

UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

ARISTIDES ANDERSON PEREIRA REIS

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO ÓLEO EPOXIDADO DE GIRASSOL COMO
MEIO DE RESFRIAMENTO DE TÊMPERA DO AÇO SAE 1070**

MARABÁ, PA
2018

ARISTIDES ANDERSON PEREIRA REIS

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO ÓLEO EPOXIDADO DE GIRASSOL COMO
MEIO DE RESFRIAMENTO DE TÊMPERA DO AÇO SAE 1070**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Engenharia de Materiais da
Universidade Federal do Sul e
Sudeste do Pará em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Materiais

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Camila dos Santos Torres

MARABÁ, PA
2018

ARISTIDES ANDERSON PEREIRA REIS

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO ÓLEO EPOXIDADO DE GIRASSOL COMO
MEIO DE RESFRIAMENTO DE TÊMPERA DO AÇO SAE 1070**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Engenharia de Materiais da
Universidade Federal do Sul e
Sudeste do Pará em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Materiais

DATA DE AVALIAÇÃO: 09/03/2018

CONCEITO: Exce lente

BANCA EXAMINADORA

Camila Torres

Profª. Drª. Camila dos Santos Torres
(FEMAT – IGE – UNIFESSPA – Orientadora)

Lygia Maria Policarpio Ferreira

Profª. Drª. Lygia Maria Policarpio Ferreira
(FAGEO – IGE – UNIFESSPA – Membro)

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA

Reis, Aristides Anderson Pereira

Análise da utilização do óleo epoxidado de girassol como meio de resfriamento de têmpera do aço SAE 1070 / Aristides Anderson Pereira Reis ; orientadora, Camila dos Santos Torres. — 2018.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia de Materiais, Curso de Engenharia de Materiais, Marabá, 2018.

1. Metais - Têmpera. 2. Óleo de girassol. 3. Aço - Tratamento térmico. 4. Engenharia de materiais. I. Torres, Camila dos Santos, orient. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. III. Título.

CDD: 22. ed.: 669

Dedico este trabalho a minha mãe,
que sempre me incentiva a ir mais
longe

AGRADECIMENTOS

A minha mãe pela educação, dedicação, paciência e compreensão, além de ter lutado ao meu lado para eu realizar os meus sonhos.

Aos amigos, pelo incentivo que recebi nesses cinco anos de curso.

À Professora Maricely, pois parte deste trabalho que foi realizado se iniciou com ela.

À Professora e orientadora Camila, por todo esforço e paciência para me auxiliar da melhor forma possível.

Aos colegas da FEMAT 2013, principalmente quem esteve junto comigo em todo o processo.

Aos professores da Faculdade de Engenharia de Materiais pela contribuição de minha formação profissional.

*“I’m a sunflower that has bloomed
next to her”*

Sunflower – Super Junior

RESUMO

A demanda por alternativas biodegradáveis e provindas de fontes renováveis tem intensificado o estudo e a procura por novos fluidos de resfriamento no tratamento térmico de têmpera. Os principais indicados são os óleos vegetais, de fácil obtenção, biodegradabilidade e baixo custo como candidatos a substituintes dos meios convencionais. Por meio de transformações químicas, pode-se obter óleos de cadeias modificadas com propriedades distintas daquelas que naturalmente teriam. A epoxidação é uma das reações mais comuns para essa finalidade. O presente trabalho tem o objetivo de mostrar a utilização do óleo epoxidado de girassol como alternativa para aumento das propriedades mecânicas do aço SAE 1070. O óleo foi obtido a partir das sementes de girassol, caracterizado antes e depois da reação através das técnicas de Espectroscopia de Infravermelho e Índice de Iodo. O desempenho do óleo *in natura* e óleo epoxidado foi analisado através do ensaio de dureza e das microestruturas após o tratamento de têmpera seguido de revenimento. Observou-se que o óleo epoxidado de girassol apresentou valor maior dureza do que o óleo sem modificação química, mostrando a eficiência desse meio de resfriamento, e uma microestrutura homogênea.

Palavras-chave: Têmpera; Óleo de girassol; aço SAE 1070; Epoxidação.

ABSTRACT

The demand for biodegradable alternatives from renewable sources has intensified the study and search for new cooling fluids in heat quenching treatments. Vegetable oils are the most indicated as replacements for the conventional means of quenching because they are easily acquired, biodegradable and low cost. With chemical transformations, modified oil chains can be obtained with different properties from which they would naturally have. Epoxidation is one of the most common reactions for this purpose. The present work aims to show the use of epoxidized sunflower oil as an alternative to increase the mechanical properties of SAE 1070 steel. The oil was obtained from the sunflower seeds, characterized before and after the reaction through the techniques of Infrared Spectroscopy and Iodine Index. The performance of the in natura oil and epoxidized oil was analyzed by the hardness test and the microstructures after the quenching treatment followed by tempering. It was observed that the epoxidized sunflower oil had a higher hardness value than the oil without chemical modification, showing the efficiency of this cooling medium, and a homogeneous microstructure.

