

# INFLUÊNCIA DA SEVERIDADE DE RESFRIAMENTO NA FASE DE CONVECÇÃO DE ÓLEOS MINERAIS PARA TÊMPERA<sup>1</sup>

Ovidio Richard Crnkovic<sup>2</sup>

Carlos Roberto Sartori<sup>3</sup>

Renata Leal<sup>3</sup>

José Enrique G. Martinez<sup>4</sup>

Eliana B. M. Netto<sup>5</sup>

## Resumo

Os óleos minerais são amplamente utilizados nos processo de tratamento térmico, abrangendo uma ampla faixa de severidade de têmpera. Contudo, a estes óleos são incorporados aditivos com a finalidade de aumentar a taxa de resfriamento na fase vapor, na fase de convecção ou em ambas. Estes aditivos, visando aumento da taxa de resfriamento, a depender da fase em que cada um atua, têm forte influência nos resultados dos tratamentos térmicos. O objetivo do presente trabalho é estudar a influência gerada em peças fabricadas em aço SAE 1050 temperadas em óleos sem e com aditivos, na fase de convecção. Após a têmpera, foram avaliadas as microestruturas obtidas nas diversas peças tratadas, bem como as durezas, após os tratamentos térmicos, provenientes das diferentes severidades de tempera.

**Palavras-chave:** Óleos; Aços; Severidade de tempera; Tratamento térmico.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

<sup>2</sup> *Professor doutor aposentado da Universidade de São Carlos, Gerente da divisão de tratamento térmico da Micro Química Ind. Com. S.A*

<sup>3</sup> *Químico da Micro Química Ind. Com. S.A*

<sup>4</sup> *Metalurgista, Chefe da produção do setor de fornos de atmosfera controlada da Bodycote Brasimet Processamento Térmico S.A.*

<sup>5</sup> *Mestre em Engenharia Metalúrgica, doutoranda da Escola Politécnica da USP, Gerente do Centro Metalúrgico da Bodycote Brasimet Processamento Térmico S.A.*

# 1 INTRODUÇÃO

O tratamento térmico refere-se ao processo de aquecimento de uma peça por um determinado tempo, em temperatura adequada, e posterior resfriamento em meio conveniente, com o objetivo de modificar a sua microestrutura e alterar as suas propriedades mecânicas. Existe uma grande variedade de tratamentos térmicos, entre eles podemos citar a têmpera, que consiste do endurecimento do aço por meio do resfriamento rápido da austenita até sua transformação em uma estrutura bastante dura e frágil, a martensita. O grau de dureza desenvolvido depende do tipo de aço, do teor de carbono e dos outros elementos químicos existentes no material, bem como da severidade do meio de resfriamento utilizado.<sup>(1)</sup>

Existem diversos fatores que influenciam na transferência de calor e nas transformações metalúrgicas oriundas do processo de têmpera. Alguns deles são controlados durante o tratamento térmico e são conhecidos como parâmetros de têmpera, sendo muito deles, relacionados ao controle de distorção das peças temperadas. Na prática, somente poucos destes fatores podem ser realmente controlados. Entre eles, estão a temperatura, agitação, seleção e oxidação do meio de resfriamento, assim como o tamanho, a geometria e a composição do material a ser temperado.<sup>(2)</sup>

O método mais utilizado para descrever, com certa precisão, o complexo mecanismo de têmpera, para um dado fluido refrigerante denominado meio de tempera, é o desenvolvimento de sua curva de resfriamento, sob condições controladas.

