

Estudo sobre as implicações causadas por resfriamentos sucessivos em pequenos volumes de fluido no tratamento térmico de têmpera

Helvio Fernando Guedes¹

Prof. Dr. André Garcia Cunha Filho²

Prof. Ms. Marcelo Damião²

Prof. Rodrigo Predolin²

¹Mestrando em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus Avaré

RESUMO

Este projeto visa investigar as implicações da utilização de pequenos volumes de fluido para resfriamentos sucessivos de corpos em tratamento de têmpera, considerando um tempo de imersão fixado. A proposta é analisar experimentalmente propriedades do aço SAE 1045 em função dos resfriamentos sucessivos realizados em tipos diferentes de fluido. Espera-se com esse estudo obter informações relevantes sobre as alterações na dureza do material mediante os resfriamentos sucessivos. O projeto compreende a fabricação dos corpos de prova, da realização do processo de tratamento térmico de têmpera até a análise de propriedades do material.

Palavras-chave: Tratamento térmico, Têmpera, Dureza.

ABSTRACT

This project aims to investigate the implications of using small volumes of fluid for successive cooling of bodies in quenching treatment, considering a fixed immersion time. The proposal is to experimentally analyze the properties of SAE 1045 steel as a function of successive cooling carried out in different types of fluid. With this study, it is expected to obtain relevant information about changes in the material's hardness through successive cooling. The project comprises the manufacture of specimens, from the performance of the tempering heat treatment process to the analysis of material properties.

Keywords: Heat treatment, Quenching, Hardness.

1. INTRODUÇÃO

O tratamento térmico de têmpera é um processo bastante conhecido e utilizado no setor industrial, cujo objetivo, sob o ponto de vista de propriedades mecânicas, é o aumento do limite de resistência à tração do aço e também de sua dureza (CHIAVERINI, 1986). O fundamento deste processo consiste na alteração micro estrutural do aço através do aquecimento do material acima da zona crítica (fase austenítica) seguido de resfriamento rápido que visa a obtenção da estrutura martensítica.

Não é incomum encontrar no Brasil pequenos empreendedores que trabalhem com processos de usinagem de pequeno porte, englobando a fabricação de componentes variados e inclusive a realização de tratamento térmico (têmpera) de pequenas peças e elementos. O que se observa nesse cenário é que grande parte desses empreendedores realizam processo de têmpera sem um entendimento teórico mais aprofundado, desconhecendo as possíveis implicações negativas na estrutura final de um material temperado sem um controle adequado das variáveis que influenciam o tratamento térmico.

Focando na etapa de resfriamento realizado, o presente trabalho propõe uma análise experimental das implicações da utilização de pequenos volumes de fluido para resfriamentos sucessivos de peças em tratamento de têmpera, considerando um tempo de imersão fixado. A ideia é averiguar a dureza do material e sua microestrutura em função dos resfriamentos sucessivos. Dessa análise, espera-se obter informações relevantes sobre as alterações nas propriedades do material.

2. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem com objetivo geral uma análise experimental das implicações da utilização de pequenos volumes de fluido para resfriamentos sucessivos de peças em tratamento de têmpera, considerando um tempo de imersão fixado, buscando averiguar a dureza do material e sua microestrutura em função dos resfriamentos sucessivos.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Fabricação dos corpos de prova em formato cilíndrico para tratamento térmico de têmpera;
- b) Realização do tratamento de têmpera, com os corpos de prova colocados no forno, seguido de resfriamentos sucessivos em um mesmo volume de fluido; Obtenção dos valores de temperatura do fluido no momento da retirada do corpo de prova;
- c) Análise da dureza do material e de sua microestrutura em função dos resfriamentos sucessivos

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Aços são ligas de ferro-carbono com alguns resíduos de outros elementos que são adicionados no decorrer do processo de fabricação (CHIAVERINI, 1986). Existem alguns tipos fundamentais de aços, são eles o Aço Carbono e o Aço Liga.

