

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

LETICIA MOL PEREIRA PALMIERI

**INFLUÊNCIA DA IDADE DO ÓLEO DE TÊMPERA NA DUREZA DE DOIS AÇOS
UTILIZADOS EM CAIXAS DE ENGRENAGEM**

BELO HORIZONTE

2018

**INFLUÊNCIA DA IDADE DO ÓLEO DE TÊMPERA NA DUREZA DE DOIS AÇOS
UTILIZADOS EM CAIXAS DE ENGRENAGEM**

LETICIA MOL PEREIRA PALMIERI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Wellington Lopes

BELO HORIZONTE

2018

**INFLUÊNCIA DA IDADE DO ÓLEO DE TÊMPERA NA DUREZA DE DOIS AÇOS
UTILIZADOS EM CAIXAS DE ENGRENAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovado em: _____ de _____ de 2018

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Wellington Lopes – Orientador

Prof.^a Dra. Elaine Carballo Siqueira Côrrea

Prof.^a Dra. Aline Silva Magalhães

RESUMO

O aumento da resistência mecânica de materiais metálicos tratados termicamente por têmpera depende de diversas variáveis, tais como o aquecimento e resfriamento uniformes do material, além das próprias condições usadas para o resfriamento. Considerando esse aspecto, este trabalho analisa a influência da idade do óleo de têmpera em dois aços de composição química diferente, o primeiro de origem Italiana (20NiCrMo2-2) e o segundo de origem Suíça (C45R/1.3646) utilizados em caixas de engrenagem. A resistência mecânica desses aços será avaliada a partir de ensaios de microdureza Vickers e os constituintes identificados mediante técnicas de microscopia óptica (MO) e análise quantitativa de martensita. Os resultados indicam a dependência da dureza dos aços com a idade do óleo, com a composição do aço utilizado e com o diâmetro das amostras retiradas a partir das caixas de velocidades.

Palavras-Chave: Têmpera, Caixas de Engrenagem e Óleo.

ABSTRACT

The increase of mechanical strength of heat-treated metals depends of several variables such as the uniform heating and cooling of the material combined with the conditions of cooling. Considering these facts, this work aims to analyze the influence of the age of the quenching oil on two steels with different compositions; the first steel is Italian (20NiCrMo2-2) and the second one is Swiss (C45R/1.3646) used in gearboxes. The mechanical strength of the steels will be evaluated with Vickers microhardness tests and the constituents indentified by microscopy techniques and quantitative analyses of martensite. The results indicate the dependence of the hardness of the steels with the age of the oil, the composition of the steel and the diameter of the samples taken from the gearboxes.

Keyword: Quenching. Heat Treatment. Hardness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Processo da Têmpera.	12
Figura 2: Gráfico do teor de carbono X Dureza do aço.....	13
Figura 3: Distribuição típica da dureza Rokwell em um corpo de prova para ensaio Jominy.	14
Figura 4: Curvas de dureza para um aço SAE 1090 (0,89%C), em uma série de barras redondas resfriadas em água.....	15
Figura 5: Diagrama para determinação do diâmetro ideal (Di) a partir do diâmetro crítico (D0) e da severidade de têmpera (H) para aços media-liga.	17
Figura 6: Estrutura CCC X CFC	18
Figura 7: Diagrama de fases binário para o sistema ferro-carbono.	18
Figura 8: Curvas TTT.	19
Figura 9: Caixa de velocidade.	23
Figura 10: Fluxograma das etapas.	24
Figura 11: Eixos de transmissão.	26
Figura 12: Microdurômetro ZWICK 3212.	27
Figura 13: Microdurômetro SHIMADZU HMV.....	27
Figura 14: Perfil das amostras.	27
Figura 15: Lixadeiras Arotec Arapol W.	29
Figura 16: Politrizes Arotec Arapol 2V.....	29
Figura 17: Malha de pontos.	30
Figura 18: Malha de pontos sobreposta às micrografias.	31
Figura 19: Comportamento das durezas para aço “C”: aço C45R/1.3646.	32
Figura 20: Comportamento das durezas para o aço “E”: aço: 20NiCrMo2-2.....	33
Figura 21: Comportamento das durezas em óleo novo para o aço “E (20NiCrMo2-2)” e “C (C45R/1.3646)”.	35
Figura 22: Comportamento das durezas em óleo de 8 anos para o aço “E (20NiCrMo2-2)” e “C (C45R/1.3646)”.	36
Figura 23: Fotomicrografias do aço C com diâmetro de 10mm temperado com óleo novo. ...	37
Figura 24: Fotomicrografias do aço C com diâmetro de 10mm temperado com óleo de 8 anos.	37
Figura 25: Fotomicrografias do aço E com diâmetro de 10mm temperado com óleo novo. ...	38
Figura 26: Fotomicrografias do aço E com diâmetro de 10mm temperado com óleo de 8 anos.	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 Geral.....	11
2.2 Específicos.....	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1 Têmpera.....	12
3.2 Temperabilidade e Diâmetro Crítico.....	13
3.2.1 Ensaio Jominy.....	14
3.2.2 Ensaio Grossmann.....	15
3.3 Variáveis da Têmpera.....	17
3.3.1 Temperatura de aquecimento.....	17
3.3.2 Tempo de encharque.....	19
3.3.3 Meios de resfriamento.....	19
3.3.3.1 Gás.....	20
3.3.3.2 Polímeros.....	20
3.3.3.3 Óleos.....	20
3.3.3.3 Água.....	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1 Descrição do produto.....	23
4.2 Materiais.....	23
4.3 Fluxograma das etapas.....	24
4.4 Procedimento Experimental.....	25
4.4.1 Corte das amostras.....	26
4.4.2 Dureza Vickers.....	26
4.4.3 Microscopia Óptica.....	28
4.4.4 Análise Quantitativa de Martensita.....	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1 Distribuição dureza Vickers em função do diâmetro das barras para o aço C.....	32
5.2 Distribuição dureza Vickers em função do diâmetro das barras para o aço E.....	33
5.3 Efeito do tipo de aço na distribuição da dureza Vickers.....	34

5.4 Caracterização microestrutural	36
5.5 Análise Quantitativa de Martensita	39
6 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

Diante do aumento de demanda de bens e serviços requisitados pela sociedade atual, as empresas precisam atualizar e aprimorar seus processos cada vez mais visando sua sobrevivência no atual mundo globalizado e competitivo.

Uma das formas das empresas se diferenciarem é pela busca da melhoria contínua nos produtos oferecidos e principalmente na qualidade dos mesmos, considerada como “o grau de atendimento (ou conformidade) de um produto, processo, serviço ou ainda um profissional a requisitos mínimos estabelecidos em normas ou regulamentos técnicos, ao menor custo possível para a sociedade”. (FRANCO, 2016)

Nas empresas da área de fabricação de peças para o setor de mecânica, a preocupação com a qualidade e segurança das peças produzidas é ainda maior devido a suas aplicações. Hoje para a sobrevivência das mesmas a palavra-chave é confiabilidade do produto para a satisfação do cliente, ou seja, a preocupação com a duração do uso de um produto a partir do momento em que o mesmo entra em operação.

Mais especificamente, empresas que trabalham com aços para a fabricação de diferentes componentes mecânicos, precisam entregar produtos de alta confiabilidade, garantindo as propriedades requisitadas por seus clientes.

Muitos processos utilizados para obtenção das propriedades desejadas para cada aplicação, e um dos mais utilizados, o tratamento térmico que consiste em aquecer e resfriar um material para que sejam alcançadas as propriedades mecânicas desejadas, tais como, dureza e ductilidade sem que haja a modificação do estado físico do material. (SHAEFFER, 2000)

O aço 20NiCrMo2-2 e o aço C45R/1.3646, utilizados para a fabricação dos eixos de caixas de engrenagem, na maioria das vezes, precisa passar pelo processo de têmpera para sua utilização. Este processo é utilizado em aços para aumentar a dureza e a resistência mecânica dos mesmos.

Neste tratamento térmico, um material é submetido a um resfriamento de modo a permitir a formação do constituinte martensita para permitir o aumento da dureza e consequentemente, da resistência mecânica.

A têmpera tem duas etapas: aquecimento e o resfriamento rápido. Inicialmente, o aquecimento tem como objetivo obter a fase austenita que consiste de uma solução sólida intersticial do ferro com estrutura cúbica de faces centradas com o carbono mediante o tratamento conhecido pelo nome de austenitização. Contudo, cada aço tem uma temperatura de austenitização, a qual dependerá da composição química, do estado inicial do mesmo e da respectiva microestrutura existente, como por exemplo, a presença de precipitados.

O resfriamento brusco tem a finalidade de obter a estrutura martensítica, sendo este um dos processos mais importantes da têmpera pelo fato de determinar, efetivamente, a estrutura e, em consequência, as propriedades finais do aço. (CHIAVERINI, 1986)

Os meios de resfriamento mais comumente usados em um tratamento térmico de têmpera são a água e os meios líquidos, sendo que a sua escolha, deve ser feita considerado o tipo de estrutura final desejada a uma determinada profundidade, além do formato da peça. A variação na velocidade de resfriamento pode mudar a estrutura final do aço, resultando em uma peça de baixa ou alta dureza, muito embora outras variáveis também influenciem nos resultados finais. (SPECTRU, 2017 e GRUM; BOZIC; ZUPANCIC, 1999)

Esse tipo de tratamento térmico normalmente é adotado em componentes que requeiram além de resistência mecânica adequada ao uso, resistência à fadiga e ao desgaste, como normalmente ocorre em diferentes peças usadas em veículos. Considerando esse aspecto, neste trabalho será feito o estudo da resistência mecânica de dois tipos de aços usados na confecção de caixas de engrenagens de veículos a partir do uso de um óleo mineral considerado novo e outro com 8 anos de uso.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo geral deste trabalho será investigar a influência do tipo de aço, do diâmetro das barras retiradas ao longo do comprimento de um eixo e da idade do óleo mineral usado no tratamento térmico de têmpera na distribuição de dureza Vickers dos aços 20NiCrMo2-2 e C45R/1.3646 utilizados na fabricação de um eixo de caixas de engrenagem.

2.2 Específicos

- a) avaliar a influência da idade do óleo mineral usado no tratamento térmico de têmpera na distribuição da dureza Vickers de um eixo utilizado em caixa de engrenagem;
- b) investigar o efeito do diâmetro das amostras retiradas ao longo do comprimento do eixo da caixa de engrenagens na distribuição da dureza Vickers;
- c) analisar o efeito do tipo de aço; aço 20NiCrMo2-2 e aço C45R/1.3646, na distribuição da dureza Vickers em função da idade do óleo de têmpera e do diâmetro das amostras retiradas para os ensaios de dureza Vickers.