Keywords: Quenching; Sunflower oil; SAE 1070 steel; Epoxidation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Produtos oriundos dos óleos e gorduras vegetais.....	16
Figura 2 - Microestruturas da ferrita (a) e austenita (b)	22
Figura 3 - Diagrama de Equilíbrio de Fases Fe-Fe ₃ C	22
Figura 4 - Diagrama esquemático de têmpera seguida de revenido	23
Figura 5 - Martensita na forma de placas na microestrutura de um aço com 1,86%p C. As flechas indicam microtrincas.....	25
Figura 6 - Martensita na forma de ripas nas regiões A, B e C na microestrutura de um aço 0,2%p C	25
Figura 7 - Configuração dos interstícios octaédricos da estrutura TCC da martensita; a e c representam os parâmetros de rede da estrutura tetragonal de corpo centrado	26
Figura 8 - Aumento da dureza em decorrência do aumento de carbono	27
Figura 9 - Micrografia de um aço hipoeutetóide 0,38%pC apresentando uma microestrutura consistindo de perfil e ferrita proeutetóide. Aumento de 635x...29	
Figura 10 - Micrografia de um aço hipereutetóide 1,4%pC tendo uma microestrutura consistindo de cementita proeutetóide e perlita. Aumento de 1000x	30
Figura 11 - Fluxograma para a técnica Índice de Iodo	35
Figura 12 - Fluxograma para o processo de tratamento térmico de têmpera seguida de revenido	36
Figura 13 - Forno mufla utilizado para austenitização das amostras	37
Figura 14 - Durômetro da marca PANTEC utilizado para o ensaio de dureza..38	
Figura 15 - Espectrograma do óleo puro de girassol	40
Figura 16 - Espectrograma do óleo epoxidado de girassol	40
Figura 17 - Microestrutura aço SAE 1070 sem tratamento térmico. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%	42
Figura 18 - Microestrutur do aço SAE 1070 resfriado em água. As áreas brancas são de austenita retida. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%.	43
Figura 19 - Microestrutura do aço SAE 1070 submetido a têmpera em água seguida de revenido. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%	43
Figura 20 - Microestrutura do aço SAE 1070 após tratamento de têmpera em óleo de girassol epoxidado. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%	44
Figura 21 - Microestrutura do aço SAE 1070 submetido a têmpera com OGE seguido de revenido a 260°C. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%.....	44
Figura 22 - Microestrutura do aço SAE 1070 submetido a têmpera em óleo de girassol. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%	45
Figura 23 - Microestrutura do aço SAE 1070 submetido a têmpera seguida de revenido a 260°C em óleo natural de girassol. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teor de ácidos graxos em óleos vegetais	17
Tabela 2 - Composição química do óleo de girassol	18
Tabela 3 - Composição química básica do aço SAE 1070	19
Tabela 4 - Composição química do aço SAE 1070 fornecido pela empresa Metaltrom	36
Tabela 5 - Dados do tratamento de têmpera seguido de revenimento	37
Tabela 6 - Picos de Infravermelho e suas descrições para os óleos in natura e epoxidado	39
Tabela 7 - Valores de índice de iodo para as amostras dos óleos	41
Tabela 8 - Valores de dureza para o aço SAE 1070 após o tratamento de têmpera seguido de revenido em água, óleo e óleo epoxidado	41
Tabela 9 - Dureza aço SAE 1070 de acordo com a temperatura (dados fornecidos pelo fabricante)	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Ω	Ômega; gordura poli-insaturada
SAE	Society of Automotive Engineering
AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society for Testing Materials
HRC	Hardness Rockwell C
α	alfa
γ	gama
TCC	Tetragonal de corpo centrado
CFC	Cúbico de face centrada
IGE	Instituto de Geociências e Engenharias
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier
ICE	Instituto de Ciências Exatas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivos Gerais	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO TEÓRICA	16
3.1 Óleo Vegetal.....	16
3.2 Índice de Iodo	18
3.3 Reação de Epoxidação.....	19
3.4 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier.....	19
3.5 Aço e suas aplicações.....	19
3.6 Tratamento térmico	20
3.6.1.1 Endurecimento por transformação martensítica	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1. Extração do Óleo de Girassol.....	33
4.2. Epoxidação do Óleo de Girassol	33
4.3. Caracterização dos Óleos <i>in natura</i> e Epoxidado de Girassol.....	34
4.4. Tratamento Térmico de Têmpera	35
4.5. Ensaio de Dureza Rockwell.....	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1. Epoxidação do Óleo de Girassol	39
5.2 Tratamento Térmico de Têmpera do aço SAE 1070	41
6. CONCLUSÃO	47
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

No campo de melhorias das propriedades mecânicas dos aços, os tratamentos térmicos possuem grande atuação. Todo tratamento térmico realizado tem intuito de melhorar uma propriedade mecânica, seja ela resistência mecânica, dureza, limite de escoamento, resistência a corrosão, resistência a fadiga, resistência ao desgaste etc.

Dentre essas propriedades, a dureza (e propriedades como resistência à corrosão, resistência ao desgaste e à fadiga) é uma que pode ser elevada através do tratamento de têmpera, por meio da imersão do aço aquecido acima da temperatura de austenitização em líquidos na temperatura ambiente como água, solução de sais, óleos ou expostos a atmosferas gasosas. Os diferentes meios resultarão em diferentes microestruturas, dados os parâmetros como composição, temperatura e tempo de transformação.

Segundo Chiaverini (2008) e Copaert (2008), os meios de têmpera podem ser água, salmoura, soluções de polímeros, soluções de sais (como KCl ou NaCl), óleos minerais e gases inertes (como nitrogênio, argônio) e o ar atmosférico. Os óleos minerais são os meios mais indicados industrialmente quando se deseja obter dureza elevada com alívio de tensões, trazendo ao aço uma relação apreciável de resistência mecânica/tenacidade.