Os aços são classificados de acordo com sua família e teor de Carbono segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR NM 87 que também é a mesma utilizada pela American Iron and Steel Institute (AISI) e pela Society of Automotive Engineers (SAE) (COLPAERT, 2008)

Têm-se como destaque as seguintes fases no diagrama:

- Ferrita, ou Ferro – α , nesta fase o material se encontra macio e com ductilidade elevada. Sua estrutura é cúbica de corpo centrado (CCC) e em temperaturas inferiores a 770° C ele apresenta propriedades ferromagnéticas.
- Austenita, ou ferro γ , sua estrutura é cúbica de fase centrada (CFC). Em suas temperaturas de estabilidade (912°C e 1394°C) a austenita também é macia e dúctil sendo bastante utilizada nos processos de fabricação de laminação e forjamento dos aços, onde as temperaturas são iguais ou superiores a 1100°C. Diferentemente da ferrita a austenita não é ferromagnética.
- Ferro – δ , acima da temperatura de 1394°C, a austenita não mais se encontra na forma estrutural mais estável do ferro, pois retorna a sua estrutura CCC, dando característica ao ferro – δ , por ter semelhança ao ferro α , exceto quanto à temperaturas. Normalmente é conhecida

como ferrita- δ nesta estrutura devido as temperaturas elevadas. A solubilidade do carbono é maior que na ferrita- α .

Fe₃C – Carbeto de ferro (cementita), o carbeto de ferro nas ligas de ferro carbono é formado quando o carbono excede o limite de solubilidade, tendo assim uma proporção de átomos de ferro e carbono 3 para 1. Comparado com outras fases como a austenita e a ferrita, a cementita é a mais dura, devido a presença de carbeto de ferro na ferrita, ocasionando também um aumentando na resistência mecânica dos aços.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CORPOS DE PROVA

Os corpos de provas para o tratamento térmico de têmpera foram confeccionados a partir de barras de aço SAE 1045. Os corpos têm formato cilíndrico e suas dimensões foram estipuladas visando baixo custo de aquisição com material e facilidade de disposição dos corpos dentro do forno. A Figura 1 apresenta os corpos de prova utilizados neste trabalho com suas respectivas dimensões, sendo ½" de diâmetro por 1" de comprimento. A Figura 8 também mostra os pontos adotados para a medição de dureza bem como a seção do corpo para análise metalográfica.