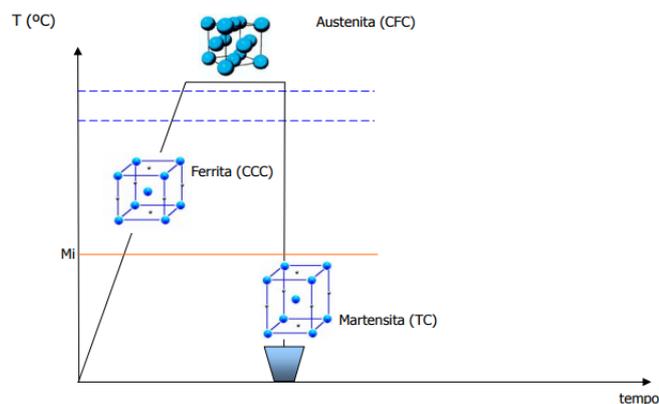
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Têmpera

Não é recente a vontade do homem de descobrir e inventar materiais mais resistentes e de alta qualidade. Desde as primeiras guerras há essa necessidade de armas mais potentes, mais duras e resistentes levando o homem a busca do aperfeiçoamento dessa técnica e da habilidade de trabalhar com o calor. Assim com o passar do tempo surgiu o tratamento térmico, e mais especificamente a têmpera. O mesmo consiste em aquecer e resfriar seja em água, óleo, ar, gás ou em polímeros, um material usando temperaturas pré-definidas a fim de modificar suas propriedades mecânicas. A composição química e a microestrutura dos aços resultam em propriedades mecânicas específicas e diferentes funcionalidades. No entanto, não são os únicos fatores que influenciam em mudanças no material, existem também os tratamentos térmicos, amplamente usados para o controle das propriedades. Os tratamentos térmicos são muito variados, mas basicamente consistem no aquecimento e no resfriamento de um material para alterar suas características. Com uso desses tratamentos pode-se garantir melhor qualidade de um material produzido com mudanças estruturais que ocorrerão em função das necessidades de uso do referido material. (GRUM; BOZIC; ZUPANCIC, 1999)

No caso dos aços, é comum que sejam submetidos ao processo de têmpera que consiste em aquecer um material acima da zona crítica, também chamada de zona de austenitização, mantê-lo nessa temperatura por algum tempo seguido de um resfriamento brusco do material evitando assim, a formação de ferrita, perlita e bainita obtendo a martensita, propiciando o aumento da dureza do material e conseqüentemente, da sua resistência mecânica. (TSCHIPTSCHIN, 2005). O processo de têmpera se encontra esquematizada na figura 1:

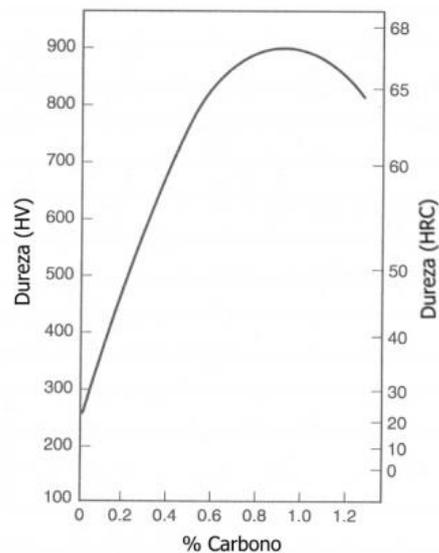
Figura 1: Processo da Têmpera.



Fonte: TSCHIPTSCHIN, 2005.

É válido observar que o efeito da têmpera na resistência mecânica de um material dependerá de diversos fatores, dentre os quais, a composição química do mesmo, em especial do teor de carbono presente no aço. Como exemplo, em aços com elevados teores de carbono (igual ou maior que 1,0% em peso), a dureza obtida para um mesmo meio, tende a ser elevada, mas com pequena ductilidade, como exemplificado na figura 2:

Figura 2: Gráfico do teor de carbono X Dureza do aço.



Fonte: TSCHIPTSCHIN, 2005.

3.2 Temperabilidade e Diâmetro Crítico

No caso dos eixos de engrenagem e em peças de máquinas em geral, os diâmetros tendem a ser diferentes ao longo da seção. Dessa forma, é importante destacar que o núcleo e a superfície serão submetidos às diferentes velocidades de resfriamento, e como resultado dessa condição de processo, apresentarão diferentes valores de dureza.

A temperabilidade é a propriedade que indica o quão capaz um aço é de endurecer por têmpera até determinada profundidade. Quanto maior a temperabilidade do aço, maior a capacidade do endurecimento em relação à profundidade. (TSCHIPTSCHIN, 2005). A temperabilidade é uma propriedade de extrema importância quando se seleciona um aço para cumprir uma função específica. A adequação às propriedades está associada, dentre outras variáveis, à composição química e à microestrutura de um aço.

Neste contexto, os ensaios que avaliam a temperabilidade de um material conseguem determinar a resistência mecânica em função da presença de estruturas desenvolvidas durante

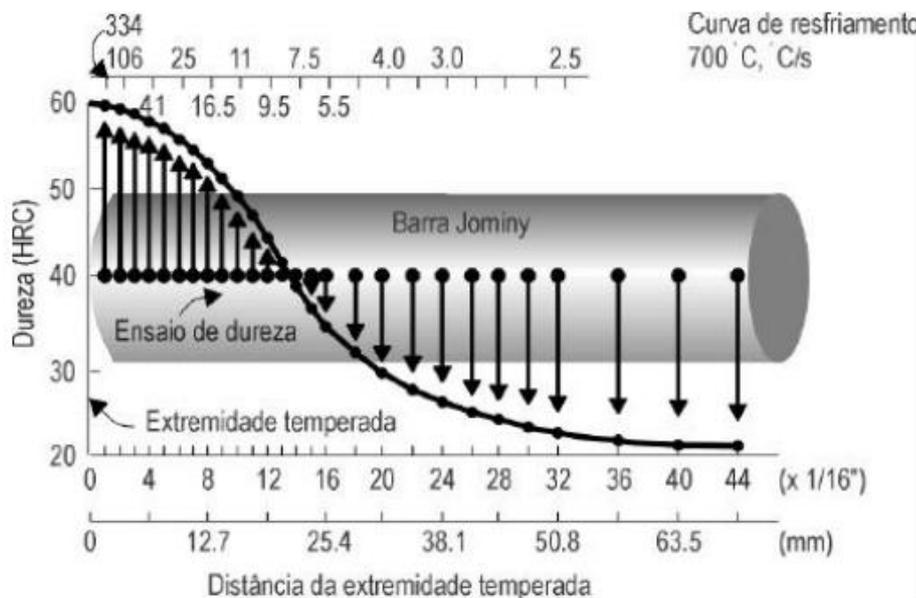
o tratamento térmico de têmpera como resultado das diferentes taxas de resfriamento experimentadas por uma amostra de um mesmo corpo de prova. Deve-se ressaltar que a temperabilidade depende de vários fatores, dentre eles, a composição química do aço, o processo de fabricação, o tamanho do grão, entre outros. (MARTINS, 2002).

3.2.1 Ensaio Jominy

Uma maneira de medir a temperabilidade de um aço é a partir do ensaio Jominy, um dos mais usados na indústria (CALLISTER JR.,1997), pois a partir de um único corpo de prova é possível observar a diminuição ou o aumento da quantidade de martensita em função de seu tamanho, considerando as diferentes taxas de resfriamento ao longo de seu comprimento (MARTINS,2002).

O ensaio consiste em submeter a ponta de um corpo de prova cilíndrico ao processo de têmpera, sendo feitas medições da dureza Rockwell ao longo do comprimento do corpo de prova de modo a permitir a construção de uma curva de temperabilidade que correlaciona a dureza com o comprimento, sendo esse resultado uma característica de cada material, pois a mesma dependerá da composição química desse material. Um exemplo dessa curva é mostrado na figura 3.

Figura 3: Distribuição típica da dureza Rokwell em um corpo de prova para ensaio Jominy.



Fonte: CALLISTER ,1997.

Entre as extremidades deste corpo de prova é estabelecido um gradiente de velocidades de resfriamento, a qual decresce de modo a provocar a queda da dureza pelo fato de que a redução da velocidade de resfriamento propiciar mais tempo para ocorrer a difusão e a formação de outros constituintes (bainita, perlita e ou ferrita), além da martensita. (TSCHIPTSCHIN, 2005)

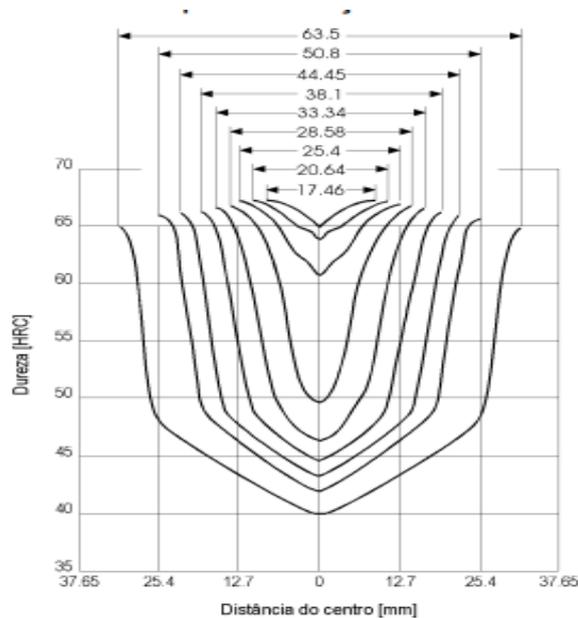
Dessa forma, o ensaio de Jominy permite comparar as diferentes condições de resfriamento existentes em uma amostra de corpo de prova ao longo da seção do mesmo.

3.2.2 Ensaio Grossmann

Este ensaio tem o objetivo de determinar a temperabilidade de um aço a partir da utilização de vários corpos de prova de tamanhos diferentes que são submetidos ao aquecimento para a austenitização de um material em diferentes meios de resfriamento.

Essas barras são então cortadas transversalmente e suas durezas medidas da superfície em direção ao centro. (MARTINS, 2012). Um perfil esquemático da evolução dos valores de dureza desde o centro até a borda de uma amostra está representado na figura 4:

Figura 4: Curvas de dureza para um aço SAE 1090 (0,89%C), em uma série de barras redondas resfriadas em água.



Fonte: CHIAVERINI, 1984.

Neste ensaio as seções transversais são examinadas para determinar qual ou quais os corpos de prova que produziram 50% de martensita no seu centro. Este diâmetro em que ocorreu essa produção é chamado de diâmetro crítico D_0 . No entanto, este valor obtido não pode ser considerado absoluto, uma vez que depende do meio escolhido para a têmpera, o qual pode variar, sendo este indicado por um número que identifica a severidade do meio de resfriamento utilizado no tratamento térmico de têmpera, ou seja, um coeficiente que quantifica a eficiência do diferentes meios de têmpera (H). (MARTINS, 2012). Alguns valores de H esta representados na tabela 1:

Tabela 1: Coeficientes H de diversos meios de Têmpera.

