABSTRACT: The research project seeks to assess the effect that the thermal normalization and annealing treatments influenced the hardness and the constituents of the steel SAE 4340 qualified. For this, hardness tests will be performed on untreated samples and heat treated together with metallographic tests at all stages, aiming to follow all the changes that the steel in question will suffer.

KEYWORDS: Heat treatment, hardness test, metallographic analysis.

INTRODUÇÃO

Usualmente, aços são elementos utilizados em praticamente todos os projetos de engenharia, fazendo com que vários estudos sejam realizados para que se conheçam cada vez mais as suas propriedades. Em especial, o aço SAE 4340 utilizado neste trabalho, tem uma vasta aplicabilidade na indústria automotiva, petrolífera e na construção naval, devido a sua capacidade que o material tem de conseguir suportar tensões dinâmicas.

Os aços carbonos são classificados basicamente em três categorias:

Aços de baixo carbono “doce” contendo até 0.25% Carbono.

Aço de médio carbono “meio duro” contendo de 0.25% ≤ Carbono ≤ 0.50%.

Aço de alto carbono “duro” contendo acima de >0.50% Carbono.

Para realizar essa classificação, algumas entidades como a "American Iron and Steel Institute - AISI", e a "Society of Automotive Engineers - SAE"; os classificam por números que descrevem: - o tipo do aço nos primeiros dois números, teor de carbono nos dois últimos números, tratamento térmico, elementos químicos tais como níquel, cobre, manganês e etc., conforme a tabela 01.

Tabela 01 – Sistema SAE E AISI de classificação de aços

Designação		Tipos de Aço
SAE	AISI	
43XX	43XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 1,82% de Ni, 0,5% ou 0,8% de Cr e 0,25% de Mo

Durante o processo de fabricação do aço, uma importante etapa é o resfriamento, ou seja, a solidificação, nesse processo alguns constituintes se formam, são elas: - ferrita/ perlita/ cementita/ martensita/ bainita, que influenciaram no tipo de aço resultante que se vai obter, juntamente com a dureza esperada.

Quando necessária alteração nesses constituintes, um caminho viável são os tratamentos térmicos, que através de uma serie etapas de aquecimento e resfriamento dos aços, nos possibilitam realizar mudanças nas microestruturas.

Os principais tratamentos térmicos são:

Têmpera tratamento térmico feito em aço para obtenção da melhoria de algumas qualidades do metal, modificando algumas propriedades mecânicas tais como aumento da dureza, resistência à tração, limite de escoamento, passando basicamente por três operações, são elas: aquecimento, manutenção de determinada temperatura e resfriamento conforme a figura 01.

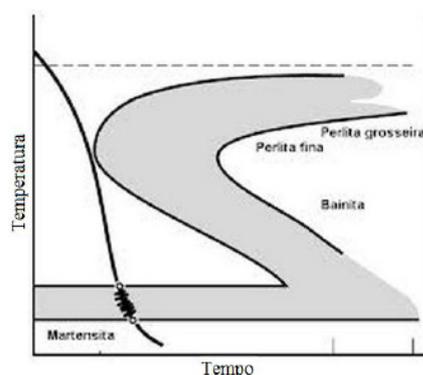


Figura 01 – tratamento térmico tempera

Normalização é o aquecimento do aço a uma temperatura acima da zona crítica, seguindo de resfriamento no ar. Neste caso, pode-se admitir que a temperatura de aquecimento ultrapassasse a linha A1 para aços hipoeutetóides, e para os aços hipereutetóides a linha Acm.

Tem o objetivo de refinar a granulação grosseira de peças de aço que foram laminadas ou forjadas, sendo bem similar ao recozimento, tendo como diferença o

resfriamento, que é feito em um banho à alta temperatura durante um período menor de tempo e uma taxa de resfriamento mais rápida de acordo com a figura 02.

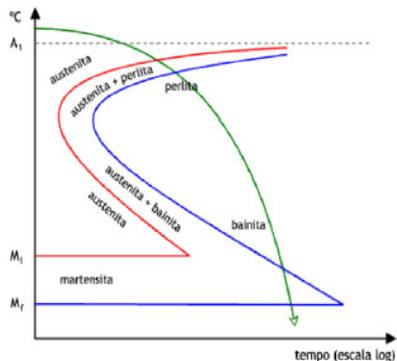


Figura 02 - gráfico da normalização “temperatura x tempo”

Recozimento consiste basicamente no aquecimento à temperatura de austenitização, que varia entre 800°C a 950°C, dependendo do tipo do aço que é utilizado no processo, em seguida, ocorre o resfriamento, o qual é feito de maneira lenta, dentro do próprio forno ou no meio ambiente ou em caixas apropriadas, conforme a figura 03.