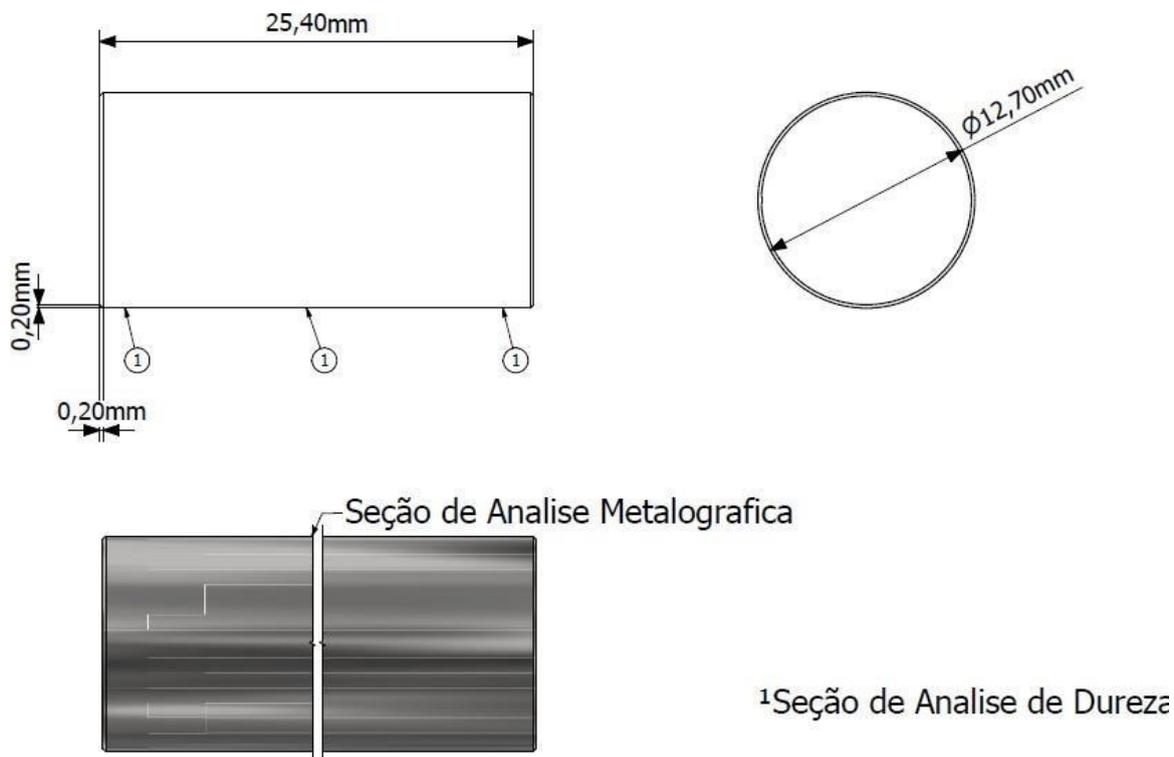


Figura 1: Dimensões dos corpos de provas utilizados no presente trabalho.

Fonte: *Próprio autor.*

O procedimento de confecção dos corpos de prova compreendeu o corte do material, por uma serra-fita, em dimensões próximas às desejadas, após usinadas em um torno mecânico convencional, para melhor acabamento. Os procedimentos de cisalhamento (corte) e usinagem foram executados com o uso de líquido refrigerante na tentativa de que a temperatura gerada através do cisalhamento e da usinagem não interferisse na estrutura do material antes de ser realizado o tratamento térmico de têmpera. A confecção dos corpos de prova foi executada com o uso de equipamentos disponíveis na oficina de fabricação mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – câmpus Catanduva (IFSP).

Foram obtidas cinco amostras retiradas diretamente da mesma barra de aço SAE 1045, para cada tipo de resfriamento, totalizando então dez amostras. Foi extraída uma amostra da mesma barra para analisar sua microestrutura. Esta amostra foi utilizada como comparativo com as demais amostras, as quais foram submetidas ao processo de têmpera através de resfriamentos sucessivos em um mesmo volume de fluido, para posterior análises de dureza e microestrutura.

4.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E PROCEDIMENTOS REALIZADOS

O processo de tratamento térmico de têmpera e análise da microestrutura das amostras foram realizados no laboratório de metalografia do IFSP – câmpus Catanduva, onde se encontra um forno com controle digital e um microscópio óptico. A Figura 2 mostra os

equipamentos que foram utilizados para o tratamento térmico e análise da microestrutura das amostras.



Figura 2: Equipamentos existentes no laboratório de metalografia do IFSP – câmpus Catanduva: (a) Forno; (b) Microscópio .

Fonte: *Próprio autor.*

A obtenção da dureza dos corpos de prova não tratados e também dos corpos submetidos ao tratamento térmico de têmpera ocorreu por meio do ensaio de dureza Rockwell, através de um equipamento denominado durômetro que está instalado no laboratório de metrologia do IFSP – câmpus Catanduva. A Figura 3 mostra o durômetro utilizado.



Figura 3: Durômetro de bancada desenvolvido pela DIGIMESS.

Fonte: *Próprio autor.*

Conforme mencionado, uma amostra, foi separada, mantendo-se assim suas propriedades originais, conforme informações fornecidas pelo fabricante. Esta amostra foi utilizada para posterior comparativo com as demais amostras, as quais foram submetidas ao tratamento térmico de têmpera.