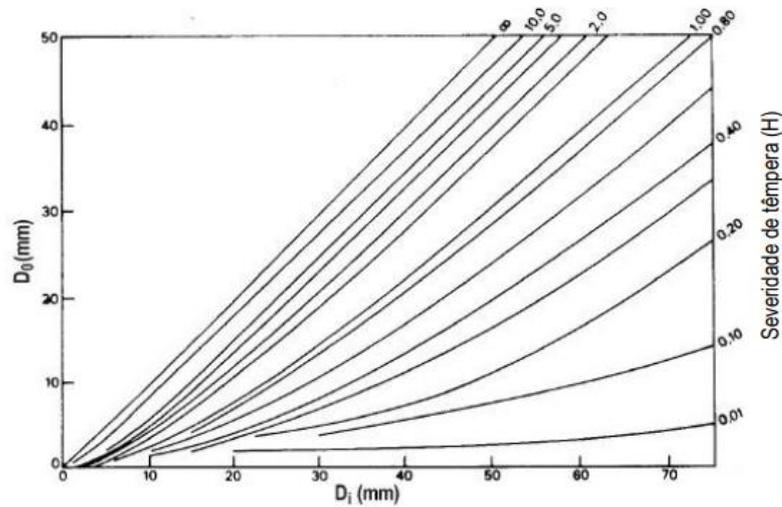
Agitação	Meio de resfriamento		
	Óleo	Água	Salmoura
Nula	0,25 – 0,30	1,0	2,0
Moderada	0,35 – 0,40	1,2 – 1,3	
Violenta	0,80 – 1,10	4,0	5,0

Fonte: HONEYCOMB,1982.

A partir dos valores de H é possível determinar um diâmetro crítico ideal D_i onde seria possível identificar 50% de martensita no corpo de prova se a velocidade de resfriamento fosse infinitivamente rápida, de modo a obter um valor de H tendendo ao infinito de modo a permitir a obtenção do valor de temperabilidade de um aço independente do meio de resfriamento escolhido. ($D_0 = D_i$). (MARTINS, 2002).

Na figura 5 é mostrado como varia a relação entre o diâmetro crítico e o diâmetro crítico ideal em função da severidade do meio de resfriamento utilizado no ensaio Grossmann.

Figura 5: Diagrama para determinação do diâmetro ideal (D_i) a partir do diâmetro crítico (D_0) e da severidade de têmpera (H) para aços media-liga.



Fonte: HONEYCOMB,1982.

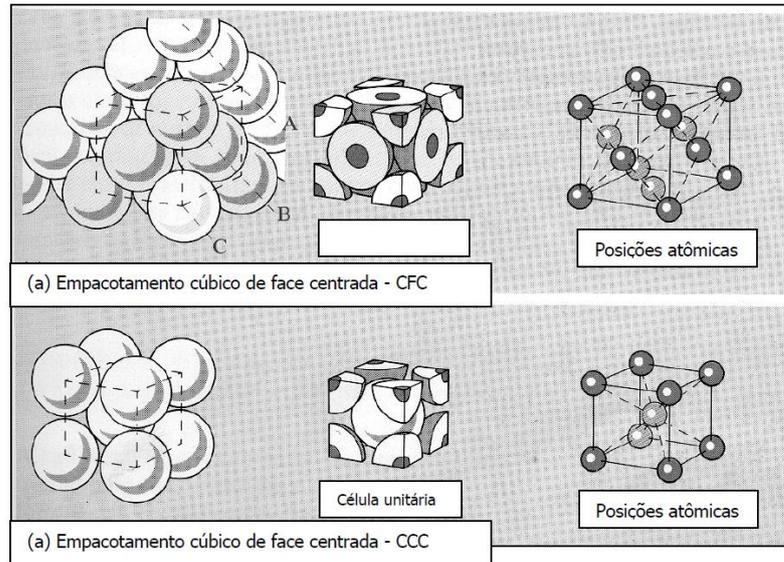
3.3 Variáveis da Têmpera

3.3.1 Temperatura de aquecimento

Sabe-se que os metais são constituídos por um aglomerado de átomos que se arranjam de forma ordenada em uma estrutura cristalina. A maneira em que esses átomos estão arranjos pode explicar as propriedades físicas e mecânicas dos metais e conseqüentemente, dos aços, uma vez que os aços são ligas de ferro-carbono. Dessa forma, para mudar tais propriedades é necessário mudar a forma em que os átomos estão arranjos na estrutura cristalina.

Uma das variáveis mais importantes nesse processo de endurecer um aço é a temperatura usada para o aquecimento do mesmo. Para se obter aços mais duros o controle da temperatura é imprescindível para mudar a estrutura de um aço com estrutura cúbica de corpo centrado (CCC), a ferrita, para a estrutura cúbica de faces centradas, (CFC), a austenita, o que indica o endurecimento do mesmo. (TSCHIPTSCHIN, 2005). A figura 6 ilustra as estruturas CCC e CFC.

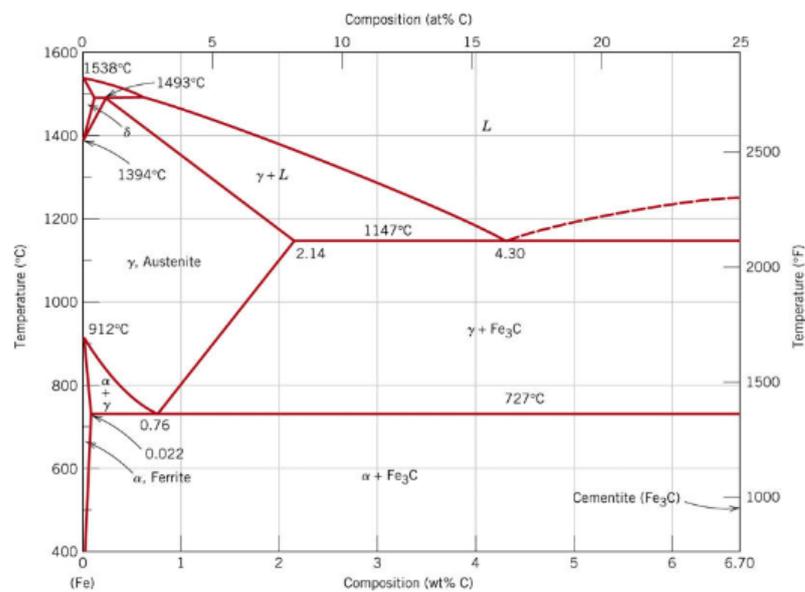
Figura 6: Estrutura CCC X CFC.



Fonte: TSCIPTSCHIN, 2005.

A mudança dessas fases dependerá das temperaturas que esses aços serão aquecidos, de modo a permitir a coexistência ou não dessas fases, como indicado na figura 7.

Figura 7: Diagrama de fases binário para o sistema ferro-carbono.

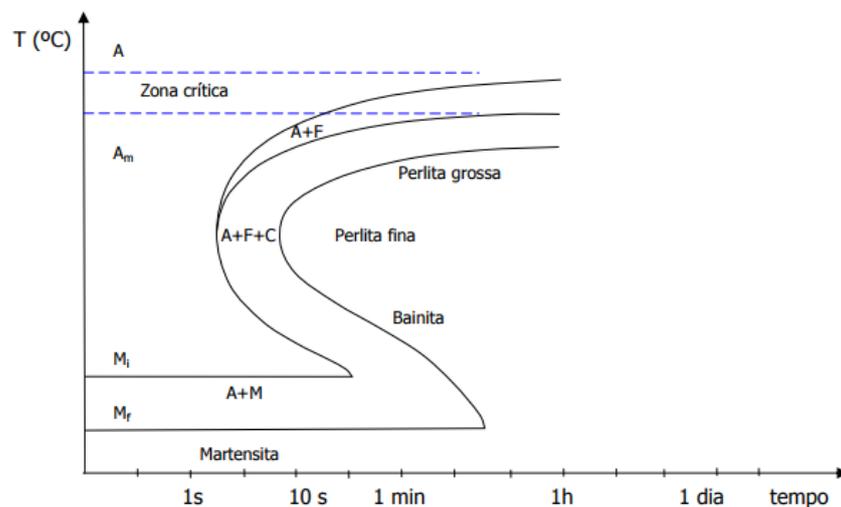


Fonte: CALLISTER, 2016.

3.3.2 Tempo de encharque

Outra variável no tratamento térmico de têmpera é o tempo de encharque, ou seja, é o tempo de permanência de uma amostra no interior de um forno para a realização do tratamento térmico. As curvas na figura 8 representam as curvas de transformação/tempo/temperatura que correlaciona o tempo necessário à transformação isotérmica da austenita em diferentes constituintes, como a perlita e a bainita.

Figura 8: Curvas TTT.



Fonte: TSCHIPTSCHIN, 2005.

Na figura 8 é possível observar a influência do tempo e da temperatura nas transformações de fase da austenita. Nota-se que para tempos menores, ou seja, resfriamentos mais bruscos tem-se a formação de martensita, uma fase mais dura que as demais. Já quando os tempos de encharque são maiores, observa-se a formação de outros constituintes mais dúcteis, como a perlita e a bainita.

3.3.3 Meios de resfriamento

O meio de resfriamento usado na têmpera é bastante diversificado. Os meios de resfriamento mais comuns utilizados são: óleo, água, ar e salmoura, pode também ser feito em polímeros (KNOLL, 2009).

3.3.3.1 Gás

Recentemente o uso de gás no resfriamento da têmpera nas indústrias vem aumentando significante devido ao desenvolvimento de fornos com alta pressão e devida às novas misturas que podem ser utilizadas na têmpera como, por exemplo o uso de nitrogênio e hélio. O uso de gás neste resfriamento propicia várias vantagens dentre elas está o fato de a alta pressão ser usada, logo, a probabilidade de uma peça grande, de tamanho e seções diferentes ficar dura por uma dimensão maior é mais provável quando comparado ao resfriamento feito em óleo. Além disso, os parâmetros de resfriamento podem ser mais facilmente controlados, minimizando as distorções e o stress residual que podem causar trincas.

Outras vantagens também são o fato das peças já saírem limpas e este ser um processo, quando comparado ao óleo, mais sustentável ao meio ambiente (GRANDHI; SRINIVASAN, 2001).

3.3.3.2 Polímeros

Outros meios alternativos usados no resfriamento da têmpera são em soluções poliméricas. Este meio de resfriamento proporciona algumas vantagens sobre a têmpera em óleos como, por exemplo, uma maior resistência ao fogo, biodegradabilidade e a inexistência de geração de resíduos durante o processo. O uso desta nova técnica vem mostrando maior desempenho em relação à têmpera em óleos (KNOLL, 2009). Isso ocorre porque quando o aço é colocado na solução polimérica, há a formação de um filme contínuo ao redor da peça que se quebra resultando em taxas mais rápidas ainda de resfriamento, além de esse processo proporcionar um resfriamento mais uniforme. Adicionalmente, percebe-se uma tendência menor no aparecimento de trincas e distorções nas peças quando comparado ao processo em óleo, pois há redução dos gradientes térmicos e de transformação durante o resfriamento com uso de polímeros.