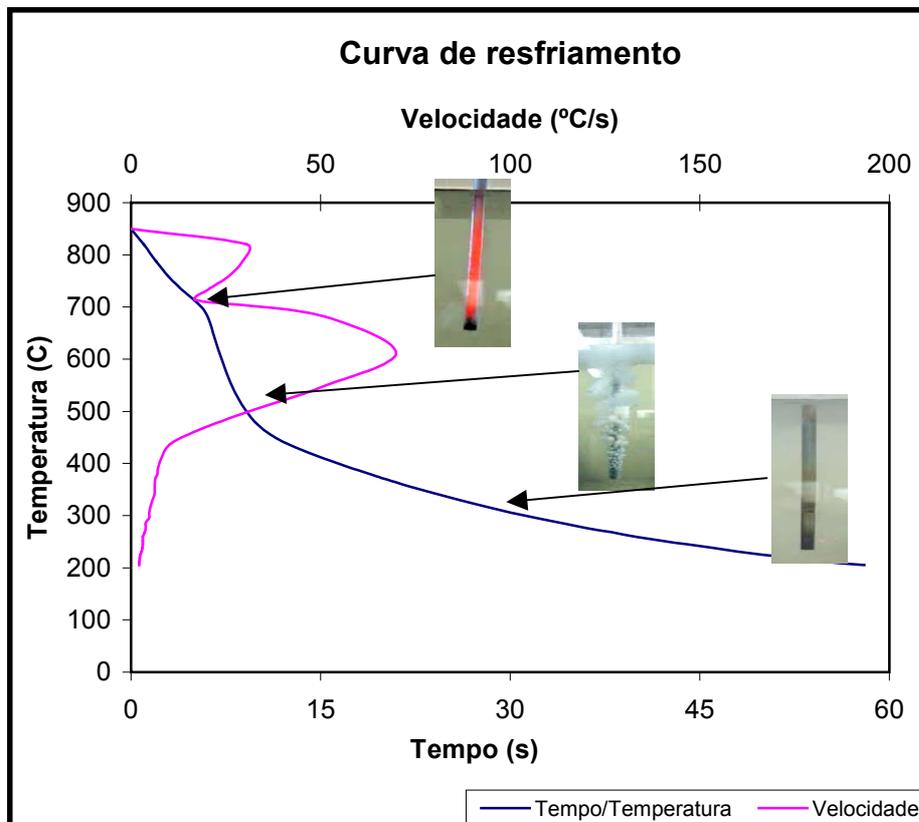


Figura 1 – Curva de resfriamento Tempo x Temperatura e Velocidade de Resfriamento

A curva de resfriamento revela os vários mecanismos de resfriamento que ocorrem durante o processo de têmpera, tais como o início e o fim da formação do filme de vapor, nucleação de bolhas e convecção.<sup>(1)</sup>

Muitos meios de resfriamento não exibem comportamento ideal para todas as ligas disponíveis. Por isso existe a disponibilidade de mais de um tipo de meio refrigerante para a têmpera, entre eles, os óleos minerais que abrangem de 85% à 90% de todos os meios de têmpera utilizados atualmente. Eles são hidrocarbonetos parafínicos e altamente refinados. Formam a base necessária para muitas formulações de óleos de têmpera modernos.<sup>(3)</sup>

A classificação dos óleos de têmpera têm como base sua capacidade de extração de calor, durante o resfriamento, sendo, então, classificados pela velocidade de resfriamento e pela temperatura de uso, em tipos convencionais (70° C/s a 90°C/s), acelerados (90°C/s a 110°C/s) e de martêmpera.<sup>(4)</sup>

Nesses óleos alguns aditivos, muitas vezes, são colocados com o intuito de reduzir a oxidação, intensificar a umectação na fase vapor ou até acelerar na fase convecção. Muitos desses óleos tem viscosidade entre 20 cSt (mm<sup>2</sup>/s) e 40 °C, embora alguns possam apresentar valores acima dos 40 cSt (mm<sup>2</sup>/s) na mesma temperatura.

Um dos fatores mais importantes na característica de um óleo de têmpera é a viscosidade. Óleo com baixa viscosidade geralmente apresentam alta taxa de resfriamento. Isto ocorre porque a baixa viscosidade leva a uma melhor circulação do óleo e conseqüente a uma maior turbulência durante o processo de resfriamento, estimulando a quebra do filme de vapor. Por outro lado, quanto menor a viscosidade, menor será seu ponto de fulgor. O ponto de fulgor de um óleo é a temperatura, mais baixa na qual os vapores do óleo se inflamam, ou seja, a temperatura na qual ocorre ignição.<sup>(3)</sup> Esta temperatura tem importante papel na segurança da utilização dos óleos de tempera nas instalações industriais.

A presença de compostos voláteis no óleo de têmpera prolonga o estágio do filme de vapor e reduz o ponto de fulgor. Assim um óleo base mal formulado pode conter voláteis que irão atrapalhar o desempenho do mesmo na tempera, e aumentar as possibilidades do risco de acidentes.<sup>(4)</sup>

Além das características físico-químicas do óleo, é importante também levar em conta a temperatura de trabalho e o grau de agitação. O aumento da agitação proporciona um aumento da taxa de resfriamento na fase de convecção. Este efeito pode aumentar o risco de empenamento e/ou o aparecimento de trincas nos componentes temperados. Portanto, em situações onde uma excessiva agitação deve ser necessária, visando à promoção do aumento da taxa de resfriamento na fase de resfriamento acelerado, a mesma deve ser minimizada na fase de convecção.<sup>(5)</sup>

As características do óleo de têmpera podem mudar durante o uso por uma infinidade de razões, chegando até a, aumentar a taxa de resfriamento na fase de convecção, aumentando o risco de distorções e trincamento. O óleo, nesse caso, pode estar degradado, e se pode notar o aumento da sua viscosidade e, também, possíveis aumentos de borra e fluidez. Os resultados de muitas reações se manifestam como um depósito de carbono e pela formação de resinas solúveis e ácidos. Os efeitos desse potencial de deterioração podem ser amenizados pela tecnologia de aditivos e um bom sistema de manutenção.<sup>(6)</sup>

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a compreensão da influência da severidade dos meios de resfriamento nos resultados dos tratamentos térmicos de tempera, foram escolhidos 04(quatro) óleos minerais de características distintas, tipo A, B, C e D, um aço comumente utilizado na indústria, ou seja, o aço SAE 1050 e um ciclo de tratamento térmico usual.