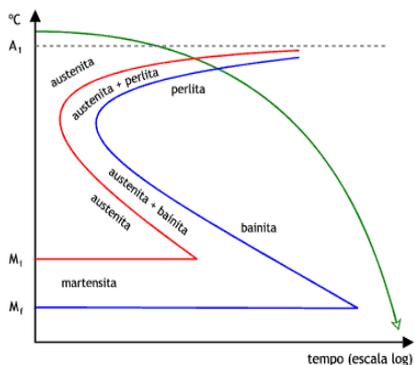


Figura 03 - gráfico recozimento “temperatura x tempo”

Visando alterar propriedades do aço SAE 4340, serão conduzidos tratamentos térmicos de normalização e recozimento, para verificar as possíveis alterações nas constituintes e na dureza do aço.

Para essas análises, será feito ensaios de dureza nas amostras não tratadas e tratadas termicamente, juntamente com análises metalográficas em todas as etapas, visando acompanhar as alterações que vão ocorrer no aço depois dos tratamentos.

METODOLOGIA

Caracterização do Material

O material utilizado para o desenvolvimento deste trabalho é o aço SAE 4340, contendo a seguinte composição química.

Tabela 02 - Composição Química aço SAE 4340

Composição Química	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%
	0.37-0.43	0.15-0.35	0.60-0.80	≤0.025	≤0.025	0.70-0.90	0.20-0.30	1.65-2.00

Para verificar, se a composição química do aço recebido era realmente a esperada para o aço em questão, foi enviado duas amostras para empresa “TORK-Controle Tecnológico de Materiais Ltda”, visando verificar se o presente aço tem os componentes químicos que constam no certificado, tendo o seguinte resultado conforme a tabela 03.

Tabela 03 – Análise Composição Química

	Norma (%)	Certificado	CP1	CP2
Carbono	0.37 - 0.43	0,4	0,39	0,4
Silício	0.15 - 0.30	0,28	0,27	0,3
Manganês	0.60 - 0.80	0,69	0,68	0,68
Fósforo	≤= 0.035	0,02	0,015	0,026
Enxofre	≤= 0.040	0,005	0,007	0,005
Cromo	0.70 - 0.90	0,82	0,77	0,82
Níquel	1.65 - 2.0	1,66	1,93	1,9
Molibdênio	0.20 - 0.30	0,21	0,22	0,22

Com as informações recebidas pela empresa TORK, juntamente com o comparativo feito com a norma de referência em questão para o aço AISI 4340 que é a “DIN W.Nr. 1.6565” podemos certificar que a composição química do aço estudado em questão, está dentro dos padrões aceitáveis, conforme o certificado que o fabricante dispõe.

Norma de referência utilizada pela empresa TORK É “ASTM A 751, ed. 2011”.

Procedimento experimental

Obtenção das Amostras

A Obtenção das amostras “A e B” de duas diferentes barras de ¾ polegadas do aço SAE 4340, para realizar uma comparação entre as durezas e as metalografias das amostras tratadas termicamente e não tratadas, conforme a figura 04.



Figura 04 – Corpos de Provas I e II a serem avaliados

Determinação do sistema de referencia em radial e longitudinal, que nos permitira uma melhor análise da dureza das amostras avaliada, conforme a figura 05.



Figura 05 - Planos utilizados na avaliação da dureza do material

Tratamentos Térmicos

Para realizar as análise de caracterização do aço, foram realizados dois tratamentos térmicos específicos (Normalização/Recozimento), para avaliar possíveis alterações na dureza e nos constituintes das amostras. Segundo a especificação deste tipo de aço, as temperaturas e os resfriamentos indicados para os tratamentos térmicos são:

- Normalização à 900°C, seguido por um resfriamento ao ar.
- Recozimento à 840°C, seguindo de um resfriamento no forno, não maior que 10 horas.

Com base nessas informações, foi realizado o tratamento térmico de normalização, levando a peça ao forno, aquecendo a 930°C, retirando do forno e deixando a peça ser resfriada no ambiente por algumas horas.

E também foi realizado o tratamento térmico recozimento, aquecendo a 900 °C, e deixando resfriar a peça por algumas horas dentro do próprio forno.

Análise Metalográfica

Lixamento: O processo feito no laboratório consistiu na técnica de lixamento semiautomático, que consiste em lixar a amostra sucessivamente com lixas de granulometria cada vez menor (100-1200), mudando-se de direção (90°) em cada lixa subsequente até desaparecerem os traços da lixa anterior. Podemos observar abaixo o processo que foi realizado no laboratório através da figura 06.