Os meios de resfriamento são responsáveis pela microestrutura final dos aços após a têmpera. Meios severos normalmente promovem taxas de resfriamento altas, resultando em uma microestrutura martensítica, enquanto que meios mais brandos podem promover taxas de resfriamento lentos, formando uma microestrutura de martensita e perlita.

Visando, então, a demanda por soluções menos danosas ao meio ambiente e à saúde, pesquisas realizadas com óleos vegetais e óleos vegetais modificados quimicamente mostraram potencial nesses produtos como alternativa aos óleos minerais utilizados normalmente como meios de resfriamento. Tendo isso em foco, o presente trabalho tem o propósito de apresentar a utilização do óleo vegetal *in natura* através da extração das sementes do girassol e do óleo modificado quimicamente por meio da reação de

epoxidação como alternativa aos óleos convencionais, devido à sua biodegradabilidade e não toxicidade.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo desenvolver óleo de girassol barato e eficiente, e a transformação química do óleo para que esses materiais sejam utilizados como meios de resfriamento de têmpera para o aço SAE 1070.

2.2 Objetivos Específicos

- Extração do óleo vegetal de girassol a partir do processo de prensagem hidráulica;
- Epoxidação do óleo de girassol;
- Análise da dureza e da microestrutura de amostras do aço SAE 1070 submetidas à têmpera em óleo vegetal de girassol;
- Análise da dureza e da microestrutura de amostras do aço SAE 1070 submetidas à têmpera em óleo epoxidado de girassol;

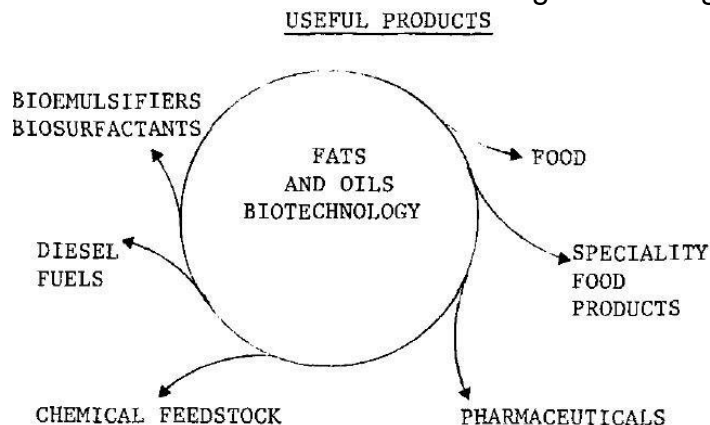
3. REVISÃO TEÓRICA

3.1 Óleo Vegetal

Os óleos, assim como as gorduras, são compostos insolúveis em água, de origem animal ou vegetal, resultados de esterificação entre o glicerol e ácidos graxos. Os óleos vegetais são uns dos produtos representantes resultantes da extração de plantas, tendo aproximadamente 2/3 de sua utilização na indústria alimentícia (*Aditivos e Ingredientes - Óleos Vegetais e o Estresse químico*, p. 4048, 2010; REDA, CARNEIRO, 2007).

Óleo é a denominação para lipídios, quando líquidos à temperatura ambiente. Gorduras também são lipídios, diferindo dos óleos pelo estado físico que se encontram à temperatura ambiente, isto é, estado sólido. Os óleos vegetais são predominantemente constituídos por triacilgliceróis (>95%), porém também possuem, em menores quantidades, outros constituintes chamados de componentes minoritários, além de possuírem de uma a quatro insaturações na cadeia carbônica (JORGE, 2009; REDA, CARNEIRO, 2007). São facilmente obtidos através da prensagem de suas sementes de plantas oleogênicas e possuem grande produção e diversidade culturais no Brasil. Os óleos vegetais podem sofrer diversas mudanças químicas, tornando-se produtos ou intermediários para inúmeras aplicações industriais nas áreas alimentícias, farmacêuticas, plásticas, área de tintas (figura 1), além da utilização como meio de resfriamento do tratamento térmico do tipo têmpera, entre outros (OTERO, 2014).

Figura 1 - Produtos oriundos dos óleos e gorduras vegetais



Fonte: Adaptado de Rattray (1984)

O que torna os óleos vegetais matérias-primas reativas está relacionado às insaturações presentes na composição dos ácidos graxos desses óleos, tornando possível a enumeração de vários fatores que favorecem a reatividade desse material. Pode-se citar o número de insaturações, a presença de hidrogênios alílicos; e a isomeria de configuração das duplas ligações. Assim, óleos que possuem quantidades consideradas de ácidos graxos são viáveis para processos químicos, como epoxidação e processos de polimerização (CAILLOL et al., 2012; HERNÁNDEZ, 2015; MELLO, 2011; MIAO et al., 2013; NETA, 2011). Portanto, porcentagens apreciáveis dos ácidos oleicos, linoleicos e linolênicos são indicadores da potencialidade dos óleos vegetais como matérias-primas na indústria. A seguir a Tabela 1 apresenta os principais ácidos graxos presentes nos óleos vegetais.