A Tabela 1 ilustra as características dos óleos aplicados nos experimentos, utilizando a temperatura de austenitização do ciclo térmico escolhido. As velocidades máximas de resfriamento, bem como o tempo de existência da fase de vapor de cada um dos óleos foram extraídos dos ensaios realizados com o equipamento “Quenchômetro” de propriedade da Microquímica.

**Tabela 1** – Características dos óleos de tempera a 60°C e à temperatura de austenitização das peças de 900°C

Óleos em teste	Velocidade Máxima de Resfriamento (°C/s)	Temperatura Máxima de Resfriamento (° C)	Tempo (s) e Viscosidade (Cst)
A	112	625	6,5 s (V = 44cst)
B	104	674	6 s (V= 140 cst)
C	124	585	8 s (V= 17 cst)
D	112	554	8,5 s (V=19cst)

A Tabela 2 ilustra a composição química do material utilizado nos experimentos. Para a realização dos testes foram escolhidas peças cujas espessuras eram da ordem de 3,75 mm, uma vez que, esta espessura de chapa é largamente utilizada na fabricação de itens que possuem, no seu processo de fabricação, a etapa de estampagem e são, posteriormente, tratados termicamente. A Figura 2 mostra o componente escolhido para a realização das experiências.



**Figura 2.** Peça em aço SAE 1050

A análise química das peças foi efetuada no Centro Metalúrgico da Bodycote Brasimet Processamento Térmico S.A e foram utilizadas duas técnicas para a caracterização dos materiais, sendo a primeira a espectrometria de emissão ótica e a segunda a análise de carbono e enxofre via combustão.

**Tabela 2** – Análise química das peças fabricadas em aço SAE 1050, utilizadas nos experimentos.

<b>Análise Química por Espectrometria de Emissão Ótica</b>								
<b>Elementos</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>Al</b>	<b>Fe</b>
<b>%</b>	0,2102	0,698	0,0252	0,0286	0,0017	0,0092	0,0155	Remanescente

<b>Determinação de Carbono e Enxofre</b>		
<b>Elementos</b>	<b>C</b>	<b>S</b>
<b>%</b>	0,509	0,075

Em todos os ciclos térmicos foram mantidos fixos os parâmetros ligados à temperatura do meio de resfriamento, o tempo de austenitização, o tempo de imersão das peças no óleo, bem como o equipamento onde foram realizados os tratamentos térmicos. Os ciclos térmicos foram realizados nas dependências da Bodycote Brasimet Processamento Térmico S.A em forno elétrico, sob atmosfera inerte e a temperatura do meio de resfriamento foi mantida constante em 60°C, através de resistências elétricas e trocador de calor, instalados no tanque de tempera. A Tabela 3 ilustra o ciclo térmico escolhido. .

**Tabela 3** – Parâmetros do ciclo térmico

<b>Ciclo de tratamento térmico</b>	
<b>Temperatura de austenitização</b>	<b>900°C</b>
<b>Tempo de austenitização</b>	25 minutos
<b>Temperatura do óleo de tempera</b>	60°C
<b>Tempo de imersão no óleo de tempera</b>	10 minutos

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As peças foram caracterizadas antes e após o tratamento térmico nos quesitos dureza, e microestrutura visando evidenciar as diferenças nestas duas características em função do tratamento térmico realizado e do óleo utilizado. As medições das durezas de núcleo e a observação das amostras ao microscópio ótico foram realizadas no Centro metalúrgico Bodycote Brasimet. Foi utilizado para a verificação das durezas o microdurômetro Shimadzu, na escala de dureza Vickers e, para a observação metalográfica, foi usado o microscópio Olympus.

#### **3.1 Resultados Obtidos no Ensaio de Dureza**

A Tabela 4 mostra os valores de dureza obtidos antes do tratamento térmico para as peças fabricadas nos aços SAE 1050.

**Tabela 4** – Resultados do ensaio de dureza nas peças fabricadas em aço SAE 1050, antes do tratamento térmico

<b>Dureza superficial (HV1) - Sem tratamento</b>	
Aço 1050	135 / 137 / 139

A Tabela 5 ilustra os valores de dureza obtidos nos materiais após o tratamento térmico utilizando-se os quatro óleos objeto do estudo após a realização do ciclo térmico aplicado.

