

## TRATAMENTO TERMOQUÍMICO DE CEMENTAÇÃO

THIAGO LINHARES ALMEIDA<sup>1</sup>; ADROALDO JOSÉ SILVA DE MOURA FILHO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudante de Engenharia Mecânica, UNIFOR, Fortaleza – CE, thiagolinhares.a25@gmail.com

<sup>2</sup>Professor da Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Fortaleza-CE, adroaldo@unifor.br

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
4 a 6 de outubro de 2022

**RESUMO:** Este estudo apresenta o tratamento termoquímico de cementação sólida em amostras de aço SAE 1010, microscopia e medição da microdureza Vickers, bem como a análise dos dados obtidos. As amostras foram submetidas a cementação durante 6 e 8 horas, ambas em carvão vegetal, sem a utilização de qualquer outro aditivo. Para a obtenção dos resultados foram necessários, além dos próprios tratamentos termoquímicos, a realização da preparação metalográfica das amostras, para assim tornar possível as etapas de microscopia e medição da dureza. As análises foram realizadas considerando o diagrama TRC do SAE 1010, bem como as microestruturas e valores referentes a microdureza. O estudo tem como objetivo atestar a eficácia das cementações realizadas, por meio da comparação com os dados presentes na literatura e com informações fornecidas pelos fabricantes do aço SAE 1010. Chegando-se a conclusão que as duas cementações foram bem sucedidas, com ênfase para a espessura obtida com a cementação de 8 horas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cementação sólida, microdureza Vickers, micrografia, aços.

## THERMOCHEMICAL TREATMENT OF CARBURIZING

**ABSTRACT:** This study presents the thermochemical treatment of solid carburizing in SAE 1010 steel samples, microscopy and measurement of Vickers microhardness, as well as the analysis of the data obtained. The samples were subjected to cementation for 6 and 8 hours, both in charcoal, without the use of any other additive. In order to obtain the results, in addition to the thermochemical treatments themselves, the metallographic preparation of the samples was necessary, in order to make possible the steps of microscopy and measurement of hardness. The analyzes were performed considering the TRC diagram of SAE 1010, as well as the microstructures and values referring to microhardness. The study aims to attest to the effectiveness of the carburizing carried out, by means of a comparison with the data present in the literature and with information provided by the manufacturers of SAE 1010 steel. Coming to the conclusion that both carburizing were successful, with emphasis on the thickness obtained with the 8-hour carburizing.

**KEYWORDS:** Solid carburizing, Vickers microhardness, micrography, steels.

## INTRODUÇÃO

Visando adequar projetos mecânicos de componentes, as propriedades necessárias as diversas aplicações, utilizam-se os tratamentos termoquímicos que por meio da modificação parcial da composição química da superfície do metal, possibilitam de atender as suas solicitações técnicas, como ocorre com engrenagens que necessitam que a superfície dos seus dentes possua uma alta dureza e resistência ao desgaste, mas também precisam que o núcleo possua ductilidade suficiente para suportar os impactos sofridos sem que ocorram rupturas. Dentre estes tratamentos, o processo de cementação sólida é bastante empregado devido a sua praticidade de realização. A cementação trata-se do enriquecimento superficial de carbono em aços baixo carbono, onde posteriormente submetida a um tratamento térmico de têmpera, produz uma camada de elevada dureza se comparada com o núcleo da peça.

Para a realização deste estudo foram utilizadas amostras de aço SAE 1010. Este aço é classificado como baixo carbono e é geralmente aplicado em componentes estruturais na construção mecânica.

Tabela 1. Composição Química do aço SAE 1010.

Aço ASTM 1010			
C	Fe	Mn	Resíduos
0,08% - 0,13%	99,19% - 99,54%	0,30% - 0,60%	0,08%

Fonte: Gerdau, 2003.

Fundamentando-se na literatura, foram apresentados e analisados os resultados obtidos com a realização dos processos de cementação, análise micrográfica e medição de microdureza em dois corpos de prova distintos de aço SAE 1010.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os corpos de prova utilizados possuíam seção quadrada de ½ pol com 1 pol de comprimento, ambos de aço SAE 1010. As cementações, procedimentos metalográficos e análises de microestrutura e microdureza foram realizados nos Laboratórios de Engenharia Mecânica, na Universidade de Fortaleza (UNIFOR). O aquecimento dos corpos de prova ocorreu em um forno tipo mufla, marca Quimis. Para a realização das cementações efetuou-se o aquecimento dos corpos de prova dentro de um cadinho contendo carvão vegetal até uma temperatura de 950 °C , deixando-os aquecer por 6 e 8 horas, respectivamente. Ao atingir o tempo determinado para a permanência na temperatura de aquecimento, realizou-se a retirada das amostras para dar início ao resfriamento. As duas amostras foram resfriadas em um processo de têmpera direta em um tanque com água agitada, indicando resfriamento drástico para obtenção de martensita e refino de grão no núcleo.