3.3.3.3 Óleos

Diversos autores ressaltam a importância do meio de resfriamento sobre os resultados esperados nos processos de tratamento térmico (LASDY 1976; SERGEBERG & BODIN, 1991). Dentre os diferentes fluidos utilizados como meios de resfriamento nos processos de têmpera, os mais comuns são os óleos minerais que são subprodutos da destilação do petróleo (SOUZA *et al.*, 2013b). Em sua maioria, o resfriamento em óleo garante uniformidade no resfriamento, tornando adequado esse meio de resfriamento para a maioria dos processos.

Estes óleos, embora apresentem ótimas características como o fato de facilitar o resfriamento homogêneo do material, eles causam ainda prejuízos ambientais por não serem oriundos de fontes renováveis.

Como alternativa ao uso de óleos minerais, muitos estudos e aplicações de óleos vegetais vem sendo realizados, com resultados iguais ou superiores àqueles obtidos com óleos minerais (FARAH, 2002).

Uma das principais características de um bom meio de resfriamento é a facilidade de molhabilidade do meio nas superfícies do metal, sendo isso relacionado com a viscosidade do meio. Nos casos dos óleos, uma diminuição da viscosidade, diminui a tensão superficial, melhorando a molhabilidade do mesmo, logo em um aumento da taxa de resfriamento. Lasday (1976) ao estudar a aplicação de óleos como meio de resfriamento, mostra também que a diminuição do gradiente de temperatura entre a superfície e o centro da peça durante o resfriamento, em geral contribuem para minimizar distorções e aparecimento de trincas. Em geral, os óleos minerais derivados do petróleo, apresentam características similares aos óleos de motores e lubrificantes industriais, sendo misturas complexas de hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos misturados de modo a se obter taxas de resfriamentos desejadas. (PLACEK, 1995).

Segundo Dicken (1986), os óleos naftênicos apresentam moderada estabilidade ao envelhecimento e uma melhor relação entre viscosidade e temperatura, enquanto os parafínicos apresentam propriedades de resfriamento piores, mas são por outro lado mais resistentes ao envelhecimento e apresentam boa relação viscosidade e temperatura. As características particulares de cada óleo, e as quantidades relativas de cada elemento em cada óleo, contribuem nos resultados do processo de têmpera devido a diferentes desempenhos na transferência de calor. Embora existam outras classificações, os óleos de têmpera, são classificados como óleos convencionais ou óleos frios; óleos acelerados e óleos de martêmpera ou óleos quentes. (BASHFORD E MILLS, 1984)

Totten et al., (1993) explicam que os óleos convencionais são, em geral, aqueles que contem aditivos apenas com a finalidade de reduzir a oxidação térmica ou envelhecimento. Em alguns casos especiais, os aditivos podem melhorar a molhabilidade sem entretanto, aumentar a taxa de resfriamento. E que, óleos de têmpera acelerados, são obtidos a partir de um óleo mineral acrescentado de aditivos, com o objetivo de aumentar a taxa de resfriamento dos mesmos. Em alguns casos o óleo pode ser aditivado para melhorar o molhamento da

superfície, inibidores de oxidação e dispersantes, com objetivo de melhorar as taxas de resfriamento.

3.3.3.3 Água

A água é também uma das alternativas para ser utilizada como meio de resfriamento na têmpera. Não somente a água, mas uso também de água de coco e água saturada. Um estudo realizado pelo Departamento de Engenharia Mecânica na Nigéria comparou os resultados de aços tratados em água, água de coco e óleo de motor. Em todas as situações houve aumento nas propriedades dos aços, mas através de testes mecânicos, concluíram que quando comparado com o óleo, a água apresentou ser uma boa alternativa, tendo esses aços obtidos resultados iguais ou maiores nas propriedades analisadas. (IKUBANNI; AGBOOLA; ADEDIRAN; ADELEKE; OGUNSEMI; OLABAMIJI; UGURU; OSUEKE, 2018).

Outra pesquisa conduzida utilizando água saturada como meio de resfriamento pelo departamento de Engenharia Química no Japão, analisou os materiais temperados e concluiu que houve aumento em algumas de suas propriedades como dureza, molhabilidade e capilaridade. (YOKOMATSU, FOGAÇA, MORI, TANAKA, 2018).

A corrosão por stress também é uma propriedade que vem sendo estudada com o objetivo de melhorá-la e segundo TAKAI et al. (2018) a presença de hidrogênio em altas temperaturas pode contribuir para essa melhora, proveniente da reação do aço quando temperado em água.

Essas pesquisas mostram que a água é uma boa alternativa para ser utilizada como meio de resfriamento durante o processo de têmpera, pois podem melhorar suas diversas propriedades dos aços e garantir as suas variadas aplicações.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrição do produto

As caixas de velocidade, também chamadas de caixa de câmbio ou de marcha tem o objetivo de transformar a potência dos motores em força ou velocidade, dependendo dos fins e da necessidade. De forma simplificada, quanto maior a rotação do motor em relação a rotação do eixo, maior será a força e vice-versa. É, portanto, um multiplicador de força e/ou velocidade de motor. As caixas de velocidade estão presentes em carros, moinhos de vento, torres de resfriamento, dentre vários outros (*Hansens Industrial Transmissions*, 2015). Na figura 9 está ilustrado este produto como um todo:

Figura 9: Caixa de velocidade.



Fonte : Infomotor (2009).

4.2 Materiais

Dois aços foram utilizados neste trabalho: o primeiro tipo de aço foi denominado como aço “E” (20NiCrMo2-2), segundo a norma SAE 8620 e o segundo como aço “C” (C45R/1.3646), segundo a norma DIN 1.3646. O primeiro possui origem Italiana e o segundo Suíça. Nas tabelas 2 e 3 é apresentada a composição química de cada um dos aços. As denominações “C” e “E” foram escolhidas pela própria empresa fornecedora das caixas de engrenagem.

Tabela 2: Composição do aço “C”: aço C45R/1.3646.

Elementos	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Mo
Aço C	0,45	0,18	0,74	0,026	0,17	0,08	0,01

Fonte: AÇO C45R/1.3646 - *Hansen Industrial Transmissions*, 2015.

Tabela 3: Composição do aço “E”: aço 20NiCrMo2-2.

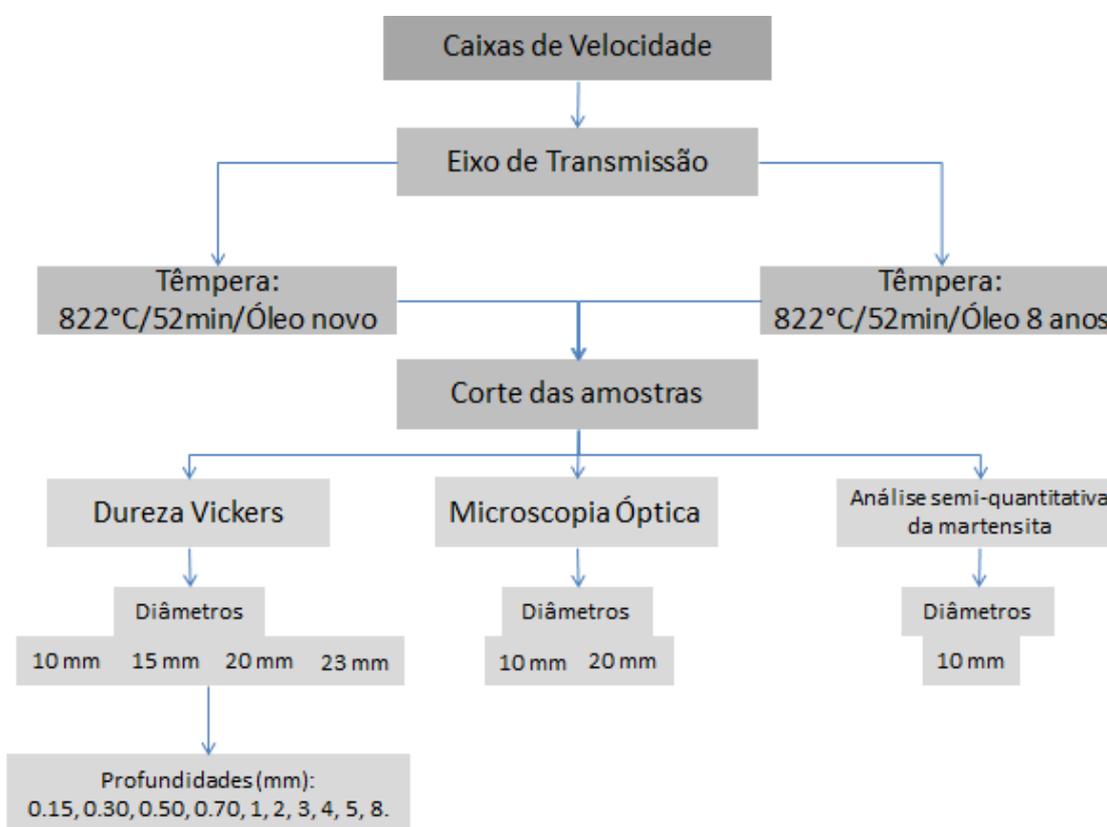
Elementos	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Mo	Cu
Aço E	0,19	0,23	0,79	0,01	0,49	0,44	0,2	0,21

Fonte: AÇO 20NiCrMo2-2 - Hansen Industrial Transmissions, 2015.

4.3 Fluxograma das etapas

Um fluxograma com as etapas adotadas desde a caixa de velocidade como matéria prima até o tratamento de dados está representado na figura 10.

Figura 10: Fluxograma das etapas.



Fonte : Próprio Autor.

As caixas de engrenagem foram o material inicial do trabalho e possuem um eixo de transmissão em seu interior que é irregular ao longo de seu comprimento, ou seja, possui diferentes diâmetros. Dessa forma foi ele o componente escolhido para análise, visto que o diâmetro é uma variável deste trabalho. Em seguida esses eixos foram divididos em duas levadas com 4 barras (eixos) cada, ou seja, um total de 8 barras. A primeira leva temperada em óleo novo e a segunda em óleo de 8 anos, ressaltando que o óleo utilizado foi do mesmo

fabricante e as condições do processo foram as mesmas em ambos os casos. Todos os eixos foram cortados nas 4 seções diferentes ao longo de seu comprimento, o que resultou em diâmetros de 10mm, 15mm, 20mm e 23 mm. Em seguida essas amostras foram preparadas para os ensaios de dureza Vickers, Microscopia Óptica e uma análise semi-quantitativa de martensita.

É importante destacar que a dureza Vickers foi analisada para todos os 4 diâmetros ao longo do comprimento das barras, em posições diferentes da borda ao centro da amostra (profundidade). Contudo, as análises micrográficas foram realizadas apenas para os valores extremos de diâmetro: 10mm e 20mm, ao longo de toda a seção das barras, sendo esses valores escolhidos como método de análise do efeito da dimensão do diâmetro na temperabilidade dos dois aços.