Tabela 1 - Teor de ácidos graxos em óleos vegetais

Óleos	Ácidos graxos saturados (%)	Ác. Graxo oleico (%)	Ác. Graxo linoleico (%)	Ác. Graxo linolênico (%)
Canola	6	58	26	10
Girassol	11	2	69	-
Milho	13	25	61	1
Oliva	14	77	8	< 1
Soja	15	24	54	7

Fonte: Adaptado de Aditivos e Ingrediente, Óleos vegetais e o Estresse químico, p. 41. 2010.

3.1.1 Óleo de Girassol

O óleo de girassol é obtido das sementes de *Helianthus annus L.* através de processos de extração e refino (ANVISA, 1999). Utilizado como alimento pelos índios americanos, o girassol origina-se da América do Norte. Introduzido nos continentes asiático e europeu no século XVI, a flor foi considerada bela sendo utilizada como decoração e hortaliça. Quem descobriu o potencial do óleo oriundo do girassol foram os russos e atualmente a planta é cultivada mundialmente. (*Aditivos e Ingredientes - Óleos Vegetais e o Estresse químico*, p. 43, 2010).

Considerado um produto nobre, o óleo de girassol ganha essa característica através de suas propriedades nutricionais; possui altas concentrações de ácido linoleico e vitamina E. O óleo do girassol possui aparência límpida, coloração dourada clara tendo odor e sabor característicos, e é bastante utilizado no preparo de alimentos (*Aditivos e Ingredientes - Óleos Vegetais e o Estresse químico*, p. 43, 2010). A Tabela 2 apresenta a composição química do óleo de girassol

Tabela 2 - Composição química do óleo de girassol

Ácido graxo	Estrutura	Valor de referência (%)
Ác. Láurico	C12:0	≤ 1
Ác. Mirístico	C14:0	≤ 2
Ác. Palmítico	C16:0	5 – 8
Ác. Palmitoleico	C16:1	≤ 0,3
Ác. Estearico	C18:0	2,5 – 7
Ác. Oleico (Ω 9)	C18:1	13 – 40
Ác. Linoleico (Ω 6)	C18:2	48 – 74
Ác. Linolênico (Ω 3)	C18:3	≤ 0,3
Ác. Aríquidico	C20:0	0,2 – 0,5
Ác. Eicosenoico	C20:1	≤ 0,5
Ác. Behênico	C22:0	0,5 – 1,3
Ác. Erúcico	C22:1	≤ 0,5
Ác. Lignocérico	C24:0	≤ 0,4

Fonte: Adaptado de <http://www.campestre.com.br/oleos-vegetais/oleo-de-girassol/oleo-de-girassol-ficha-tecnica/>

Ω (3, 6 e 9): *ômega; gordura poli-insaturada*

3.2 Índice de Iodo

O índice de iodo indica a medida de instauração de uma gordura ou óleo insaturado, pois cada ligação dupla do ácido graxo presente pode incorporar dois átomos halogênicos (JORGE, 2009). Desse modo, quanto maior essa incorporação devido a quanto maior for as insaturações do ácido graxo, maior será o índice de iodo. A determinação do grau de instauração é de extrema importância para classificação dos óleos e gorduras e controle de alguns

processos, podendo ser expresso não somente por iodo, mas por outros halogênios como bromo, flúor e cloro (FUENTES, 2011; JORGE, 2009).

3.3 Reação de Epoxidação

A reação de epoxidação normalmente decorre de um ataque através de um perácido orgânico ou peróxido de hidrogênio à dupla ligação da cadeia carbônica, a epoxidação formará grupamentos epóxi no final da reação (HERNÁNDEZ, 2015; LLIGATAS et al., 2006). É uma reação de funcionalização importante dentre as ligações de carbonos, produzindo desde *commodities* até intermediários e produtos químicos finos e farmacêuticos (HERNÁNDEZ, 2015). Sendo uma das mais importantes modificações químicas que ocorre em uma ligação dupla, a epoxidação pode acontecer através, também, de um ácido catalisador ou métodos enzimáticos (ALTUNA, PETTARIN, WILLIAMS, 2013). Também pode-se realizar a epoxidação através de ácidos percarbóxílicos, halohidrina e oxigênio molecular (SAREMI et al., 2012).

3.4 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier

A espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier tem base na interferência de radiação entre dois feixes para produção de um interferograma. Este é um sinal produzido na forma de alteração do caminho ótico entre os feixes. Os domínios da distância e da frequência são interconvertidos pelo método da Transformada de Fourier (MARIN, 2013)

3.5 Aço e suas aplicações

Aço é toda liga ferro-carbono que contém geralmente teores de carbono entre 0,008% a aproximadamente 2,11%, além de elementos residuais, provindos dos processos de fabricação (CHIAVERINI, 2008). Os aços fornecem exemplos da maioria das reações e microestruturas para ajuste de suas propriedades, além de se tornarem materiais estruturalmente dominantes. A versatilidade desses materiais é evidente pela quantidade de aços produzidos, como por exemplo os aços doces e duros, aços com elevada resistência à corrosão, aços com propriedades magnéticas atenuadas ou não, aços ferramentas, aços rápidos, etc. (VAN VLACK, 1981).

3.5.1 Aço SAE 1070

O aço SAE 1070 ou AISI 1070 é a liga ferro-carbono de alto teor de carbono, acima de 0,5%, sendo classificado entre os aços SAE da série 1055 a 1095. Aços dessa série são utilizados em molas que requerem resistência a fadiga, também são utilizados em condições de dureza de 55 HRC ou acima, onde a resistência à abrasão é primeiramente requerida (ASM METALS HANDBOOK, vol. 1).

