

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES METALGRÁFICAS DO AÇO SAE 1045 NOS PROCESSOS TÉRMICOS DE NORMALIZAÇÃO, REVENIMENTO E TÊMPERA

Gabryella Neres De Mori¹, Lorena Bertranda Cesconeti²

1. Graduanda de Engenharia Mecânica na Faculdade Brasileira.
2. Docente da Faculdade Brasileira.

RESUMO

Visando a melhoria das propriedades mecânicas do aço, os tratamentos térmicos possibilitam que o aço seja tratado de acordo com as especificações de aplicação necessárias. De forma bastante usual, o aço SAE 1045 é largamente aplicado em ferramentas, sendo um aço de boa usinabilidade. Sua composição química é de aproximadamente 0,45% de carbono e até 0,40% de silício, permitindo que seja um aço de fácil aplicação. Os tratamentos de têmpera, recozimento e normalização visam o aumento de dureza, alívio de tensões, aumento de ductilidade e usinabilidade. As micrografias correspondentes aos tratamentos térmicos são confirmadas, sendo martensita, perlita fina e grossa e ferrita. Pode-se apresentar, então, que o aço tratado correspondeu às expectativas sobre sua micrografia e também apresentou resultados que evidenciam o aumento significativo de dureza quando relacionados ao meio de resfriamento. A apresentação da micrografia e valores de dureza ainda mostram as características para as possíveis aplicações do material ensaiado.

Palavras chave: Aço. Tratamentos térmicos. Metalografia.

ABSTRACT

Looking for the improvement of mechanical properties of steel, thermal treatments enable that the steel can be treated according to the required specifications of application. SAE 1045 steel is widely used in tools, as it is a steel of good machinability. It is made up of 0.45% of carbon and up to 0.40% of silicon, being, because of that, a steel of easy application. The quenching, tempering and hardening treatments aim to increase the hardness, stress relieving, ductility, and machinability. The micrographs of these thermal treatments are confirmed being martensite, upper pearlite, and lower pearlite. It can be seen the treated steel corresponded to expectations about its micrograph, and it also showed results that demonstrated a significant increase of hardness when related to the ways of cooling. The presentation of the micrograph, and hardness values shows characteristics for the possible applications of the tested material yet.

Keywords: steel, heat treatment, metallography

INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, a então era do aço chegou e bons resultados foram obtidos com seu uso: estruturas mais leves, mais possibilidades de ligas, aumentando assim a versatilidade do material. Através do bom uso do aço, o tratamento térmico é realizado com o objetivo de otimizar as características físicas e mecânicas do material para tal finalidade (Ríos, Amaral e Souza, 2016).

Segundo Carvalho *et al* (2004) a melhor definição para tratamentos térmicos é que estes são processos das peças de metais e ligas, através da ação do calor, com o objetivo de modificar suas estruturas e propriedades. Essas propriedades podem ser para maior ductilidade, conformabilidade, usinabilidade, dureza e até mesmo o alívio das tensões provocadas pela conformação e aumento de dureza.

Os tratamentos térmicos podem ser classificados como os mais usuais, têmpera, revenido e recozimento (e normalização quando resfriado ao ar). Os tratamentos de têmpera proporcionam aumento da dureza, por exemplo, pois seu meio e velocidade de resfriamento

são bruscos, enquanto o tratamento de recozimento e normalização visam o alívio das tensões com um resfriamento mais lento (COLPAERT, 1975). Os principais agentes influenciadores do tratamento térmico são a velocidade e o meio de resfriamento, pois dentre os processos mais comuns como citados, as propriedades obtidas serão definidas pelo tipo de resfriamento como salmoura, água, ar ou no próprio forno e a velocidade que a peça levará para se resfriar por completo em algum dos meios observados.

O aço SAE 1045 possui sua aplicação muito ampla, encontrado em eixos de ventilador, bombas, fabricação de peças e como ferramentas de corte em processos de fabricação (Azevedo, 2002).