4.4 Procedimento Experimental

A têmpera foi realizada pela empresa Hansem Industrial Transmissions localizada na região de Edegem na Antuérpia. Neste caso, foram utilizados óleos minerais com duas idades: óleo novo com 0 ano de uso e óleo com 8 anos de uso.

Os aços foram temperados em um tanque com diâmetro de 4m e com profundidade de 4m, sendo utilizado o óleo produzido pela Houghton do tipo Martemp 890 BH com as condições expostas na tabela 4:

Tabela 4: Condições do óleo de têmpera.

Temperatura antes da têmpera	80 °C
Data do tratamento térmico	15/01/2015
Viscosidade a 40°C	267,3 SUS (75 cSt)
Densidade	0,899 g/cm ³
Acidez	0,1mg/100ml
Impurezas/contaminação	3mg/100ml

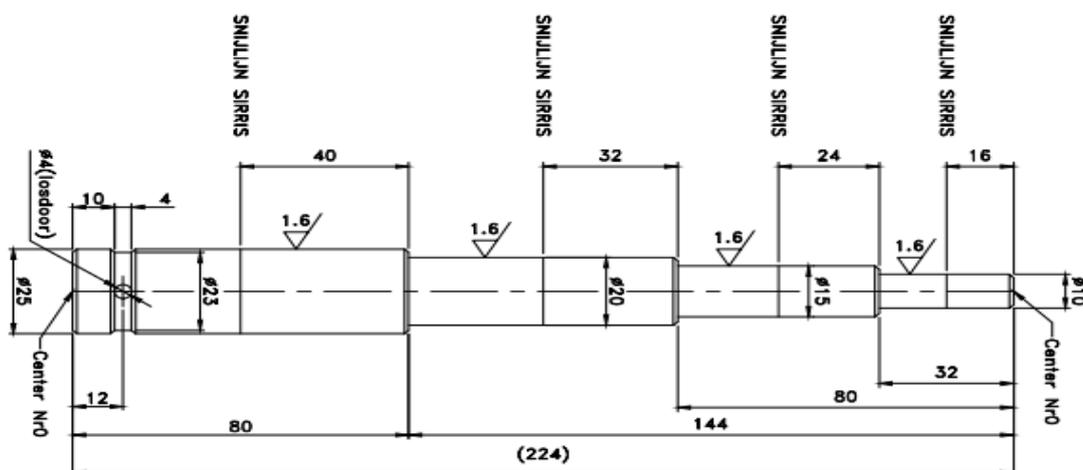
Fonte: *Houghton*, 2015

O aquecimento das amostras foi realizado em um forno mufla Aichelin com uso de gás natural como fonte de energia, sendo a temperatura de aquecimento igual a 822°C e o tempo de encharque de 52 minutos, embora o teor de carbono dos aços C e E seja diferente, sendo isso adotado pela empresa Houghton (2015).

4.4.1 Corte das amostras

As caixas de velocidade tinham seus eixos principais compostos por quatro diferentes diâmetros sendo eles: 23mm, 20mm, 15mm e 10mm ao longo de seu comprimento, como mostrado na figura 11 (dimensões em milímetros):

Figura 11: Eixos de transmissão.



Fonte: Hansen Industrial Transmissions, 2015.

Esses eixos foram cortados em uma cortadeira AROTEC de forma que cada amostra fosse proveniente do centro de cada seção. Dessa forma, para cada eixo, foram obtidas quatro amostras com seção transversal circular com diâmetros de 10mm, 15mm, 20mm e 23mm, somando um total de 32 amostras, sendo 16 amostras para cada idade de óleo, divididas entre os diferentes diâmetros.

4.4.2 Dureza Vickers

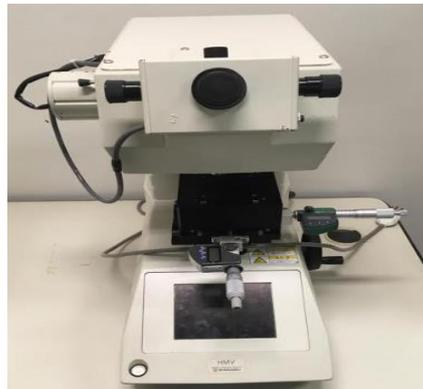
As amostras foram submetidas ao ensaio de microdureza Vickers na Universidade da Antuérpia, Bélgica e no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte. Na Bélgica, o microdurômetro utilizado foi o ZWICK, TIPO 3212, figura 12. No CEFET MG fez-se uso do microdurômetro SHIMADZU HMV, representado na figura 13, sendo adotado em ambos os casos a carga de 1kgf. É válido lembrar que a dureza das amostras temperadas em óleo novo foram feitas no Brasil, e as temperadas em óleo de 8 anos, na Bélgica.

Figura 12: Microdurômetro ZWICK 3212.



Fonte: Próprio Autor

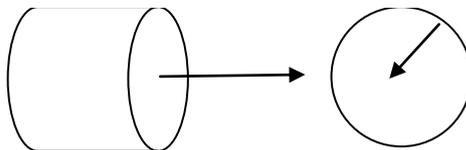
Figura 13: Microdurômetro SHIMADZU HMV.



Fonte: Próprio Autor.

Considerando que as amostras possuíam seção transversal circular, figura 14, a medição da dureza Vickers foi realizada ao longo do raio, para cada um dos diâmetros analisados.

Figura 14: Perfil das amostras.



Fonte: Próprio Autor.

Deste modo, a partir da borda em direção ao centro foram determinados pontos específicos para a realização da medição da dureza Vickers, como identificado na tabela 5:

Tabela 5: Valores da distância à superfície das barras em que foi realizada a medição da dureza

Vickers.

Distância à superfície das barras (mm)
0,15
0,30
0,50
0,70
1,0
2,0
3,0
4,0
5,0
8,0

Fonte: Próprio Autor.

Esses pontos foram determinados com o objetivo de investigar a influência do tipo de aço e do meio de resfriamento (idade do óleo) na distribuição da dureza ao longo da seção circular das barras, sendo adotados os valores das distâncias ao longo do raio para avaliar a partir de qual ponto seria possível perceber a variação da dureza ao longo da seção dos materiais analisados. É válido lembrar que a distância de 8mm foi feita apenas para as amostras de 20mm e 23mm, enquanto que para as amostras de 10mm e 15mm a maior distância à borda foi de 5mm.

4.4.3 Microscopia Óptica

A preparação micrográfica das amostras dos aços “C” e “E” foi feita mediante o lixamento mecânico com a utilização de lixas de mesh 240, 320, 400 e 600, acompanhado por polimento também mecânico com uso de pasta de diamante em panos de granulometria iguais a 9 μ m e 3 μ m em lixadeiras Arotec Arapol W (figura 15) e politrizes Arotec Arapol 2V, figura 16. A preparação foi realizada em toda a seção circular da amostra para cada diâmetro de 10 mm, 15 mm, 20 mm, 23 mm.

Figura 15: Lixadeiras Arotec Arapol W.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 16: Politrizes Arotec Arapol 2V.



Fonte: Próprio Autor.

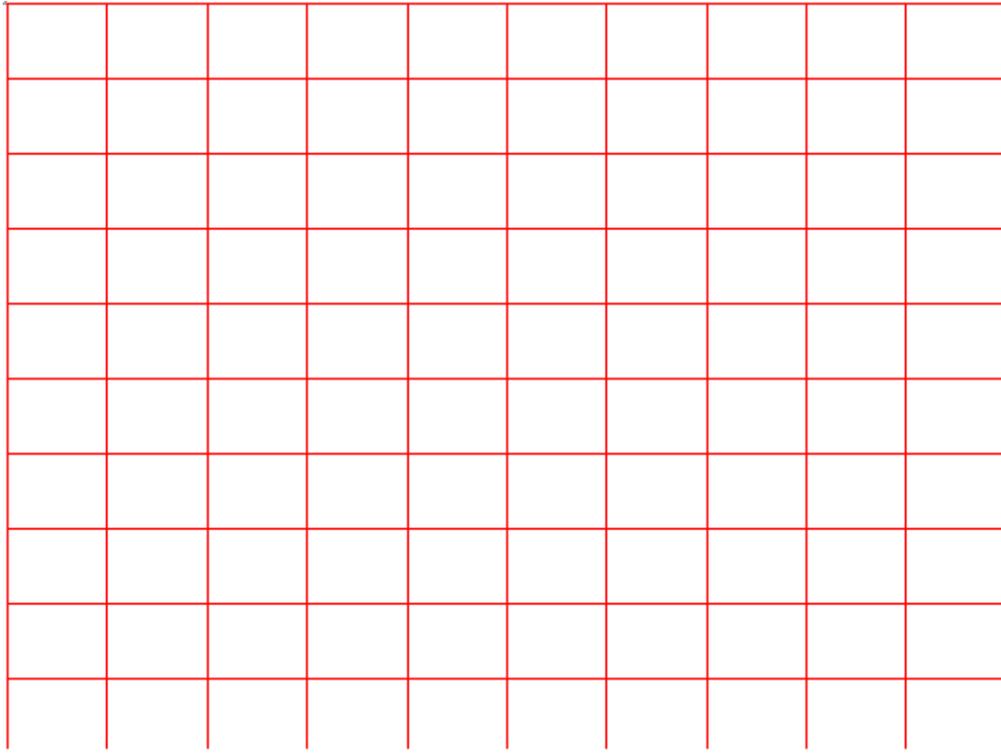
O reativo químico usado para o ataque das amostras foi o Nital 5% para posterior observação, com uso do microscópio óptico Fortel com câmera de captura de imagens Kontrol para permitir a digitalização das imagens.

4.4.4 Análise Semi-Quantitativa de Martensita

Para as imagens das micrografias com ampliação de 400X obtidas das amostras com raio de 10 mm, temperadas em óleo novo e óleo de 8 anos, tanto para o aço C (C45R/1.3646) quanto para o aço E (20NiCrMo2-2), foi calculada a fração relativa de martensita de acordo com a utilização de uma malha inscrita a essas micrografias. Deste modo, foi construída uma malha de pontos utilizando o WORD, a qual consistiu de 100 retângulos de 1,00cm de altura e 1,33cm de largura, como exibido na figura 17:

A escolha da barra com diâmetro de 10 mm para os aços C e E foi feita por considerar que essa foi a condição que ocasionou a maior quantidade de martensita formada.

Figura 17: Malha de pontos.