O aço SAE 1070 é utilizado na fabricação de peças planas exigentes de propriedades mecânicas onde o processo sofrerá baixo grau de conformação e redução de tempo. Sua principal característica é a alta resistência mecânica aliada à boa tenacidade (PAZINI, 2011). Também conhecido como aço mola, o aço SAE 1070 recebe essa nomenclatura devido a sua utilização na confecção de molas pelas indústrias agrícolas (ferramentas de lavouras como enxadas), automobilísticas, mecânica, linha branca, instrumentos de corte, cutelaria, construções civis, ferramentas entre outros. Na cutelaria é utilizado em conjunto com outros aços no processo para formação dos aços tipo damasco (PAZINI, 2011). A Tabela 3 apresenta a composição química do aço SAE 1070.

Tabela 3 - Composição química básica do aço SAE 1070

Elemento	Composição (%)
Carbono	0,65~0,75
Manganês	0,60~0,90
P	0,04 (máximo)
S	0,05 (máximo)

Fonte: Adaptado de ASTM D29

3.6 Tratamento térmico

Os tratamentos térmicos são importantes operações de aquecimento e resfriamento em que os aços são submetidos sob condições de temperatura, tempo, velocidade de resfriamento e atmosfera na finalidade de se obter determinadas características ou alterações das características já existentes nos aços e ligas, como eliminação dos efeitos do trabalho a frio, controle do endurecimento ou melhoria na usinabilidade, para determinada aplicação

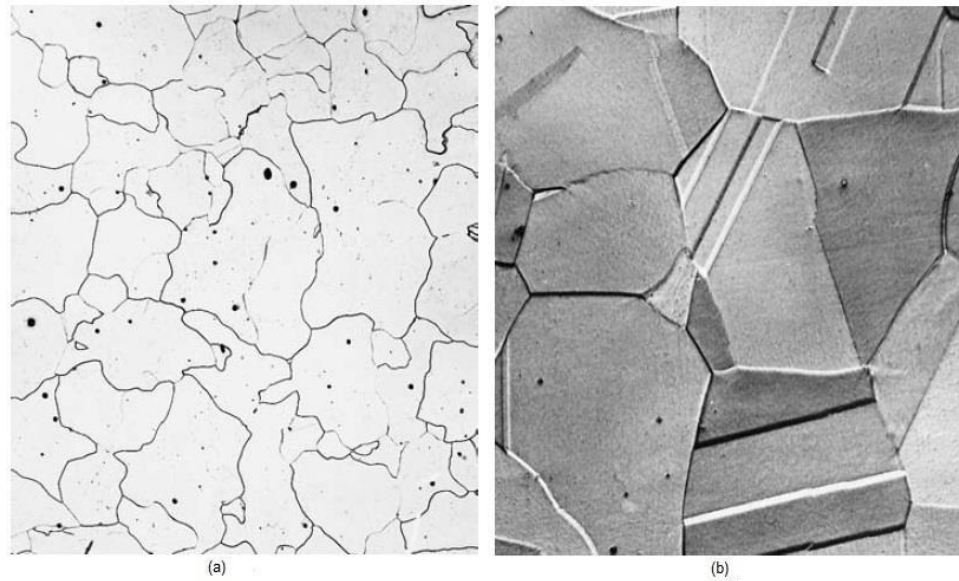
(ASKELAND, 2015; CHIAVERINI, 2008; KRAUSS, 1989). Entre esses, outros objetivos podem ser atingidos através dos tratamentos térmicos como:

- Remoção de tensões residuais oriundas de resfriamentos, trabalho mecânico, etc.;
- Aumento ou diminuição da dureza;
- Melhorias da ductilidade, das propriedades de corte, resistências ao desgaste, ao calor, à corrosão, mecânica;
- Modificação das propriedades magnéticas e elétricas;

Os tratamentos térmicos incluem um conjunto de processos como recozimento, normalização, tratamentos termoquímicos, têmpera, revenimento, etc. Dentre esses, a têmpera seguida de revenimento é o tratamento em que se obtém maior capacidade de suportar solicitações mecânicas, além de ser a operação que produz maior dureza e resistência à tração (BATES, CLINTON, TOTTEN, 1993; CHIAVERINI, 2008; OTERO, 2014).