Neste estudo, o aço carbono SAE 1045 será o objeto em análise, cujas propriedades são de um aço médio carbono, em torno de 0,45%, contendo algumas ligas de manganês, silício, fósforo e uma pequena porcentagem de impureza como o enxofre. Portanto, o enfoque se dá inteiramente a caracterização do aço após os tratamentos térmicos, alcançando características mecânicas que são correlacionadas com o tipo de tratamento empregado. Tendo o interesse de aplicar os tratamentos e analisar o seu comportamento quando submetidos a esses processos, esta pesquisa tem a finalidade de proporcionar propriedades específicas do material, bem como a sua estrutura metalográfica, contribuindo para a apresentação dos processos de tratamento e a compreensão dos resultados obtidos por meio da análise das informações. Através da análise micrográfica e de dureza, é possível esperar por resultados significativos e objetivos quanto as características citadas, enfatizando melhorias de ductilidade, dureza, resistência mecânica, alívio de tensões e resistência à tração. Além disto, se espera por micrografias convenientes aos tratamentos em estudo, como a perlita fina, perlita grossa, ferrita e martensita, obtidas no aquecimento do aço acima da sua temperatura de austenitização, levando o material a possuir tais microestruturas a partir do seu meio de resfriamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material em análise é o aço SAE 1045, composto por 0,45% de carbono, 0,60 a 0,90% de Manganês e um máximo de 0,40% de silício, podendo ainda ser encontradas impurezas como o enxofre.

Para que as propriedades do aço pudessem ser caracterizadas, quatro amostras com tamanho aproximado de 10x15 mm do aço SAE 1045 foram levadas ao forno pré-aquecido e mantidas aquecidas até 950°C durante 30 minutos no forno para a homogeneização da microestrutura. Os tratamentos térmicos empregados neste estudo, necessitam que a estrutura cristalina do material seja uniforme e obtenham sua transformação para a austenita. O tempo de aquecimento e da transformação da estrutura para a austenita não podem ser ignorados, pois se forem executados de maneira errônea poderá levar à não satisfação dos resultados obtidos.

Na tabela 1 é possível observar a relação das amostras com os tratamentos empregados em cada uma.

Tabela 1 – Relação das amostras com o tratamento térmico

Amostra	Tratamento Térmico	Meio de resfriamento
1	Têmpera	Salmoura
2	Têmpera	Água
3	Normalização	Ar
4	Recozimento	Forno

Foram colocadas as quatro amostras, sendo aquecidas a uma temperatura de 950°C para a austenitização e mantidas durante 15 minutos dentro do forno, como na figura 1, para a homogeneização. Após o tempo esgotar, foram retiradas uma de cada vez. A primeira foi retirada e imersa em um banho de salmoura, retirada após 20 segundos. Esse mesmo procedimento foi realizado para a amostra de têmpera a água. Nas figuras 2 (a) e (b) é ilustrado os recipientes em que ocorreram o banho.



Figura 1 – Forno Sp Spencer®

Para a amostra de normalização, ela foi retirada do forno deixando que o resfriamento acontecesse pela temperatura ambiente, aproximadamente 23°C, como na figura 1. E a última, de recozimento, foi deixada no forno durante 72 horas para que o resfriamento ocorresse de forma lenta e gradativa, de acordo com a queda de temperatura dentro do forno.

Para garantir o melhor uso e efetividade nos procedimentos, é necessário que as faces da amostra estejam perfeitamente paralelas para então embutir as amostras em baquelite de maneira que possam ter maior área para manuseio do material. A figura 2 (a) ilustra o equipamento utilizado para o embutimento, que é a embutidora.



Figura 2 – (a) Embutidora Fortel Digital 40; (b) lixadeira manual; (c) politriz automática.

O equipamento ilustrado na figura 2 (a) tem a função de prensar a baquelite em 1700 lbf com a amostra, aumentar a temperatura até 150°C para derreter a baquelite em 12 minutos, sendo resfriada durante 8 minutos para gerar a peça embutida, de acordo com a figura 3.

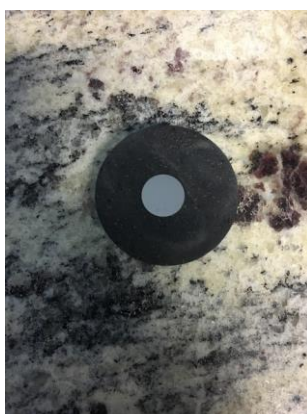


Figura 3 – Amostra embutida

Objetivando a perfeita análise, as amostras passam por etapas de lixamento e polimento. O lixamento é realizado manualmente em uma lixadeira, mostrada na figura 2 (b), mudando a granulometria das lixas de acordo com a retirada de material da superfície, para que a rugosidade seja eliminada e ainda tenha uniformidade na superfície. Foram utilizadas lixas 100, 320, 600 e 1200.