As amostras foram submetidas a preparação metalográfica da seguinte forma: corte com auxílio de um disco abrasivo e resfriamento, por meio de uma cortadora metalográfica, marca AROTEC; embutimento em baquelite, por meio de uma embutidora metalográfica, marca AROTEC; lixamento em uma lixadeira/politriz, marca AROTEC, utilizando lixas de 220, 400, 600 e 1200 Mesh; polimento com pasta de diamante, por meio de uma politriz; e ataque químico com Nital 5%.

As medições de microdurezas Vickers foram realizadas em um microdurômetro da marca Shimadzu,. Foram realizadas medições ao longo da camada cementada, espaçadas de 0,4 mm, até que o nível de dureza atingisse o valor de referenciado aço não tratado. Para a micrografia das amostras foram utilizadas objetivas de 500X e 50X. A microscopia foi realizada em um microscópio ótico, marca Olympus, com sistema de aquisição.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aço SAE 1010 apresenta o diagrama TRC (Figura 1) de acordo com o Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels (1991).

Figura 1. Diagrama TRC para Aço SAE 1010 com curvas de resfriamento.

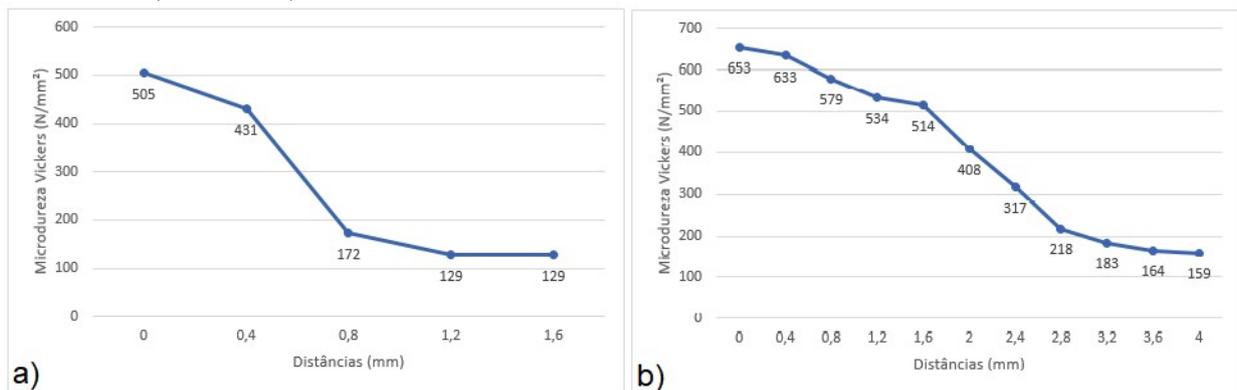
Fonte: ASM International; George F. Vander Voort, 1991

Os valores de microdureza Vickers e gráficos estão presentes na **Figura 2** e Figura 3, respectivamente.

Figura 2. Tabela relacionando os corpos de prova e suas microdurezas obtidas para o aço SAE 1010 ao longo da sua seção transversal.

Aço ASTM 1010		
Distâncias (mm)	Microdureza Vickers (N/mm <sup>2</sup> )	
	Cementação 6 horas	Cementação 8 horas
0	505	653
0,4	431	633
0,8	172	579
1,2	129	534
1,6	129	514
2	---	408
2,4	---	317
2,8	---	218
3,2	---	183
3,6	---	164
4	---	159

Figura 3. Gráficos relacionando as microdurezas obtidas após as cementações ao longo da seção transversal. a) 6 horas. b) 8 horas.



Nota-se que para a amostra de 6 horas realizaram-se apenas 5 medições enquanto para a amostra de 8 horas realizou-se 11 medições, até que o nível de dureza estabilizasse em um patamar de dureza abaixo. Tal fato se dá pela necessidade de realizar medições ao longo da seção das amostras até o momento que as impressões cheguem na região referente ao teor inicial de carbono da peça, onde corresponderia ao final da região de penetração do carbono, dessa forma não exigindo mais do que 5 medições para a primeira amostra.