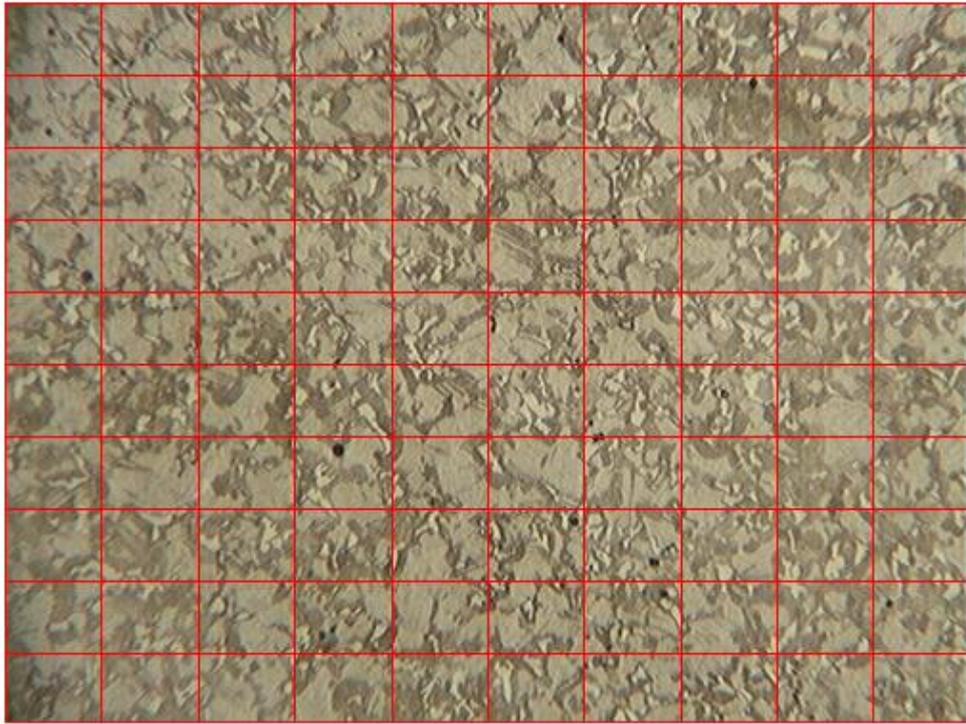


Fonte: Próprio Autor.

Esta malha foi colocada sobreposta às micrografias como exemplificado na figura 18 com uso do Microsoft WORD®. A quantidade relativa de martensita presente nos aços C e E foi calculada a partir da divisão entre a quantidade de martensita existente no interior da malha de retângulos pela quantidade total de malhas, no caso, 100 malhas.

Adotou-se o critério de considerar a quantidade de 1 unidade de martensita caso esse constituinte ocupe totalmente uma malha e de $\frac{1}{2}$ unidade caso o mesmo ocupe de modo parcial. É válido lembrar que essa análise não seguiu nenhuma norma oficial e teve o objetivo de complementar a análise de Microscopia Óptica.

Figura 18: Malha de pontos sobreposta às micrografias.



Fonte: Próprio Autor.

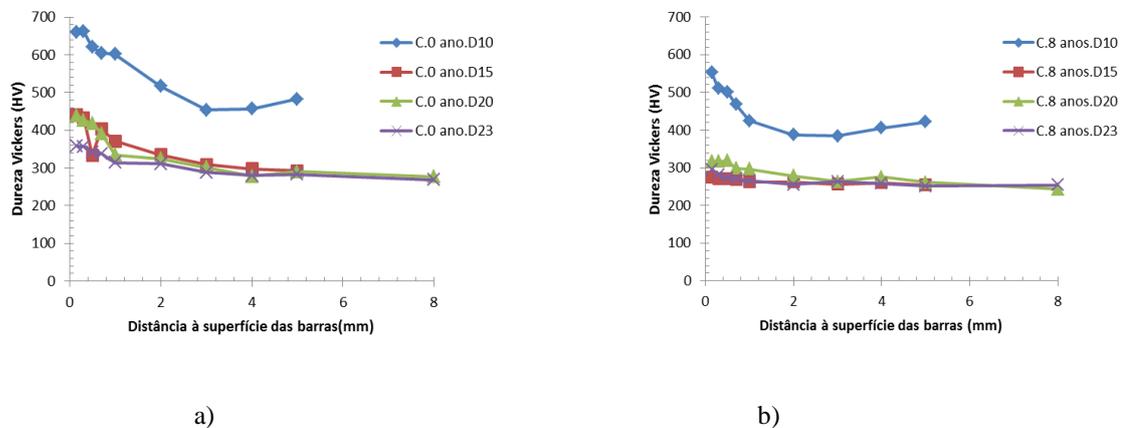
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Distribuição dureza Vickers em função do diâmetro das barras para o aço C

O perfil da dureza Vickers ao longo da seção transversal circular para o aço C, C45R/1.3646, temperado em óleo novo e de 8 anos de idade está representado na figura 19(a) e figura 19(b). Percebe-se que para ambas as idades do óleo, a queda contínua da dureza com o aumento da distância à superfície das barras, ou seja, a dureza é reduzida à medida que a medição da dureza é realizada mais próxima ao centro das barras.

Esse resultado indica a variação da formação do constituinte martensita em função da posição do eixo utilizado na caixa de engrenagem. Para uma mesma idade de óleo verifica-se ainda que a queda da dureza é mais destacada para o menor diâmetro da barra tratada termicamente, a de 10mm, exibindo uma queda da dureza de aproximadamente 200HV entre a dureza encontrada na superfície e a dureza identificada a uma distância de 5mm à superfície dessa barra, para os dois óleos.

Figura 19: Comportamento das durezas para aço “C”: aço C45R/1.3646.



Fonte: Próprio Autor.

Para os demais diâmetros das barras tratadas termicamente, 15mm, 20mm e 23mm, nota-se que a variação do valor de dureza Vickers com o aumento da distância à superfície das barras é menor quando comparado com o menor diâmetro, de 10mm.

Esse resultado indica que a barra com diâmetro de 10mm exibe não só uma quantidade maior de martensita formada após a realização da têmpera, sendo isso indicado pelo valor maior de dureza Vickers, mas também de uma possível tendência à formação de um diâmetro

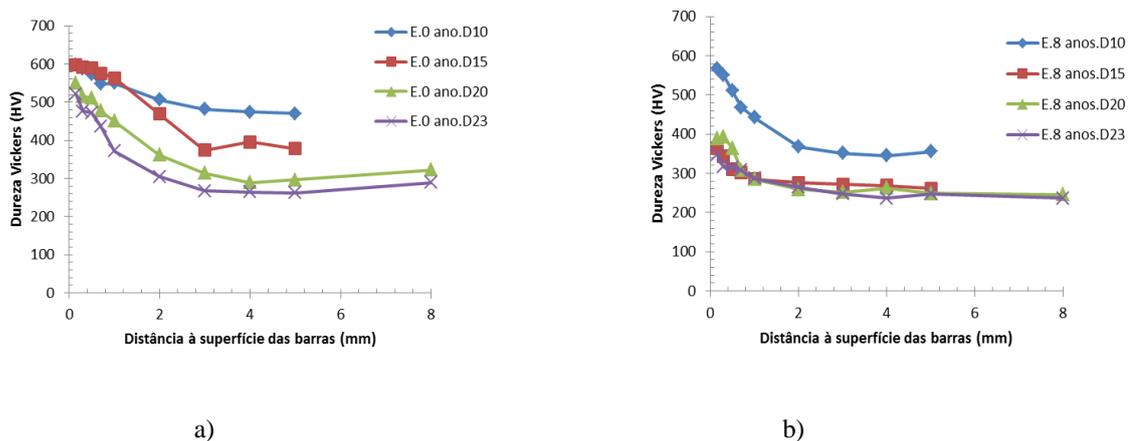
crítico para a realização desse tratamento térmico pelo fato de se observar uma variação mais acentuada da dureza ao longo da seção dessa barra.

O valor de dureza Vickers para as barras com diâmetro de 15mm, 20mm e 23mm foi similar, para todas as distâncias à superfície investigadas, quando a têmpera foi realizada com o óleo de 8 anos. Contudo, quando o tratamento foi feito com o óleo novo foi possível perceber uma diferença de aproximadamente 100HV entre a dureza Vickers entre as barras com diâmetro de 15mm/20mm e a com diâmetro de 23mm, indicando, deste modo, a habilidade de formação de martensita para uma seção maior com uso do óleo novo.

5.2 Distribuição dureza Vickers em função do diâmetro das barras para o aço E

O perfil da dureza Vickers ao longo da seção transversal circular para o aço E, 20NiCrMo2-2, temperado em óleo novo e com idade de 8 anos está representado figura 20(a) e figura 20(b). Para esse material, quando temperado com óleo novo é possível perceber uma variação mais destacada da dureza Vickers entre os diferentes valores de diâmetro das barras, algo que só é percebido entre as barras com diâmetro de 10mm e de 15mm/20mm/23mm quando a têmpera é realizada com óleo de 8 anos.

Figura 20: Comportamento das durezas para o aço “E”: aço: 20NiCrMo2-2.



Fonte: Próprio Autor.

Apesar de a barra com diâmetro de 15mm exibir valores de dureza Vickers similares à da barra com diâmetro de 10mm para as menores distâncias à superfície com uso do óleo novo, com o acréscimo da distância à superfície a dureza dessas barras fica diferente. Pode-se concluir desse modo que apesar do aço E ter alcançado um valor de dureza possivelmente

inferior, o aço E consegue distribuir melhor a dureza Vickers ao longo da seção que o aço C quando a têmpera é feita com uso de óleo novo.

Quando o tratamento térmico é realizado com o óleo de 8 anos é possível notar que o efeito do diâmetro das barras na distribuição da dureza Vickers é desprezível a partir da distância de 2mm à superfície das barras, sendo isso outro indicativo da menor temperabilidade desse aço quando comparado com o comportamento observado para o aço C.

Conforme trabalho desenvolvido por Souza *et al.*, (2013a) é possível perceber, assim como observado no caso dos aços C e E temperados com uso de óleo novo e usado, a influência da idade do óleo adotado para o tratamento térmico de têmpera na transmissão de calor entre as peças que estão sendo tratadas e o respectivo meio de resfriamento, sendo observada a maior formação de martensita para o aço tratado em óleo novo.

Neste mesmo trabalho foi verificado que as curvas de resfriamento para óleos oxidados exibiram coeficiente de transferência de calor é maior quando recebem a adição de anti-oxidantes. A utilização de anti-oxidantes garante estabilidade, mas apesar dessa adição, os óleos usados ainda possuem coeficiente de transferência de calor menor comparado ao óleo novo, evidenciando a melhor eficiência deste último. Isso ocorre devido à degradação termo-oxidativa que aumenta a viscosidade dos óleos com o tempo de uso no processo de têmpera, fazendo com que o coeficiente de transferência de calor diminua mais rapidamente, (SOUZA *et al.*, 2013b).

A viscosidade de um óleo tem grande influência em seu desempenho no processo de têmpera, pois a têmpera está relacionada à capacidade de molhamento de um fluido e, conseqüentemente, na sua capacidade de extração de calor. Quando o óleo possui maior capacidade de circulação, conseqüência de uma baixa viscosidade, isso facilita a dissipação do calor através da peça. Segundo Belinato (2010), quanto mais oxidado se torna o óleo, menor é sua capacidade de resfriar, podendo concluir que menor a sua eficiência quando utilizado no processo de resfriamento.