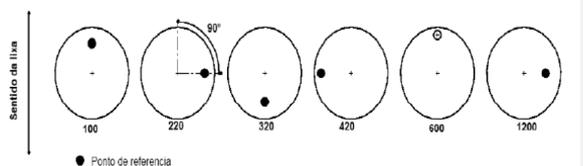


Figura 06 - Método de lixamento com trabalho em sentido alternado

Polimento: foi adotado o processo de polimento mecânico, que é realizado através de uma politriz, com o agente polidor de diamante, devido as suas características de granulometria, dureza, forma dos grãos e poder de desbaste.

Ataque Químico: Um reagente ácido foi colocado em contato com a superfície da peça entre 10 e 15 segundos, causando a corrosão da superfície.

O reagente escolhido em função do material e dos constituintes macroestruturais que se deseja contrastar

na análise metalográfica microscópica, para o aço em questão foi o nital-10% (ácido nítrico 10% e álcool 90%).

Microscopia

A microscopia foi realizada para identificar a microestrutura do aço SAE 4340, após as etapas acima. O microscópio utilizado foi o “OLYMPUS-BX51” que possui lentes de aumento de 50x, 100x, 200x, 500x, 1000x, no departamento de engenharia mecânica SG-09, da Universidade de Brasília.

Após as amostras passarem por todos os procedimentos anteriores, foram levadas à microscopia para fazer a análise de seus constituintes.

Ensaio de Dureza

Os ensaios de dureza realizados tiveram como objetivo avaliar a dureza entre as amostras sem tratamento térmico e com tratamento térmico, para verificar a influência que os tratamentos térmicos causariam na dureza do material. Para isso, foi utilizado o durometro Pantec modelo- RASN-RS, que se encontra no laboratório de engenharia mecânica da UnB.

A avaliação da dureza, foi feita tanto no sentido longitudinal, quanto no sentido axial das amostras, com um penetrador cônico 120°, uma carga aplicada de 100 kgf, e um tempo de penetração de aproximadamente 15s, realizando 5 medidas em cada amostra e 5 medidas em cada plano. Todas essas medidas foram HRc.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios de durezas realizados com os corpos de provas tiveram como objetivo uma análise do comportamento da dureza das amostras com e sem tratamento térmico, analisando então as possíveis alterações que os tratamentos térmicos causariam na dureza do material, tendo como resultado os seguintes valores:

Posição Radial

Tabela 04: Resultados dos Ensaio Radiais de Dureza HRc.

Posição Radial	COM RECEBIDO		NORMALIZADO		RECOZIDO	
	Amostra A	Amostra B	Posição Radial	Amostra A B	Posição Radial	Amostra A B
1	56	56	1	51 50,5	1	47,5 46
2	59	57	2	52 52,5	2	46,5 46,5
3	58,5	57,5	3	51,5 50,5	3	46,5 47
4	57,5	58	4	51 50	4	47 47
5	57,5	58,5	5	51,5 50	5	47 47,5
Média	57,7	57,4	Média	51,4 50,7	Média	46,9 46,8
Desvio Padrão	1,0	0,9	Desvio Padrão	0,4 0,9	Desvio Padrão	0,4 0,5
Cof. Var.	1,8%	1,5%	Cof. Var.	0,7% 1,8%	Cof. Var.	0,8% 1,1%

Análise gráfica do comportamento da dureza no plano radial do material:

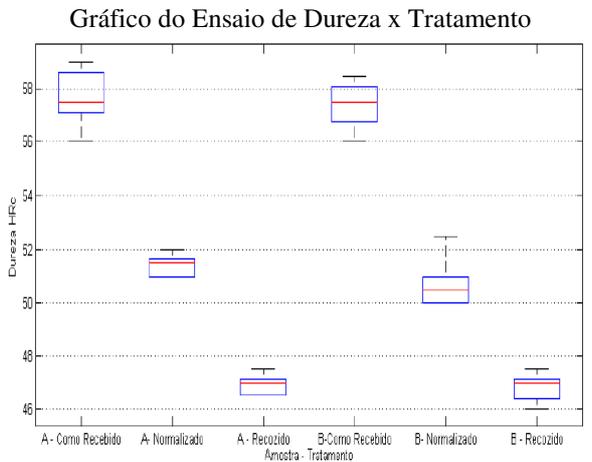


Gráfico 01 - gráfico dos resultados de dureza radiais.