A última etapa anterior a análise micrográfica é o polimento. Ele é responsável pelo acabamento do processo de lixamento proporcionando a real uniformidade da face do aço em análise. A politriz é um equipamento que possui um pano de feltro e movimento rotacional que pode ser observado na figura 2 (c), onde o abrasivo líquido é depositado neste pano e entra em contato com a amostra para polir. Para cada tipo de polimento é recomendado determinado abrasivo. Neste caso, a alumina é de 0,3 μ . Todas as etapas de preparação das amostras foram realizadas no Laboratório de Metalografia da faculdade Multivix Serra, sendo colocados os equipamentos citados até o momento à disposição para os devidos fins.

Desejando a melhor compreensão da microestrutura do aço, se faz o exame metalográfico, podendo ele ser preto e branco ou colorido, dependendo do ataque que o aço for submetido (VUROBI JUNIOR; CINTHO, 2006). Sendo esse estudo com caráter micrográfico, os aspectos internos das amostras são observados com ampliação de 200x.

É possível identificar as fases presentes na amostra, a granulação, o teor aproximado de carbono, bem como algumas inclusões no microscópio e para isso é necessário o uso de nital, para que as características sejam esclarecidas visualmente (Rohde, 2010). Este estudo contemplou o uso de uma substância composta de HNO_3 + Álcool etílico 70%, denotada como Nital 3%. O nital é um reagente ácido colocado em contato com a superfície por determinado tempo promovendo a sua corrosão, evidenciando os contornos de grão (Rohde, 2010).

Concluindo todas as etapas de preparação das amostras, o exame metalográfico pode ser realizado em um microscópio ótico, disposto de lente de aumento e banco de dados para que as imagens sejam colhidas. Neste estudo o microscópio utilizado foi o Nikon Eclipse MA200, como da figura 4, da Universidade Federal do Espírito Santo, sendo fornecidas as imagens em três diferentes tipos de ampliação, 100, 200 e 500 vezes.



Figura 4 – Microscópio Nikon Eclipse MA200

Definir as características mecânicas é necessário realizar as medidas de dureza em um durômetro (Ríos, Amaral e Souza, 2016). De modo a quantificar essa dureza obtida no material após todas as etapas, foi utilizado um durômetro universal da Arcelor Mittal, que foi cedido para tal medição. A figura 5 mostra o durômetro utilizado.



Figura 5 – Durômetro Universal

A amostra é colocada em uma superfície, como na figura 5, onde o penetrador sofre uma pré carga de 14 kgf na amostra e a partir desse momento que a dureza pôde ser quantificada. A princípio, todas as amostras utilizariam a escala Rockwell C com penetrador cone de diamante, mas foi necessário o uso de outra escala, a Rockwell B para atender as amostras com tratamentos de recozimento e normalização.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Depois que as amostras foram perfeitamente polidas e atacadas com Nital (3%), pode-se observar a sua microestrutura em um microscópio ótico. Para o tratamento de têmpera à salmoura e água é possível observar, na figura 6.

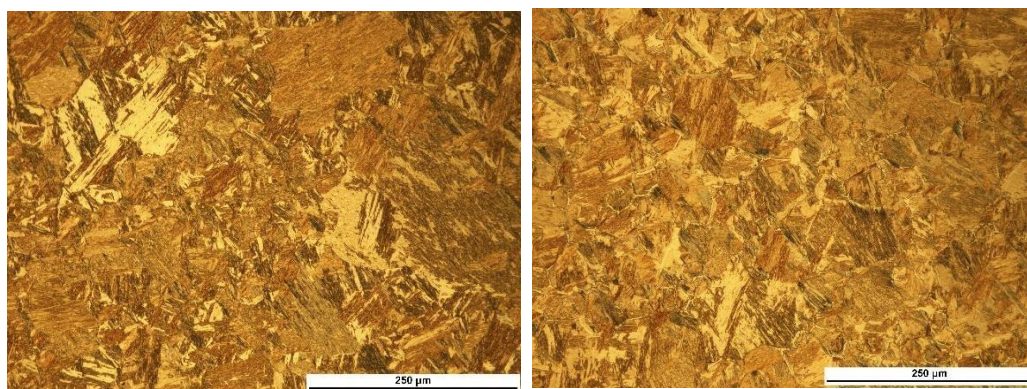


Figura 6 – (a) Têmpera à salmoura; (b) Têmpera à água, ambas ampliações de 200x.