5.3 Efeito do tipo de aço na distribuição da dureza Vickers

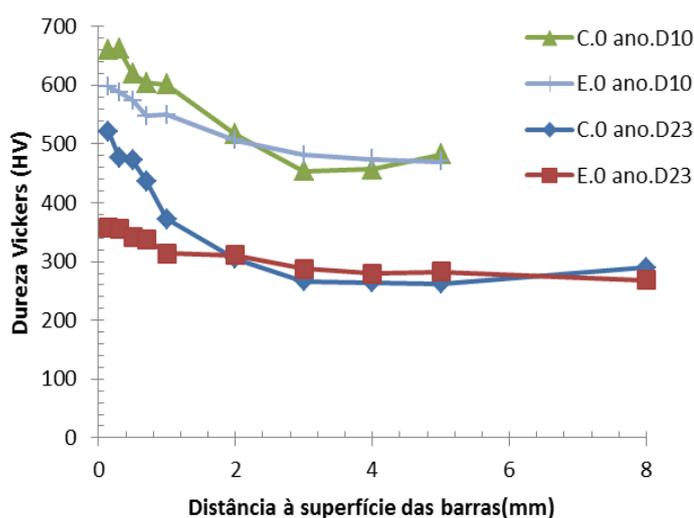
Com o objetivo de investigar o efeito do tipo de aço na distribuição da dureza Vickers das barras tratadas termicamente é exibida na figura 21 a evolução dos valores de dureza Vickers

para as barras com diâmetro de 10mm e de 23mm, ou seja, os extremos, para os aços C e E temperadas com o óleos novo.

A influência do tipo de aço na distribuição de dureza Vickers variou em função do diâmetro da barra temperada, embora ambos os materiais tenham exibido queda da dureza Vickers com o acréscimo da distância à superfície das barras quando a têmpera foi realizada com óleo novo.

Para o diâmetro de 10mm a queda da dureza Vickers com o aumento da distância à superfície foi similar para ambos os aços, temperados com óleo novo. Já para o diâmetro da barra de 23mm é mais fácil perceber a diferença da temperabilidade dos dois aços até a distância de 3mm, sendo provavelmente maior para o aço C quando consideramos os aspectos morfológicos da martensita do aço E.

Figura 21: Comportamento das durezas em óleo novo para o aço “E (20NiCrMo2-2)” e “C (C45R/1.3646)”.



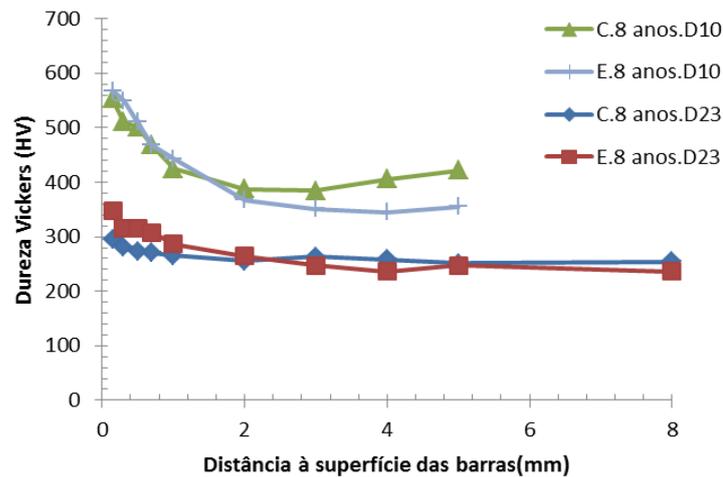
Fonte: Próprio Autor.

Para a têmpera realizada com uso do óleo de 8 anos, figura 22, não é possível perceber diferença de temperabilidade entre os dois aços pelo fato de as curvas de distribuição de dureza em função da distância à superfície das barras serem praticamente coincidentes, principalmente para a barra com diâmetro de 23mm.

O pequeno acréscimo da dureza Vickers com o aumento da distância à superfície da barra a partir da distância de 3mm para o aço C, enquanto o aço E exibiu queda contínua sugere a

ocorrência de algum erro experimental quanto à medição da dureza ou mesmo à diferença de constituintes presentes nessas distâncias.

Figura 22: Comportamento das durezas em óleo de 8 anos para o aço “E (20NiCrMo2-2)” e “C (C45R/1.3646)”.



Fonte: Próprio Autor.

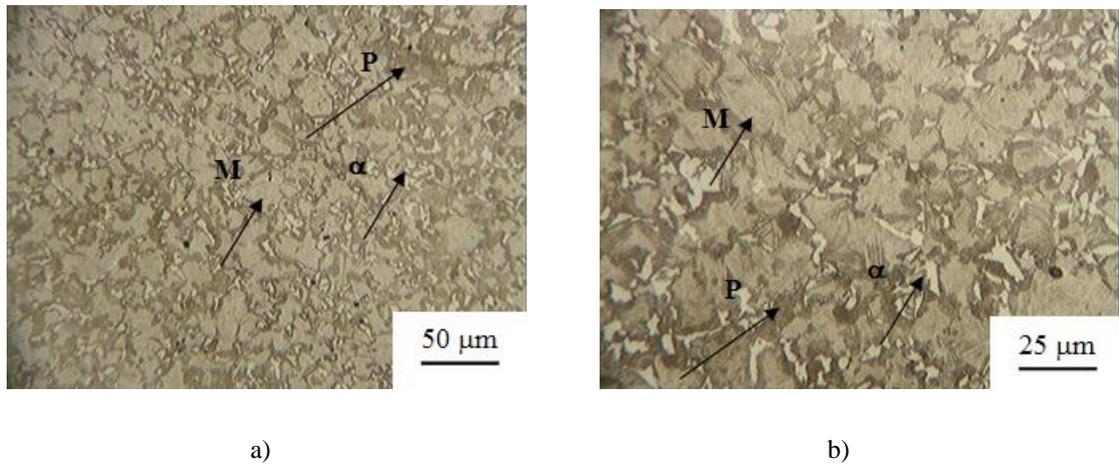
No trabalho executado por Janez, Slavko e Martin (2000) foi destacada a influência do teor de carbono na temperabilidade dos aços. Neste caso, foi feito o tratamento térmico de têmpera em óleo e água polimérica em aços possuindo de 0,38 a 0,45 % de carbono (em peso) e em seguida, feita a medição da dureza Vickers na superfície dos mesmos.

Os resultados indicaram o aumento da dureza com o aumento do teor de carbono, assim como verificado para as amostras de 23 cm temperadas em óleo novo do aço C, o qual apresenta 0,45% de carbono em sua composição, enquanto o aço E apenas 0,19%.

5.4 Caracterização microestrutural

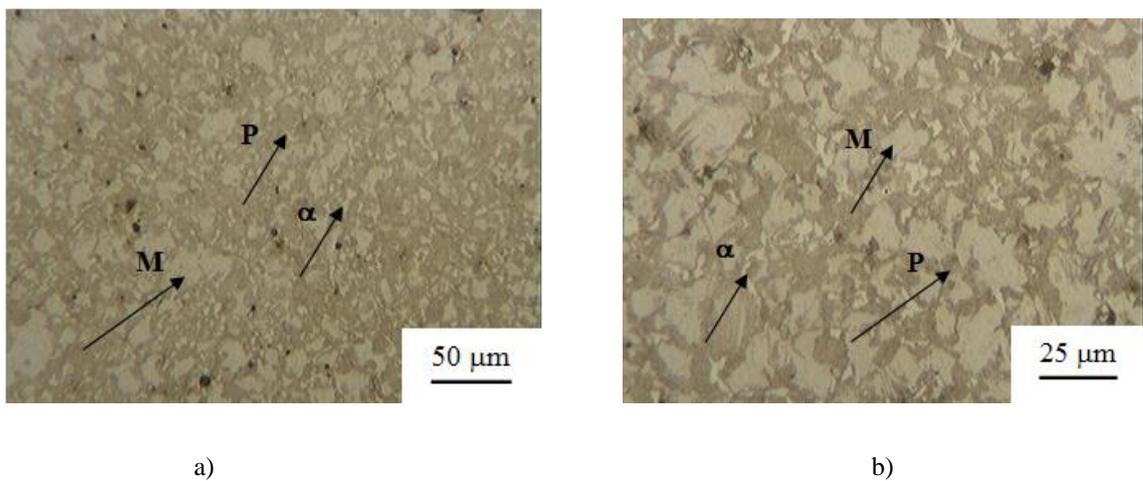
Na figura 23(a) e figura 23(b) são exibidas as fotomicrografias do aço C com diâmetro de 10mm após a realização da têmpera em óleo novo, enquanto na figura 24(a) e figura 24(b) as respectivas fotomicrografias do mesmo aço e diâmetro, mas após a têmpera com óleo de 8 anos. As imagens a) e b) representam a mesma micrografia, apenas com ampliações distintas.

Figura 23: Fotomicrografias do aço C com diâmetro de 10mm temperado com óleo novo.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 24: Fotomicrografias do aço C com diâmetro de 10mm temperado com óleo de 8 anos.



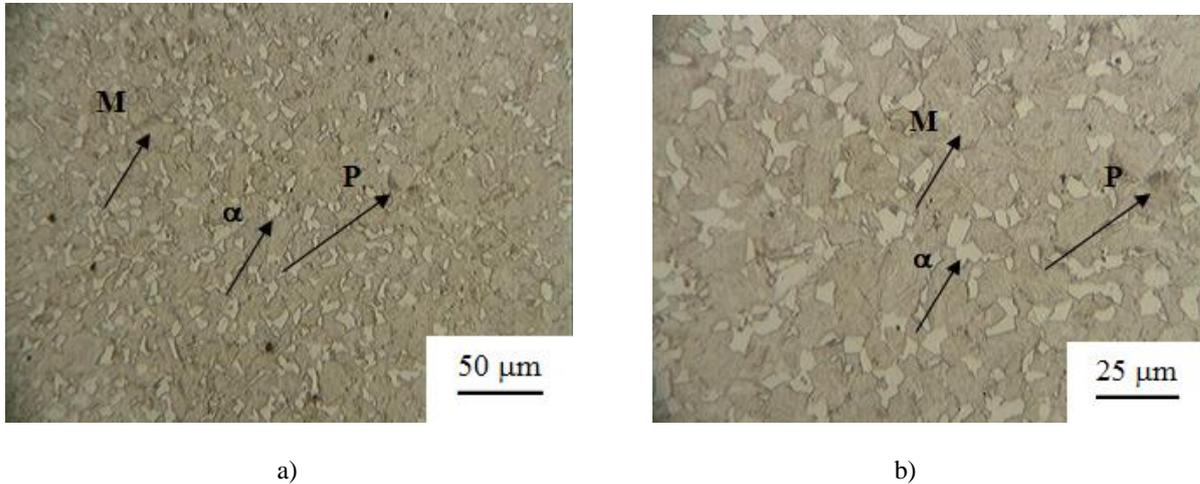
Fonte: Próprio Autor.