**Tabela 5** – Resultados do ensaio de dureza nas peças fabricadas em aço SAE 1050, após o tratamento térmico.

<b>Dureza superficial (HV1) – Após ciclo de tratamento térmico nº 1 (900°C)</b>				
<b>Aço</b>	<b>Óleo 194</b>	<b>Óleo 195</b>	<b>Óleo 197</b>	<b>Óleo 153 C</b>
1050	330 / 348 / 401	515 / 551 / 571	426 / 439 / 453	330 / 339 / 358

### 3.2 Resultados Obtidos na Observação ao Microscópio Ótico

As Figuras 3 e 4 mostram, respectivamente a microestrutura verificada no núcleo das peças e o tamanho dos grãos do aço SAE 1050, antes do tratamento térmico.



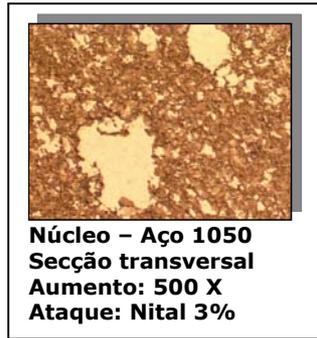
**Figura 3** - Microestrutura



**Figura 4** - tamanho de grão

Os ataques metalográficos com reagente Nital 3% revelaram que, as peças fabricadas em aços SAE 1050 apresentaram microestrutura composta de matriz ferrítica e carbonetos esferoidizados, típica de aços que sofreram um processo de recozimento para esferoidização. Os tamanhos dos grãos, revelados com reagente picral, apresentaram-se finos entre 7 e 8 ASTM.

As Figuras 5 e 6 mostram a microestrutura verificada no núcleo das peças tratadas, conforme o ciclo de tratamento térmico escolhido e temperadas no óleo A e no óleo B, respectivamente.



**Figura 5 -** Microestrutura do núcleo



**Figura 6-** Microestrutura do núcleo

As Figuras 7 e 8 mostram a microestrutura verificada no núcleo das peças tratadas, conforme o ciclo de tratamento térmico nº 1 e temperadas no óleo C e no óleo D respectivamente.



**Figura 7-** Microestrutura do núcleo



**Figura 8-** Microestrutura do núcleo

## 4 DISCUSSÃO

Aditivação do óleo de resfriamento na fase de vapor, aumenta a molhabilidade da peça pelo óleo, cujo objetivo é o aumento da taxa de resfriamento, visando o aumento da severidade de resfriamento do óleo.

A fase de borbulhamento é influenciada pelo tempo da fase vapor e seu objetivo é a obtenção de martensita no tratamento térmico, ou seja, é a fase mais importante na morfologia da microestrutura.

Na fase de convecção há a transferência de calor entre peça e óleo e o objetivo da aditivação nesta fase é a obtenção de martensita menos tencionada, no resfriamento, após passagem pelo cotovelo.

## 5 CONCLUSÃO

1) O melhor resultado de tempera foi obtido com o óleo C, porque possui fase de vapor rápida o suficiente para a extração adequada de calor, ou seja 8,0 segundos e baixa viscosidade, 17 cst.

2) Apesar do óleo B possuir uma fase de vapor menor, ou seja, 6 segundos se comparada com a do óleo C, 8 segundos, sua viscosidade é, praticamente, 10 vezes maior, acarretando uma menor taxa de extração de calor (peça x óleo), dificultando a obtenção de martensita.

3) Hipoteticamente, a temperatura do óleo B poderia ser aumentada com o objetivo de diminuir a viscosidade, porém, tal medida aumentaria o tempo de fase vapor, diminuindo a severidade de tempera.

4) Assim, o que confere ao óleo um bom desempenho na tempera é o conjunto, fase de vapor e a viscosidade, mostrando que estas duas características juntas tem grande influência na severidade de tempera.

## REFERÊNCIAS

- 1 Bergen, R.T. Von, The effects of quenchant media selection and control on the distortion of engineered steel parts. Materials Science Forum, Vols. 163-165, p. 139-150, 1994.
- 2 Liscis, B. Steel heat Treatment Handbook, Cap.3: Hardenability, p. 93-156, Marcel Dekker, Inc., USA, 1997.
- 3 Dicken, T.W. Modern Quenching oils: an overview. Heat Treatment of Metals, vol. 3, p. 6-8, 1986.
- 4 Bashford A., and Mills, A.J. The Development of improved additives for quenching oils using laboratory simulations Heat Treatment of Metals, p. 9-14, 1984.1.
- 5 Hasson, J. Quench system design factors. Advanced Materials and Processes, vol. 148, n.3, p. 429-420, September 1995.
- 6 Asday, S.B. Metal quenching with oils and synthetic media. Industrial Heating, p. 8-19, October 1976.