A microestrutura martensítica com grãos mais alongados, semelhantes a agulhas, é evidente mediante o meio de resfriamento que as amostras na figura 6 foram submetidas. Essa estrutura martensítica se diferencia das estruturas apresentadas na figura 7, pois apresenta estrutura cristalina hexagonal e não cúbica de corpo centrado, respectivamente. Isso acontece, pois, a velocidade de resfriamento é rápida, provocando a supersaturação da estrutura austenítica encontrada no aço aquecido à 950°C. Estando de acordo com os parâmetros esperados inicialmente.

Analisando a figura 7, pode-se perceber uma semelhança no tipo de microestrutura, porém a perlita obtida varia pelo modo que resfriou. Na imagem (a) a perlita é fina e na imagem (b) a perlita obtida é grossa. Isso ocorre por conta do meio de resfriamento que o aço sofreu.

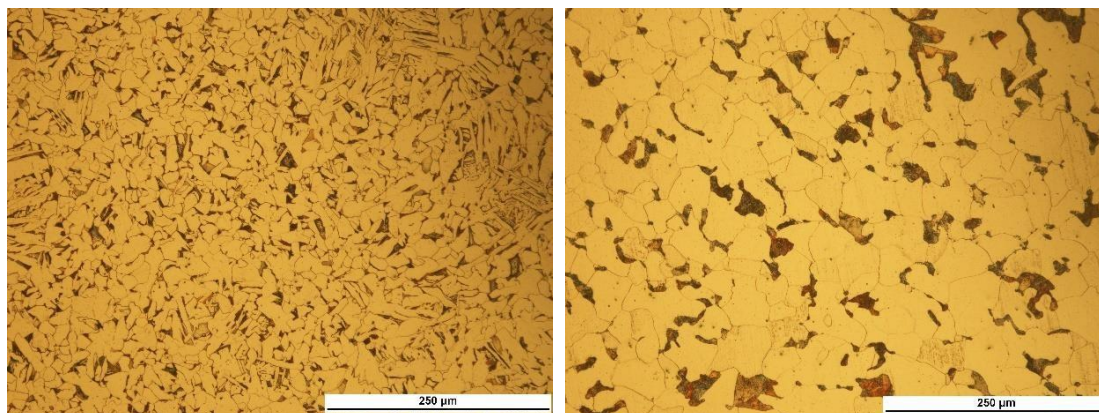


Figura 7 – (a) Normalização, ampliação de 200x; (b) Recozimento, ampliação de 200x.

Fonte: Próprio autor

Os grãos mais finos apresentados na amostra normalizada, na figura 7 (a), ocorre pela formação da perlita durante o resfriamento. Por este resfriamento ser mais rápido do que a amostra recozida na figura 7 (b), a quantidade de ferrita apresentada é maior, fazendo com que a perlita que se origina tenha sua característica mais laminar, sendo mais fina que a perlita obtida no recozimento. Todas essas características são esperadas e indicam que após os tratamentos, as amostras tenham boas propriedades mecânicas para sua aplicação.

Com a análise das imagens anteriores é possível ter uma noção de qual amostra terá mais dureza, resistência mecânica ou ductilidade. Porém, a quantificação no ensaio de dureza, na tabela 2, comprovara que a dureza, principalmente, diminui da têmpera a salmoura, têmpera a água, normalização para o recozimento, respectivamente.

Tabela 2 – Dureza das amostras tratadas Rockwell C

Tipo de tratamento	Teste 1 (HRC)	Teste 2 (HRC)	Teste 3 (HRC)
Têmpera à salmoura	38,9	40,7	41,2
Têmpera à água	36,6	40,6	40,7
Normalização *	1,4	-	-
Recozimento *	1,4	-	-

De acordo com o que foi mostrado na tabela anterior, as amostras que tiveram os tratamentos de recozimento e normalização não puderam ter sua dureza quantificada pelo método e tabela das durezas anteriormente testadas, Rockwell C. O motivo se dá pelo tipo do tratamento, sendo o seu meio de resfriamento menos brusco e levando ao material a obter propriedades mecânicas de mais usinabilidade, ductilidade e tensões aliviadas. Na escala da dureza Rockwell C, é desconsiderado os valores abaixo de 10 HRC e é submetido a uma nova escala, Rockwell B, permitindo a quantificação da dureza obtida por meio dos tratamentos térmicos.