A **Figura 4** e a Figura 5 apresentam as micrografias das amostras cementadas.

Figura 4. Micrografias das amostras do aço SAE 1010 com ampliações de 50 vezes. a) amostra submetida a cementação durante 8 horas. b) amostra submetida a cementação durante 6 horas.

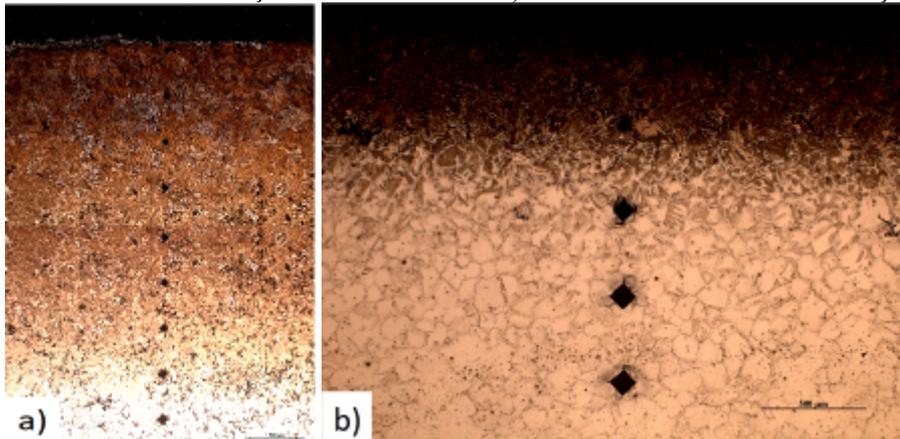
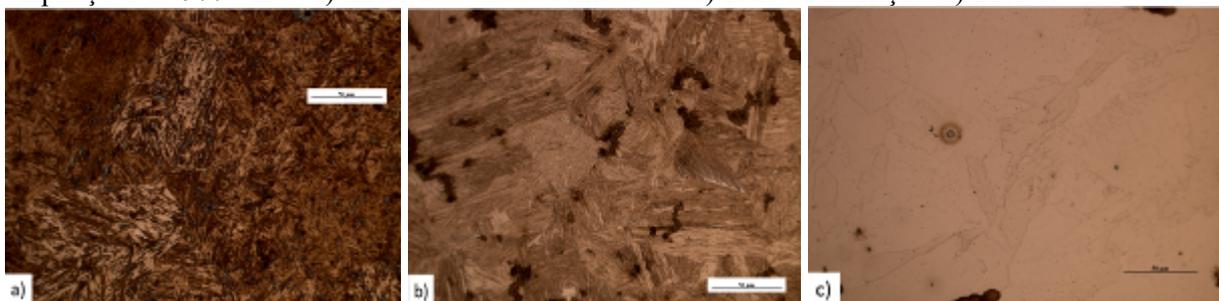


Figura 5. Micrografias da amostra do aço SAE 1010 submetida a cementação durante 8 horas com ampliações de 500 vezes. a) início da camada cementada. b) zona de transição. c) núcleo.



Na Figura 4 devido ao tempo superior de cementação da amostra tratada por 8 horas, uma camada cementada de maior profundidade pode ser evidenciada, quando comparado com a amostra tratada por 6 horas.

A **Figura 4** (a) apresenta a junção de duas micrografias sequenciais de ampliação de 50 vezes, faz-se necessário duas imagens devido ao tamanho da região cementada, além disto, a micrografia apresenta duas regiões com colorações distintas devido as microestruturas formadas ao longo dela. A **Figura 4** (a) possui pequenas impressões ao longo de sua vertical devido as medições de microdurezas realizadas. As micrografias presentes na Figura 4 podem ser apresentadas da seguinte forma: a região superior das micrografias denota a baquelite, região embutida, não sendo de interesse deste estudo; a região logo abaixo, levemente alaranjada, indica a maior concentração de carbono das peças, sendo esta a região cementada, podendo ser visto os grãos de menor tamanho; abaixo há uma zona de transição da região cementada para a não cementada, sendo possível notar o aparente crescimento de grãos; e por fim, há a região inferior das micrografias com coloração mais clara, denotando a menor quantidade de carbono e os grãos maiores.