Os resultados evidenciam a influência da idade do óleo utilizado na têmpera na formação do constituinte martensita (M) em uma microestrutura composta inicialmente por ferrita (α) e perlita (P). Quando o aço foi tratado em óleo novo nota-se a maior quantidade de martensita quando comparado com a têmpera feita com óleo de 8 anos, evidenciando assim, a influência da idade do óleo no endurecimento por têmpera do aço C.

De modo análogo, na figura 25(a) e figura 25(b) são exibidas as fotomicrografias do aço E com diâmetro de 10mm após a realização da têmpera em óleo novo, enquanto na figura 26(a)

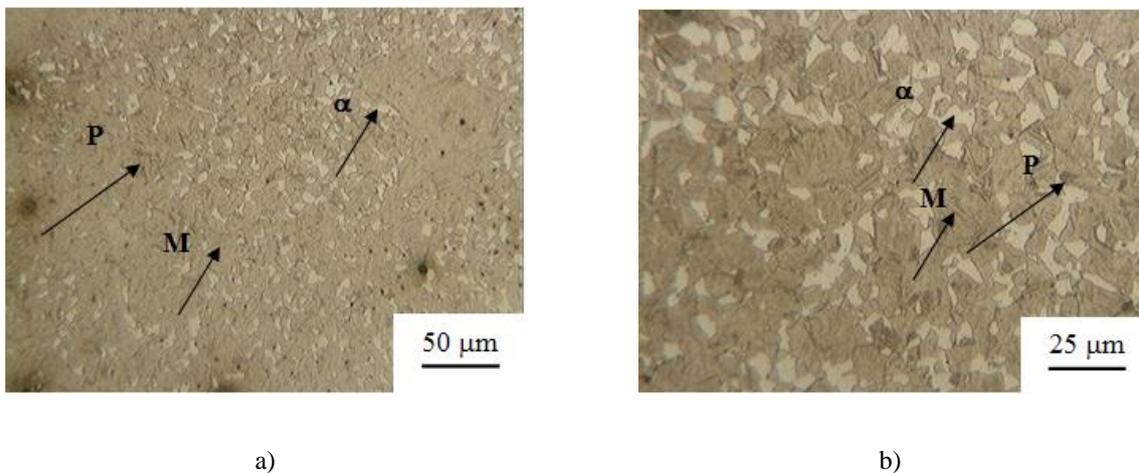
e figura 26(b) as respectivas fotomicrografias do mesmo aço e diâmetro, mas após a têmpera com óleo de 8 anos.

Figura 25: Fotomicrografias do aço E com diâmetro de 10mm temperado com óleo novo.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 26: Fotomicrografias do aço E com diâmetro de 10mm temperado com óleo de 8 anos.



Fonte: Próprio Autor.

Assim como observado para o aço C verifica-se pela análise das fotomicrografias das figuras 23 e 24 a formação de quantidade maior de martensita quando a têmpera é realizada em óleo novo. No entanto, para o aço E, a diferença da quantidade de martensita entre os dois óleos para a barra com diâmetro de 10mm foi menor que o observado para o aço C, demonstrando assim, a maior temperabilidade do aço C quando comparado com o aço E.

Segundo Janez, Slavko e Martin (2000) existem aços que são mais sensíveis a tratamentos térmicos e que terão resultados melhores com esses processos em termos, por exemplo, do aumento da dureza. Esses aços são aqueles com 0,38 a 0,45 % de carbono (em peso), que é o caso do aço C com 0,45 % de carbono (em peso), justificando sua maior temperabilidade e maior presença de martensita em comparação com o aço E que tem 0,19 % de carbono (em peso).

5.5 Análise Semi-Quantitativa de Martensita

A análise quantitativa de martensita formada para os C e E temperados com uso de óleo novo e usado com a barra com diâmetro de 10 mm está exibida na tabela 6.

Tabela 6: Fração relativa de martensita para os aços “C (C45R/1.3646)” e “E (20NiCrMo2-2)”.

	Aço C	Aço E
Óleo 0 ano	98%	96%
Óleo 8 anos	88%	90%

É possível observar que a quantidade de martensita formada foi mais sensível ao tipo de óleo utilizado nos tratamentos térmicos tanto para o aço C quanto para o aço E, dessa forma maiores formações deste constituinte quando usado o óleo novo.

Esses resultados confirmam a análise micrográfica apresentada no item 5.4, atestando ainda a provável influência dos agentes oxidantes na temperabilidade dos aços C e E, como também detectado por Janez, Slavko e Martin (2000).

6 CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos e as discussões entorno dos mesmos, conclui-se que:

- a) A dureza Vickers das amostras bem como a quantidade do constituinte martensita formado após a realização do tratamento térmico de têmpera dependeu da idade do óleo de tempera, do diâmetro das amostras e do tipo de aço utilizado;
- b) para ambos os aços e idade do óleo de têmpera verificou-se a queda da dureza Vickers com o aumento da distância à superfície, sendo essa queda maior nas amostras temperadas com óleo novo e com o maior diâmetro, 23 mm;
- c) a queda do valor de dureza com o aumento da distância à superfície, para um mesmo diâmetro, foi maior para o aço E quando comparado ao aço C, podendo ser, possivelmente, um indicativo de maior temperabilidade;
- d) a quantidade de martensita presente nas amostras foi maior para aquelas temperadas em óleo novo independente do aço utilizado, verificando a influencia de agentes oxidantes ao longo de seu uso.

REFERÊNCIAS

- BELINATO, GABRIELA. (2010). Estudo da oxidação dos óleos de soja e dendê aditivados com antioxidantes para uso em tratamentos térmicos de têmpera. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. Acesso em 5 de Junho de 2017.
- CALLISTER W. D & RETHWISCH G. D. Ciência e Engenharia de Materiais. Uma introdução, 9ª Ed, Editora LTC, 2016. Acesso em 20 de Agosto de 2018.
- CHIQUETI M. C. (2009). Estudo das Distorções em Aços AISI 5160 e AISI 6150 com Variação da Temperatura e da Agitação do Meio de Resfriamento. Tese de Mestrado, São Carlos. Acesso em 20 de Novembro de 2017.
- FARIA M. A. N. M. (2006). Tratamentos térmicos de têmpera em vácuo e em óleo de aços AISI H13 e D2. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Durit Brasil Ltda. Acesso em 10 de Julho de 2017.
- GRUM JANEZ, BOZIC SLAVKO, & ZUPANCIC MARTIN. (2000). ELSEVIER. Distortion minimization during gas quenching process parameters os residual stress in steel. University of Ljubljana, Slovenia. Acesso em 30 de Julho de 2017.
- IKUBANNI, P. P., AGBOOLA O. O., ADEDIRAN A.A., ADELEKE A. A., OGUNSEMI B.T., OLABAMIJI T.S., UGURU D. C., & OSUEKE C. O. (2018). ELSEVIER. Experimental data on mechanical properties evaluation of medium carbon steel quenched in different waste media. Department of Mechanical Engineering, Landmark University. Acesso em 24 de Setembro de 2018.
- INFOMOTOR. (2009). Cuidados especiais com a transmissão automotiva. Disponível em: <<http://www.infomotor.com.br/site/2009/09/cuidados-especiais-com-a-transmissao-automotiva/comment-page-1/>>. Acesso em 20 de Junho de 2017.
- KNOLL, K. P. (2009). Utilização de Solução Polimérica em substituição ao óleo como meio de resfriamento no tratamento térmico de têmpera. Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Acesso em 20 de Setembro de 2017.

LI Z., GRANDHI V. R., & SRINIVASAN R. (2002). ELSEVIER. Distortion minimization during gas quenching process. Department of Mechanical and Material Engineering, Wright State University, Dayton. Acesso em 30 de Maio de 2017.

MARTINS, M. (2002). Temperabilidade Jominy e influência do revenido sobre a dureza - Um estudo em aços estruturais nacionais. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica. Acesso em 9 de Setembro de 2017.

SEKI R. B. (2013). Avaliação da influência da taxa de resfriamento posterior ao tratamento térmico nas propriedades mecânicas do Aço API 5L X70. Curso de Graduação. Universidade Estadual Paulista. Acesso em 20 de Julho de 2017.

SENAI. Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção. (1997). Disponível em: <<http://www.protolab.com.br/TratamentosTermicos.pdf>>. Acesso em 24 de junho de 2017.

SENAI. (2000). Telecurso 2000. Tratamento Térmico, Departamento regional de São Paulo. Disponível em: <http://docente.ifsc.edu.br/claudio.schaeffer/material/2_Mecatr%C3%B4nica/Materiais_1_Meca_2/Apostila_%20Tratamento_Termico_Complementar.pdf>. Acesso em 20 de outubro de 2017.

SOARES R. W., TRINDADE B. V., FARIA L. G. & COTA B.A. (2015). Influência de diferentes tratamentos térmicos sobre a microestrutura e propriedades mecânicas de dois aços para aplicação na indústria de óleo e gás. Contribuição técnica ao 70º Congresso Anual da ABM. Rio de Janeiro, RJ. Acesso em 15 de Junho de 2017.

SIMÊNCIO A. C. E. (2014). Estudo do comportamento de biofluidos de óleos de palma e soja com antioxidantes na têmpera de aços, antes e após o envelhecimento acelerado. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. Acesso em 20 de Agosto de 2017.

SOUZA E. C., CANALE L., SARMIENTO S. G., AGALLOTIS E., SCHICHI S. D., TOTTEN G. E. (2013a). Heat Transfer Properties of a Series of Oxidized and Unoxidized Vegetable Oils in Comparison with Petroleum Oil-Based Quenchant, Journal of Materials Engineering and Performance, ASM international. Acesso em 2 de Agosto de 2017.

SOUZA E. C., FRIEDEL L. F.O., TOTTEN G. E., CANALE, L. C. V. (2013b). Quenching and Heat Transfer Properties of Aged and Unaged Vegetable Oils. *Journal of Petroleum Science Research*, v. 2, p. 41-47. Acesso em 08 de Agosto de 2017.

SPECTRU INSTRUMENTAL CIENTIFICO LTDA. (2017). Tratamento Térmico dos aços: Recozimento, Normalização, Têmpera e Revenido Temperabilidade. Divisão Metalúrgica. Disponível em: <<http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/tratamento.pdf>>. Acesso em 25 de Setembro de 2017.

TSCHIPTSCHIN, P. A. Tratamento Térmico de Aços. (2000). Disponível em: <<http://www.pmt.usp.br/pmt2402/TRATAMENTO%20T%C3%89RMICO%20DE%20A%C3%87OS.pdf>>. Acesso em 24 de junho de 2017.

YOKOMATSU F., FOGAÇA W., MORI S., & TANAKA M. (2018). ELSEVIER. On the quenching of stainless steel rods with a honeycomb porous plate on a nanoparticle deposited surface in saturated water. Department of Chemical Engineering Science. Acesso em 24 de Setembro de 2018.