Na tabela 3 é possível observar um alto valor de dureza Rockwell B, atendo aos valores de aceitação para a escala.

Tabela 3 – Dureza das amostras tratadas Rockwell B

Tipo de tratamento	Teste 1 (HRB)	Teste 2 (HRB)	Teste 3 (HRB)
Normalização	67,2	71,3	70,7
Recozimento	45,7	57,4	52

Já em uma outra escala, na tabela 3, se observa o elevado número na dureza HRB, sendo a amostra normalizada ainda mais dura do que a recozida, pois no recozimento o seu resfriamento foi significativamente mais lento do que na normalização, resfriada ao ar.

TABELA DE CONVERSÕES DE DUREZAS

Dureza Rockwell "C"	Dureza Brinell	Dureza Vickers	Dureza Rockwell "A"	Dureza Rockwell "B"	Dureza Rockwell "D"	Dureza Shore
HRC	HB	HV	HRA	HRB	HRD	HS
68	---	940	85,6	---	76,9	97
67	---	900	85,0	---	76,1	95
66	---	865	84,5	---	75,4	92
65	739	832	83,9	---	74,5	91
64	722	800	83,4	---	73,8	88
63	705	772	82,8	---	73,0	87
62	688	746	82,3	---	72,2	85
61	670	720	81,8	---	71,5	83
60	654	697	81,2	---	70,7	81
59	634	674	80,7	---	69,9	80
58	615	653	80,1	---	69,2	78
57	595	633	79,6	---	68,5	76
56	577	613	79,0	---	67,7	75
55	560	595	78,5	---	66,9	74
54	543	577	78,0	---	66,1	72
53	525	560	77,4	---	65,4	71
52	512	544	76,8	---	64,6	69
51	496	528	76,3	---	63,8	68
50	481	513	75,9	---	63,1	67
49	469	498	75,2	---	62,1	66
48	455	484	74,7	---	61,4	64
47	443	471	74,1	---	60,8	63
46	432	458	73,6	---	60,0	62
45	421	446	73,1	---	59,2	60

Figura 8 – Tabela de conversão de dureza

Fonte: Adaptada pelo próprio autor (METALURGICA VERA, 2011)

TABELA DE CONVERSÕES DE DUREZAS

Dureza Rockwell "C"	Dureza Brinell	Dureza Vickers	Dureza Rockwell "A"	Dureza Rockwell "B"	Dureza Rockwell "D"	Dureza Shore
HRC	HB	HV	HRA	HRB	HRD	HS
30	286	302	65,3	(105,5)	47,7	42
29	279	294	64,7	(104,5)	47,0	41
28	271	286	64,3	(104,0)	46,1	41
27	264	279	63,8	(103,0)	45,2	40
26	258	272	63,3	(102,5)	44,6	38
25	253	266	62,8	(101,5)	43,8	38
24	247	260	62,4	(101,0)	43,1	37
23	243	254	62,0	100,0	42,1	36
22	237	248	61,5	99,0	41,6	35
21	236	243	61,0	98,5	40,9	35
20	236	238	60,5	97,8	40,1	34
(18)	219	230	---	96,7	---	33
(16)	212	222	---	95,5	---	32
(14)	203	213	---	93,9	---	31
(12)	194	204	---	92,3	---	29
(10)	187	196	---	90,7	---	28

Figura 9 – Tabela de conversão de dureza

Fonte: Adaptada pelo próprio autor (METALURGICA VERA, 2011)

As figuras 8 e 9 apresentam o modo como as durezas são convertidas. Neste caso, as durezas de escala Rockwell C e B estão sendo observadas. Pode-se assim confirmar que os valores

obtidos durante os ensaios de dureza também podem ser confirmados. Para as amostras que obtiveram o valor de dureza na escala HRC inferior a 10, obtiveram sua dureza inferior a 90,7 HRB como indicado na conversão, figura 9, levando em consideração o valor mínimo considerado na escala de 10 HRC.