Posição Longitudinal

Tabela 05: Resultados dos Ensaiois longitudinais de Dureza HRc.

COM RECEBIDO		NORMALIZADO		RECOZIDO	
Posição Radial	Amostra	Posição Radial	Amostra	Posição Radial	Amostra
1	52 55,5	1	52 50,5	1	46,5 46
2	52,5 56	2	52,5 51	2	46 47,5
3	57 56,5	3	53 51	3	46,5 47
4	57,5 55	4	51,5 51,5	4	47,5 47
5	57 56	5	51,5 50,5	5	46 47,5
Média	55,2 55,8	Média	52,1 50,9	Média	46,5 47
Desvio Padrão	2,4 0,5	Desvio Padrão	0,6 0,4	Desvio Padrão	0,5 0,5
Cof. Var.	4,4% 0,9%	Cof. Var.	1,1% 0,7%	Cof. Var.	1,2% 1,2%

Análise gráfica do comportamento da dureza no plano longitudinal do material:

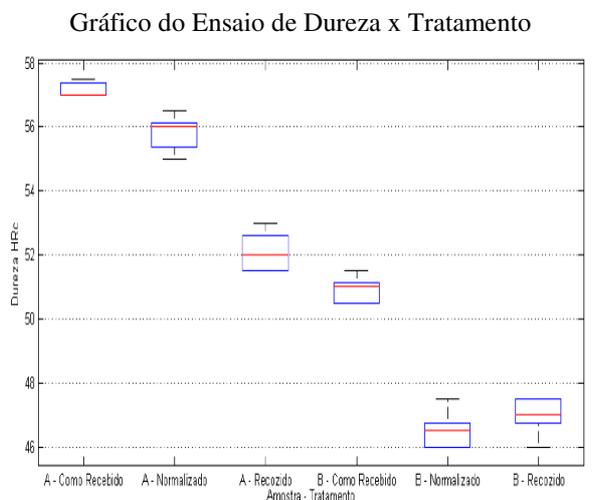


Gráfico 02 - gráfico dos resultados de dureza longitudinais.

As análises metalográficas das amostras não tratada termicamente “NTT”, e as amostras tratadas

termicamente “TT” normalizadas e recozidas, seguem abaixo, tanto para análise radial como longitudinal.

Amostras não tratada termicamente – NTT

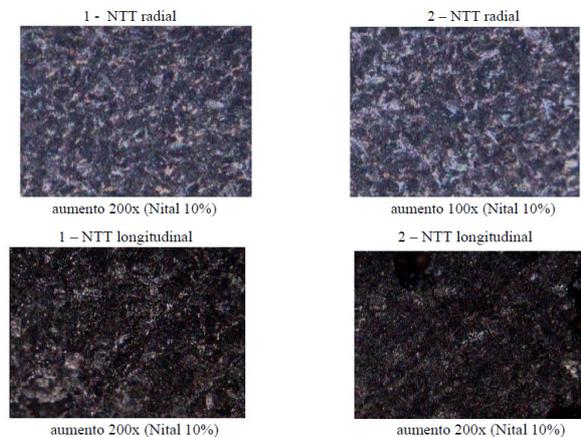


Figura 07 - Constituintes: Ferrita (preto), bainita (branco) das amostras radial e longitudinal.