Na realização do tratamento térmico, as amostras foram submetidas ao forno elétrico em uma temperatura de 900°C (zona austenítica) por um período de 20 minutos, tempo este estipulado a partir de testes sendo suficiente para homogeneizar todo volume do corpo. Na sequência, as amostras foram submetidas a resfriamentos sucessivos em um mesmo volume de fluido (água), onde o tempo de imersão foi fixado em 30 segundos. Posteriormente, os corpos tratados foram submetidos ao ensaio de dureza Rockwell A. Todo o procedimento realizado no ensaio de dureza Rockwell seguiu a norma ABNT NBR NM ISO 6508-1 (2008). Foram realizadas três medições ao longo da superfície da amostra e uma média dos valores dessas três medições foi obtida.

Após todo o procedimento supracitado, as amostras foram submetidas a uma análise de microestrutura. Foram adotados os procedimentos presentes na norma ABNT NBR 13284 (1995). Com a utilização de uma politriz que se encontra no Laboratório de Metalografia do

IFSP – câmpus Catanduva, todas as amostras foram lixadas com lixas d'água de granulometrias 80, 220, 400, 600 e 1200 mesh, alternado a direção de lixamento de 90° em cada troca de lixa, com o intuito de remover os riscos gerados pela lixa usada anteriormente. Em sequência do lixamento, as amostras foram polidas com pasta de alumina e submetidas ao ataque químico com Nital 2%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DA DUREZA

Com as 11 amostras confeccionados, as mesmas foram submetidas a análise da dureza, onde uma amostra foi separada com o intuito de se preservar as propriedades originais do material, para posteriormente ser comparada com as demais amostras submetidas ao tratamento térmico.

As outras 10 amostras foram separadas para serem submetidas ao processo de têmpera e foram marcadas para que pudessem ser facilmente identificadas segundo a ordem dos resfriamentos sucessivos. A Tabela 1 apresenta os valores obtidos no ensaio de dureza Rockwell A (HRA) realizado nas amostras com as características fornecida pela fabricante.

Tabela 1: Valores obtidos no ensaio de dureza *Rockwell A* nas amostras sem tratamento térmico.

A mostras	Posição Central	Extremidade 1	Extremidade 2
1	61,0 HRA	62,0 HRA	62,4 HRA
2	60,0 HRA	62,4 HRA	61,4 HRA
3	60,0 HRA	60,2 HRA	59,4 HRA
4	59,4 HRA	59,4 HRA	60,4 HRA
5	60,2 HRA	61,0 HRA	62,8 HRA
6	60,8 HRA	60,2 HRA	59,6 HRA
7	62,2 HRA	62,8 HRA	62,2 HRA
8	61,4 HRA	62,4 HRA	62,6 HRA
9	60,4 HRA	59,8 HRA	61,2 HRA
10	62,2 HRA	60,6 HRA	61,8 HRA

Fonte: *Autor*.

As 10 amostras submetidas ao tratamento térmico de têmpera e posteriormente resfriadas sucessivamente foram divididas em dois grupos de 5 amostras. O primeiro grupo (amostras 1 a 5) foi resfriado sem agitação e o segundo grupo (amostras 6 a 10) com agitação manual. Todas as amostras foram inseridas no interior do forno com temperaturas entre 900 °C a 914

°C, ficando em aquecimento por 20 minutos. Após esse período foram iniciados os resfriamentos sucessivos em água. A Tabela 2 apresenta os valores de temperaturas das amostras no momento em que saíram do interior do forno e os valores de temperatura da água para resfriamento da amostra subsequente, segundo os resfriamentos sucessivos.

Tabela 2. Valores das temperaturas obtidas nos resfriamentos sucessivos na água.