CONCLUSÃO

Após todas essas definições pode-se concluir que o aço ensaiado, aço 1045, correspondeu aos parâmetros esperados antes mesmo dos ensaios. Muito tem se destacado a respeito da mudança dos valores numéricos obtidos no ensaio de dureza no que diz respeito ao meio de resfriamento em que cada amostra foi submetida. Confirmou-se que, de acordo com as bibliografias, quanto mais o meio de resfriamento for brusco, maior será a dureza obtida no material. Para os valores de dureza menores, e até na outra escala apresentada na tabela 3, foram atendidas as expectativas de alívio de tensões, aumento da ductilidade, tenacidade, boa resistência a fratura e mecânica. Outro fator importante durante toda a pesquisa, foi o tempo que as amostras estavam expostas à determinado meio, onde evitou-se trincas (no caso da têmpera na água e salmoura) e no recozimento, que ficou em tempo hábil dentro do forno até ser resfriado por completo.

Quanto a micrografia, em todas as amostras foram obtidas micrografias correspondentes ao tipo de tratamento térmico empregado, classificando o tipo de grão de acordo com seu resfriamento após a consistência da austenita na etapa de aquecimento. As imagens mostram as características dos grãos, podendo ser de fácil identificação.

No ensaio de dureza realizado, pode-se observar que as amostras foram consistentes mediante seu meio de resfriamento. Cada amostra pode ter diferente aplicação pelas propriedades obtidas neste estudo.

Para as amostras temperadas, esse tipo de aço obtido pode ser empregado em peças automobilísticas que possuem característica de boa forjabilidade e para mancais, onde podem absorver parte das vibrações e apresentar boa resistência a fadiga e ao desgaste. Já as amostras recozidas e normalizadas, podem ser aplicadas em eixos de ventiladores, onde podem absorver parte das vibrações emitidas, propriedade oriunda desses tratamentos, e também em elementos de máquinas como parafusos, arruelas, porcas e etc.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Alessandra Gois Luciano de. **Avaliação da técnica da dupla camada da recuperação de peças de aço ABNT 1045**. 2002. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Engenharia Mecânica e Produção, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

CARVALHO, Antônio Rogério Torres et al. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA AGITAÇÃO E DA SEVERIDADE DE TÊMPERA DO MEIO DE RESFRIAMENTO NA DETERMINAÇÃO DE VELOCIDADES CRÍTICAS DE TÊMPERA. In: PROCEEDINGS OF THE 10TH BRAZILIAN CONGRESS OF THERMAL SCIENCES AND ENGINEERING, 10., 2004, Rio de Janeiro. **Proceeding**. Rio de Janeiro: Abcm, 2004. p. 1 - 9.

COLPAERT, H., **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**, 3ª. ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1974.

METALÚRGICA VERA (São Paulo). **Tabela de Conversão de Durezas**. São

Paulo: Metalúrgica Vera, 2011.

NIKON CORPORATION (Japan). **Inverted Metallurgical Microscopes Eclipse MA200 MA100N**. Tokio: Nikon Corporation, 2017. 7 p.

OLIVEIRA, Thiago Luiz Lara et al. EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO SOBRE TENSÕES RESIDUAIS EM PRODUTOS DE AÇO FORJADOS A FRIO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 6., 2011, Caxias do Sul. **Anais...**

. Caxias do Sul: Cobef, 2011. p. 1 - 7.

RIOS, Carlos Triveño; AMARAL, Mariana P. do; SOUZA, Evellyn S.. INFLUÊNCIA DE TRATAMENTOS TÉRMICOS NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO SAE 4140. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS, 22., 2016, Natal. **Anais**. Natal, Rn: Cbecimat, 2016. p. 5797 - 5808. ROHDE, Regis Almir. **Técnicas de metalografia**. Santo Angelo: Lemm, 2010. 30 p.

VUROBI JUNIOR, Selauco; CINTHO, Osvaldo Mitsuyuki. Técnicas metalográficas para caracterização microestrutural dos aços. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERIAS, 2., 2006, Ponta Grossa. **Anais**. Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Ponta Grossa, 2006. p. 1 - 9.