Amostras tratada termicamente – TTNormalização

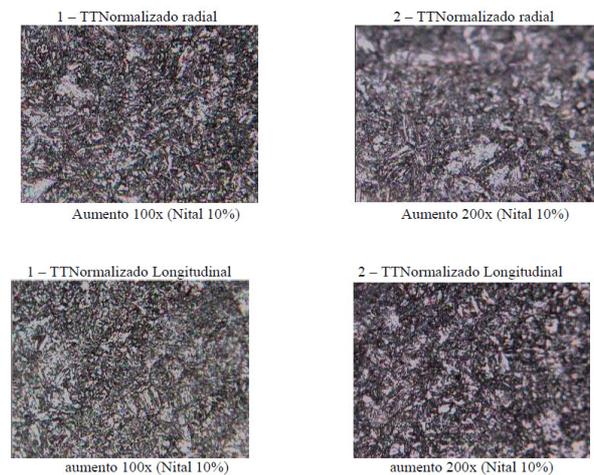


Figura 08 – amostras tratadas termicamente normalizadas

Amostras tratada termicamente – TTRecozimento

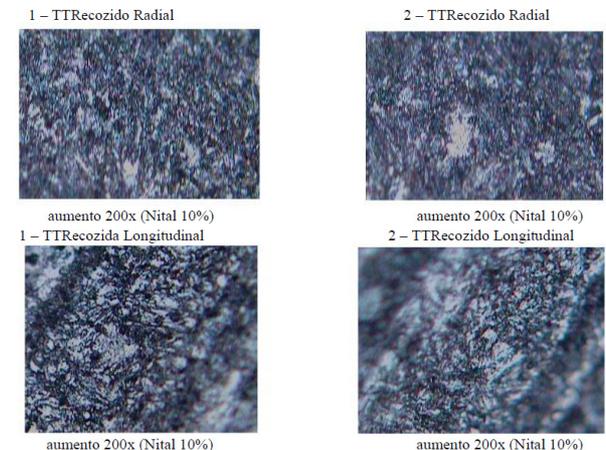


Figura 09 – amostras tratadas termicamente recozidas

CONCLUSÃO

Podemos notar através da análise química emitida pela empresa TORK, que as amostras do aço SAE 4340, que foram utilizados, estavam dentro do esperado para esse material, uma vez que comparado com o certificado do aço recebido, o padrão estava dentro do aceitável.

A dureza medida em questão se comportou conforme o esperado para esse material $\approx 56 HRC$. De acordo com que os tratamentos térmicos foram realizados, pode-se observar, tanto pela média, quanto graficamente uma diminuição dos valores, quando normalizado $\approx 51 HRC$, e quando recozido $\approx 46 HRC$, nos permitindo verificar o quanto que os tratamentos térmicos que foram realizados nas amostras nos auxiliam na diminuição na dureza do material.

As análises metalográficas das amostras, nos mostram as constituintes do material conforme recebido Ferrita (preto), bainita (branco), e as alterações destes de acordo com os tratamentos térmicos Perlita (escuro), e bainita (claro), juntamente com um contorno de grão mais refinado.

Com os resultados obtidos acima, notamos que uma vez o tratamento térmico realizado de maneira correta é possível verificar alterações tanto na dureza quanto nos constituintes. Essas mudanças são importantes quando se usa componentes mecânicos de alto grau de responsabilidade que pode exigir um pouco mais dos materiais empregados nos projetos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.
Agradeço aos meus pais Sergio e Fatima por sempre me apoiarem em todos os momentos de dificuldade.
Agradeço ao professor Jorge da UnB por acreditar que era possível realizar esse projeto.

REFERÊNCIAS

- Da Silva, F. Valdinei, Influência da austenita retida no crescimento de trincas curtas superficiais por fadiga em camada cementada de aço sae 8620 – (1997).
- Jr. D. Callister, William, Ciência e engenharia de materiais uma introdução, LTC (sétima edição)
- COLPAERT, Hubertus, Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns, Editora Edgard Blucher LTDA (3 edição)
- CHIAVERINI, Vicente. Aços e Ferros Fundidos. 4ª ed. Associação Brasileira de Metais, 1979.
- SOUZA, Augusto Sérgio de. Composição Química dos Aços. 2ª ed. Editora Edgard Blütcher, 2006.
- FREIRE, José de Mendonça. Fundamentos de Tecnologia Mecânica: Materiais de Construção Mecânica. Editora LTC, 1983.
- SOUZA, S. A. Ensaio mecânicos de materiais metálicos. 3.ed. São Paulo: Editora Edgard

- Blücher LTDA, 1977. 216p.
- COUTINHO, Telmo de Azevedo. Metalografia de Não-Ferrosos, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo – 1980.
- HERNANDEZ, A. F. Estudo da influencia da criogenia na resistencia ao desgaste abrasivo do aço ASTM 743 Tipo CA6NM – Dissertação de Mestrado, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília DF, 2009.
- NORTON, R.L. Projeto de Máquinas, 2 Ed. 2004
- FREIRE, J.M. Materiais de Construção Mecânica, Rio de Janeiro – LTC, 1983
- SILVA, A.L.da Costa, 1953 – Aços e ligas especiais/ 2ª ed. 1988
- PARRISH, G. (1980). The influênce of microstructure on the properties of case-carburized components. Ohio, ASM.
- SILVA, V.F. Influência da austenita retida no crescimento de trincas curtas superficiais por fadiga em camada cementada de aço SAE 8620. São Carlos, 1997. 27
- Bressan, J.D. Estudo da resistência ao desgaste de aço AISI 422 tratado termicamente, nitretado e com revestimentos aspergidos de carboneto de cromo e níquel.
- CHAUSSIN, C., HILLY G. Metalurgia – 1967, eda Ediciones Urmo

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

O autor Lucas Gomes Sevale, é o único responsável por este artigo.