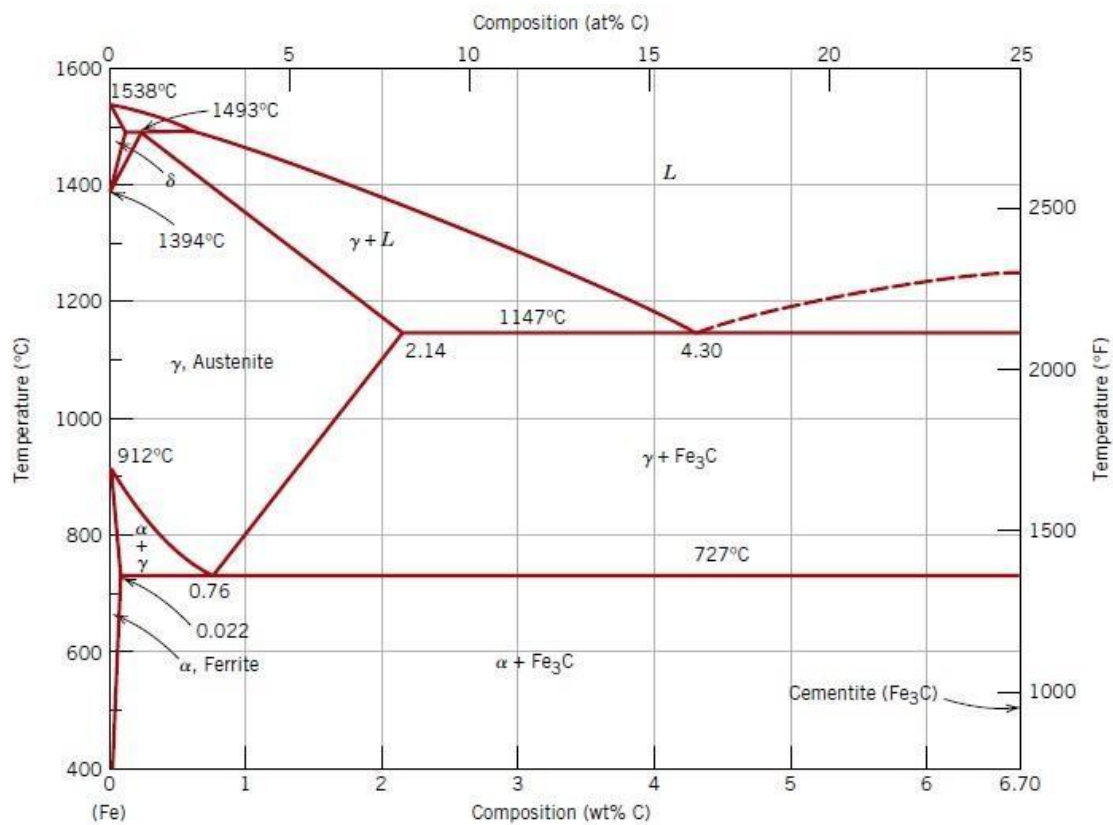
Os tratamentos térmicos dos aços são baseados no diagrama ferrocementita (Fe-Fe₃C), mais especificamente na região que compreende até 2,11% de carbono dissolvido no ferro. Nessa região maior, encontram-se regiões definidas por linhas chamadas *solidus* ou *liquidus* que delimitam cada fase estável do aço, além de serem linhas de equilíbrio entre uma fase e outra. A região apresenta um ponto onde as fases α + Fe₃C (ferrita + cementita) são completamente transformadas em γ (austenita) (figura 2), esse ponto é chamado de eutetóide. A temperatura e o teor de carbono cujos valores correspondem a esse ponto são em torno de 727°C e 0,76% (figura 3) (ASKELAND, 2015; CALLISTER, 2008; CHIAVERINI, 2008; VAN VLACK, 1981).

Figura 2 - Microestruturas da ferrita (a) e austenita (b)



Fonte: Adaptado de Callister (2008)

Figura 3 - Diagrama de Equilíbrio de Fases Fe-Fe₃C



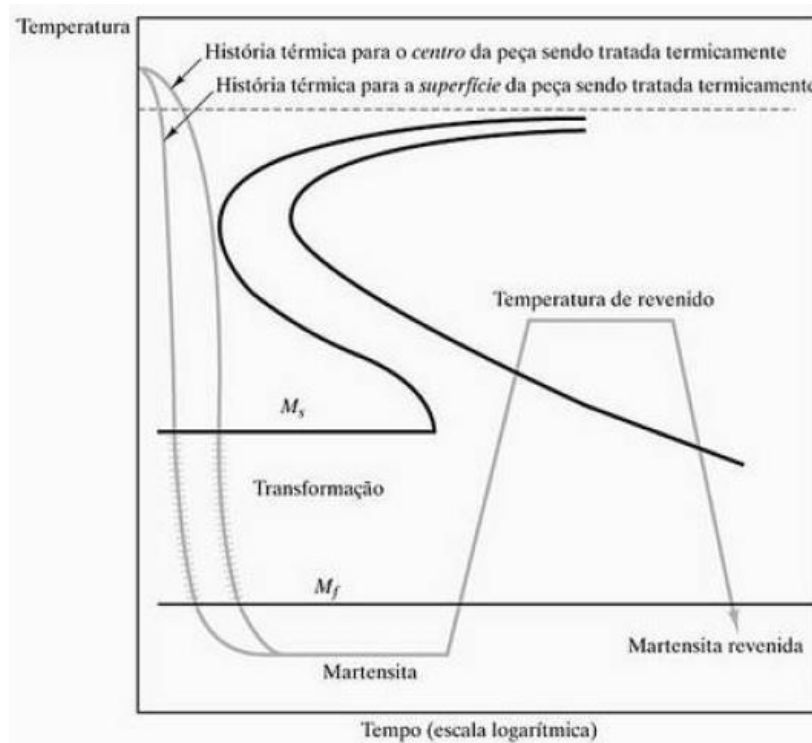
Fonte: Adaptado de Callister (2008)

3.6.1 Tratamento Térmico de Têmpera

Dos vários tratamentos térmicos, a têmpera é o mais antigo e usual utilizado para os aços indo das eras das confecções manuais de espadas e

katanas (espadas japonesas) até a atual época em que esses instrumentos de balata se tornaram peças de decoração (SANTOS, 2013). Utilizada para aumentar propriedades como dureza, resistência ao desgaste e resistência mecânica, a têmpera é realizada entre temperaturas de 750°C e 1100°C, quando a peça atinge a temperatura de austenitização e é resfriada rapidamente abaixo da temperatura inicial de formação da fase martensítica (M_i) (figura 4).