Considerando os valores obtidos de microdureza Vickers e as micrografias da Figura 5, sabe-se que as regiões mais escuras da amostra são as que apresentam maior quantidade de carbono e conseqüentemente de martensita, devido a têmpera, enquanto ao passo que as regiões ficam mais claras e os valores de microdureza diminuem, indicando uma redução do teor de carbono e conseqüentemente impossibilitando a formação de martensita, sendo possível presumir que há uma formação maior de bainita, perlita fina e perlita grossa a medida que as regiões ficam mais claras e as medições se aproximam do núcleo das amostras, onde está presente apenas a ferrita.

Analisando o diagrama TRC do aço SAE 1010, percebe-se que a sua curva está consideravelmente deslocada para a esquerda, sendo possível notar que para as regiões da peça que permaneceram com 0,10% de carbono ou aproximado, é improvável a formação de martensita, mesmo com o resfriamento em água agitada.

Os gráficos (Figura 3) obtidos com as microdurezas de ambas as amostras, apresentam semelhança entre as curvas presentes. Inicialmente indicando valores elevados de dureza sem uma queda abrupta, contudo, na metade das medições é possível observar um decaimento maior dos valores, correspondendo a zona de transição da camada cementada para a região de teor inicial de carbono, avançando mais nota-se uma tendência de estabilização dos valores de microdurezas, apesar de continuarem caindo.

Considerando que há uma diferença de duas horas entre o tempo de procedimento das duas amostras, há uma notável diferença entre as microdurezas obtidas, isto indica que a penetração de carbono na superfície não ocorre de maneira linear, havendo variações ao longo do tempo de tratamento. Para efeito de estudo, considera-se que a região cementada será de 400 N/mm<sup>2</sup> em diante, sendo este valor que irá determinar a profundidade da camada cementada das amostras. Tal valor é correto de se utilizar considerando que a martensita possui valores próximos de 500 N/mm<sup>2</sup>. Deste modo, é possível afirmar que para a amostra cementada durante 6 horas a profundidade obtida é de aproximadamente 0,4 mm, baseando-se que a partir da segunda medição de microdureza houve um decaimento acentuado. E para a amostra cementada durante 8 horas a profundidade obtida é de aproximadamente 2 mm.

Considerando os valores de microdurezas e as micrográfiás, conclue-se que foram obtidas as mesmas microestruturas ao longo das duas amostras, porém, em profundidades distintas. Na região mais escura das micrográfiás foram obtidas martensita e alguma quantidade de cementita, principalmente na segunda amostra. Os valores de cerca de 600 N/mm<sup>2</sup> próximos da superfície da segunda peça indicam uma quantidade maior de martensita. A medida que aproxima-se dos núcleos das amostras, há uma formação gradual de bainita e perlita, juntamente com a ferrita proeutetóide já presente.

## CONCLUSÃO

Os tratamentos apresentaram resultados satisfatórios nas duas peças, com ênfase para a amostra cementada durante 8 horas, onde segundo os indicadores utilizados houve uma penetração alta de carbono na superfície da peça. Já a amostra cementada durante 6 horas, apresentou uma penetração razoável de carbono, com valores consideráveis de dureza próximos a superfície.

As duas amostras após cementação apresentam as mesmas microestruturas, mas em quantidades distintas.

A cerca dos parâmetros de controle para a realização do tratamento termoquímico da cementação, obteve-se a seguinte conclusão: a temperatura de aquecimento deve ser razoavelmente acima da completa austenitização, a depender do teor de carbono inicial; o tempo de permanência no aquecimento pode ser selecionado de acordo com a penetração de carbono desejada na superfície; e a taxa de resfriamento da têmpera posterior irá depender dos objetivos desejados para a aplicação.

Após a realização deste estudo, torna-se possível demonstrar a influência de alguns fatores durante a cementação, além de entender como controlar estes parâmetros.

## AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Engenharia Mecânica da UNIFOR pela infraestrutura necessária e ao Mestre professor Adroaldo José Silva de Moura Filho pela motivação, tempo, auxílio e dedicação para a realização desse estudo.

## REFERÊNCIAS

ASM INTERNATIONAL; VANDER VOORT, G. F. Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels. United States of America, 1991.

CHIAVERINI, V. Aços e ferros fundidos. 7.ed. São Paulo: ABM, 2002.

CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica: Materiais de Construção Mecânica. Vol. 3. 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

GERDAU. Manual de Aços. 2003. Disponível em: [https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo\\_acos\\_gerdau.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_acos_gerdau.pdf). Acesso em: 13 de agosto de 2022.

SOUZA, S. A. Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos. São Paulo: Edgar Blücher, 1982.