Amostras	Tipo de Resfriamento	Temperatura do Forno	Temperatura Inicial do Fluido
1	Sem agitação	908 °C	30,4 °C
2	Sem agitação	905 °C	38,2 °C
3	Sem agitação	910 °C	42,3 °C
4	Sem agitação	914 °C	44,9 °C
5	Sem agitação	912 °C	48,3 °C
6	Com agitação	911 °C	30,4 °C
7	Com agitação	910 °C	35,1 °C
8	Com agitação	910 °C	39,4 °C
9	Com agitação	910 °C	43,6 °C
10	Com agitação	910 °C	47,6 °C

Fonte: *Autor, 2021.*

Os valores de temperatura da água foram obtidos através de um termômetro infravermelho. Nota-se que o aumento de temperatura do fluido, entre a primeira e a quinta amostra de cada processo (sem agitação e com agitação) foi em torno de 58%.

Após realizar o processo de tratamento térmico de têmpera, foram analisadas a dureza novamente, repetindo o mesmo método que foi utilizado para medição de dureza na amostra com as não tratada. A Tabela 3 apresenta os valores de dureza obtidos após o tratamento térmico.

Tabela 3. Valores de Dureza Rockewll A após o tratamento térmico.

Amostras	Posição Central	Extremidade 1	Extremidade 2
1	72,4 HRA	78,4 HRA	78,6 HRA
2	63,6 HRA	70,2 HRA	66,0 HRA
3	62,2 HRA	76,0 HRA	76,2 HRA
4	76,0 HRA	65,0 HRA	78,0 HRA
5	57,8 HRA	62,4 HRA	58,8 HRA
6	79,8 HRA	76,2 HRA	78,0 HRA
7	79,2 HRA	71,0 HRA	79,4 HRA
8	70,8 HRA	70,8 HRA	69,0 HRA
9	70,4 HRA	65,6 HRA	69,6 HRA
10	67,6 HRA	59,6 HRA	62,2 HRA

Fonte: *Autor.*

De maneira análoga ao primeiro procedimento de análise de dureza das amostras não tratadas, os valores médios de dureza de cada amostra tratada (Tabela 3) foram calculados. O

intuito desse gráfico é identificar o comportamento da variação de dureza nos corpos mediante os resfriamentos sucessivos. Percebe-se que nas amostras que foram resfriadas com agitação (amostras 5 a 10) ocorreu uma queda de dureza na medida em que o fluido refrigerante tornava-se mais aquecido em função dos resfriamentos sucessivos. Tal aspecto revela que o processo de resfriamentos sucessivos pode implicar negativamente na variação de dureza do material. No caso das amostras que foram resfriadas sem agitação (amostras 1 a 5) o resultado da diminuição de dureza em função dos resfriamentos sucessivos não é conclusivo. O que se nota é que houve uma queda significativa da dureza comparando-se o primeiro com o quinto corpo de prova resfriado, sendo essa queda em torno de 22%.

Posteriormente à realização do ensaio de dureza nas amostras tratadas termicamente, foi realizada uma análise microestrutural em algumas amostras, sendo elas: as amostras 1 e 5 que foram resfriadas sem agitação, as amostras 6 e 10 que foram resfriadas com agitação e amostra que não foi submetida ao tratamento térmico de têmpera. A Figura 4 mostra as alterações da microestrutura das amostras sofridas mediante os resfriamentos sucessivos.