Figura 4 - Diagrama esquemático de têmpera seguida de revenido



Fonte: Adaptado de Shackelford (2006)

3.6.1.1 Endurecimento por transformação martensítica

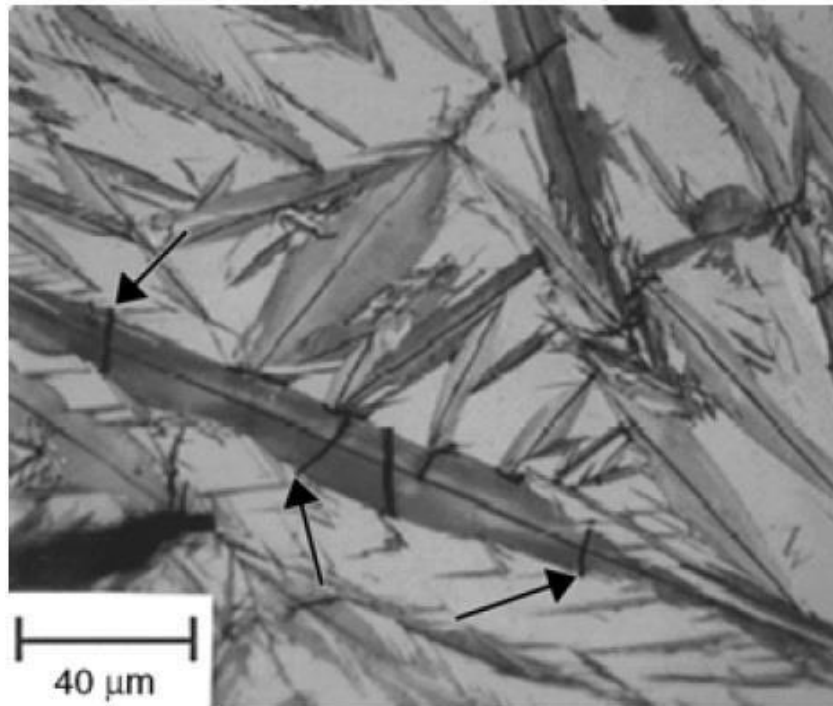
Através da energia elástica gerada do resfriamento rápido que se dissipa localmente com escorregamento de planos cristalinos (cisalhamento), ocorre a supersaturação de carbono no poliedro cúbico de face centrada, causando uma deformação do reticulado, transformando-o em tetragonal de corpo centrado – estrutura cristalina referente à martensita (figura 5) (HONEYCOMBE, BHADESHIA 2006). Dessa maneira, tem-se o aumento da dureza da peça, porém a fragilidade do material também aumenta, e propriedades como ductilidade e tenacidade diminuem, além da presença de tensões internas e térmicas (chamadas de trincas de têmpera) causada pelo gradiente volumétrico

entre a região temperada e a região não temperada (CHIAVERINI, 2008; COLPAERT, 2008).

Diferente das fases ferrita ou perlita, a formação da martensita não é através do mecanismo de difusão (HONEYCOMBE, BHADSHIA 2006). A deformação causa na região transformada uma mudança de forma consistindo em expansão de volume. Essa região é contraída pelas regiões vizinhas, gerando as formas de placa e ripa da martensita, como mostrados nas figuras 5 e 6, em ordem para diminuir a energia de tensão causada pela deformação (HONEYCOMBE, BHADSHIA, 2006).

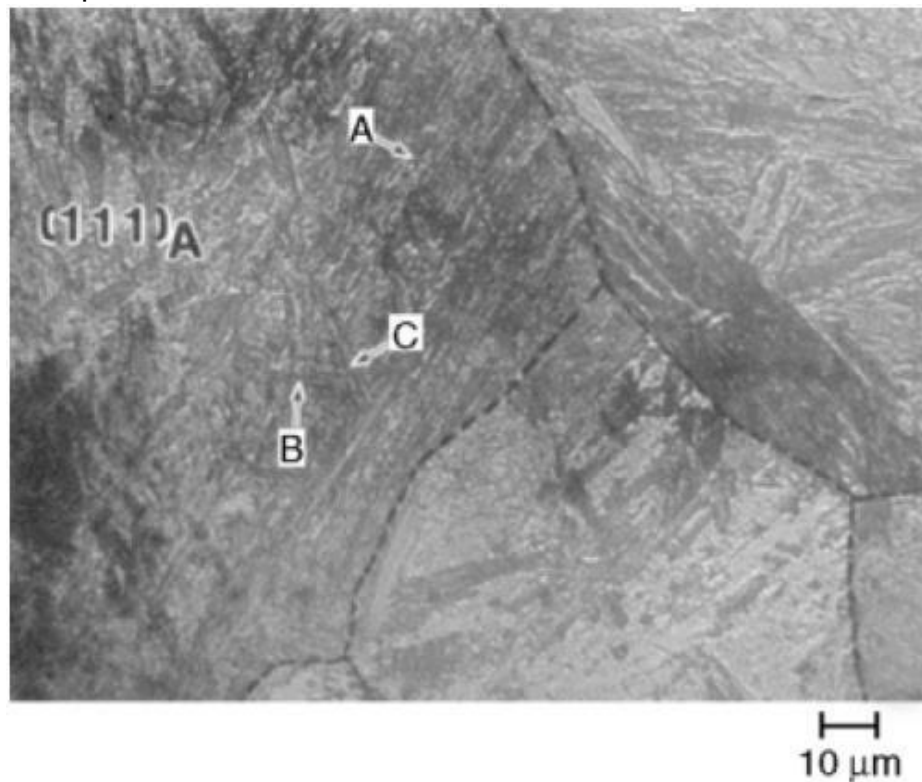
A forma de placas é o tipo mais convencional de estrutura da martensita, possuindo internamente maclas paralelas com cerca de $0,1\mu\text{m}$ de espessura, e o outro tipo é o de ripa (ou blocos), contendo em seu interior uma densidade de discordâncias alta (DIETER, 1981). Essa densidade presente nas ripas é de magnitude comparada com a de um metal altamente deformado. Parte da resistência da martensita advém dos bloqueios que impedem o deslizamento provocados pela alta densidade de discordâncias das ripas ou a estrutura das maclas dentro das placas (DIETER, 1981).