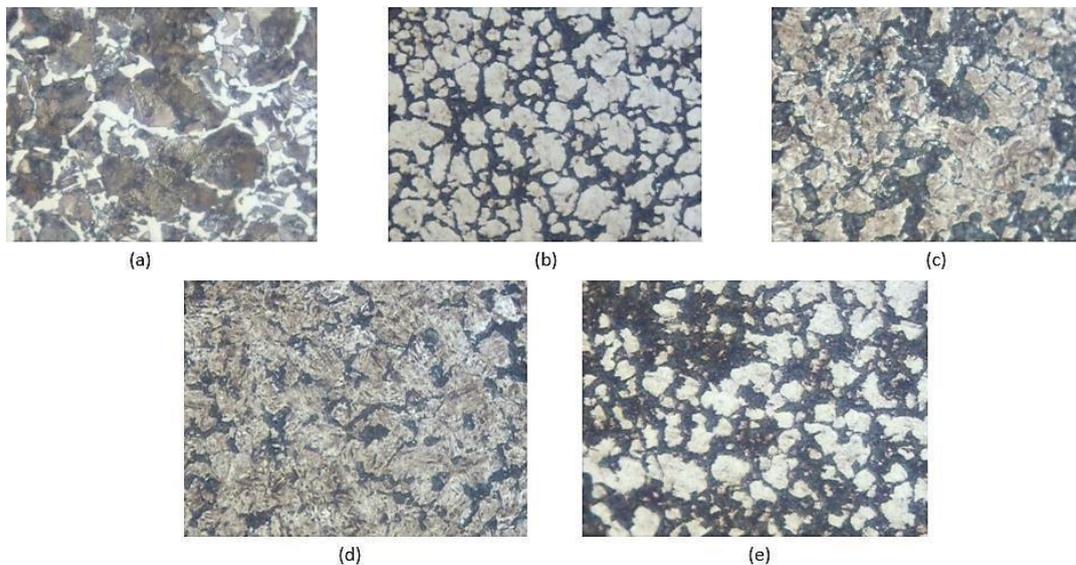


Figura 3: Alterações da microestrutura das amostras mediante os resfriamentos sucessivos: (a) amostra padrão sem o tratamento térmico; (b) amostra 1; (c) amostra 5; (d) amostra 6; (e) amostra 10.

Fonte: *Próprio autor.*

Nota-se na Figura 3 que o processo de resfriamentos sucessivos influenciou a microestrutura do material. A amostra (a) apresenta microestrutura típica do aço com aproximadamente 0,40 – 0,45% de carbono, com microestrutura de colônias de perlita (ferrita mais cementita) envolto por uma rede de ferrita. Essa característica é típica do aço médio carbono recozido; (b) apresenta regiões com morfologia de dentrita, necessitando uma análise com menor resolução para melhor observação da formação dentrítica. Essa microestrutura é típica de resfriamento rápido; (c) apresenta perlita e grãos de ferrita em rede, porém necessita de melhor avaliação, pois há indícios de má preparação da amostra; (d) apresenta formações de agulhas de martensita, característica tipicamente do aço temperado em água; (e) apresenta microestrutura ferrítica e perlítica, onde a região clara é ferrita e a região escura é perlita.

6. CONCLUSÃO

Neste presente trabalho foram confeccionadas amostras a partir de barras de aço SAE 1045, para averiguar a dureza do material e a sua microestrutura em função dos resfriamentos sucessivos e pode-se apresentar neste capítulo as conclusões dos resultados obtidos.

Percebe-se que nas amostras que foram resfriadas com agitação ocorreu uma queda de dureza na medida em que o fluido refrigerante se tornava mais aquecido em função dos resfriamentos sucessivos. Tal aspecto revela que o processo de resfriamentos sucessivos pode

implicar negativamente na variação de dureza do material. Já nas amostras resfriadas sem agitação o resultado da diminuição de dureza em função dos resfriamentos sucessivos não é conclusivo, pois ocorreu uma queda significativa da dureza comparando as amostras.

Conclui-se também que ao realizar o tratamento térmico de têmpera a microestrutura das amostras mediante os resfriamentos sucessivos sofrem alterações.

Portanto, com base na avaliação completa dos resultados apresentados neste trabalho é possível afirmar que os corpos de prova submetido a resfriamentos sucessivos em um pequeno volume de fluido no tratamento térmico de têmpera sofrem alterações na dureza e na microestrutura de amostras de aço SAE 1045.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR NM ISO 6508-1 – Materiais metálicos – Ensaio de dureza Rockell. Parte 1: Método de ensaio (escalas A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)*. Rio de Janeiro, ABNT, 2008.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13284 – Preparação de corpos-de-prova para análise metalográfica*. Rio de Janeiro, ABNT, 1995.

SCHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica: Estrutura e Propriedades das Ligas Metálicas**. Vol. I. 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1986. 266 p.