Figura 5 - Martensita na forma de placas na microestrutura de um aço com 1,86%p C. As flechas indicam microtrincas



Fonte: Adaptado de ASM Metals Handbook, vol 9 (2004)

Figura 6 - Martensita na forma de ripas nas regiões A, B e C na microestrutura de um aço 0,2%p C

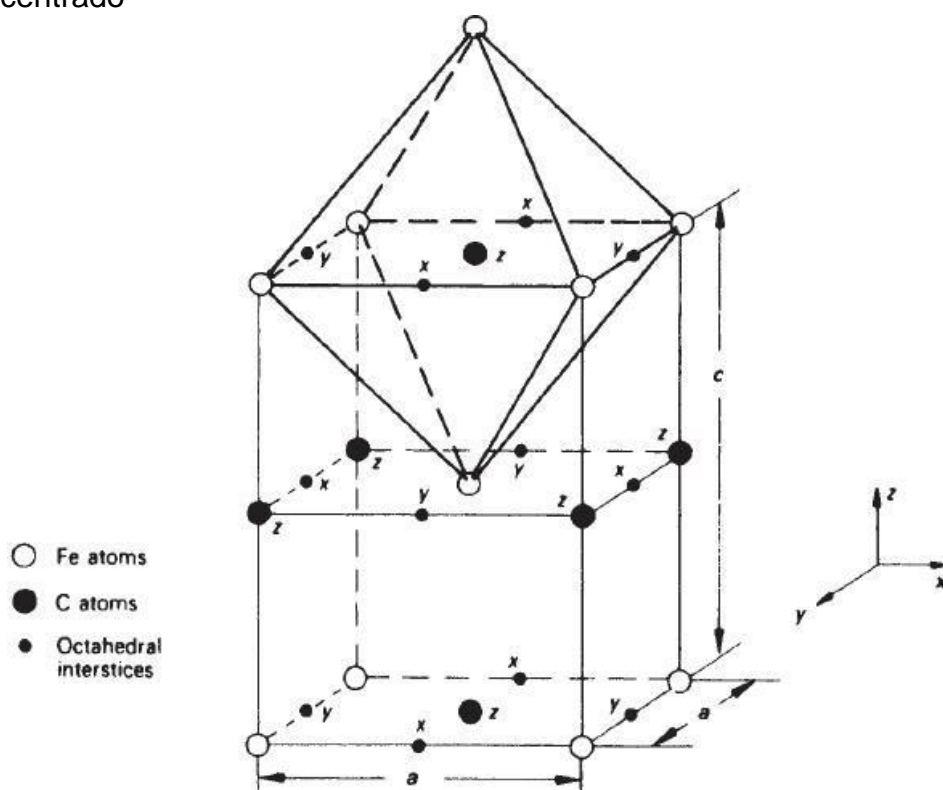


Fonte: Adaptado de ASM Metals Handbook, vol 9 (2004)

Esse tipo de tratamento térmico é mais aplicado em aços com teor de carbono acima de 0,4%, em que a quantidade de martensita é apreciável para uma dureza adequada (KRAUSS, 1989). A distorção do reticulado CFC (cúbico de face centrada) que forma o TCC (tetragonal de corpo centrado) é maior quanto mais alto for o teor de carbono. Aços com teor de carbono abaixo de 0,4% apresentam estrutura martensítica, mas não suficiente para apresentar uma dureza elevada devido às pequenas diferenças entre os parâmetros a e c da estrutura tetragonal de corpo centrado resultante (figura 7).

O aumento do teor de 0,4% favorece o uso de meios menos severos para têmpera, cuja razão é encontrada no deslocamento das curvas TTT para a direita. Por outro lado, esse deslocamento acompanha a diminuição das temperaturas inicial e final de formação da martensita (M_i e M_f), favorecendo a retenção de austenita (CHIAVERINI, 2008; HONEYCOMBE, BHADSHIA 2006; SILVA, 2010).

Figura 7 - Configuração dos interstícios octaédricos da estrutura TCC da martensita; a e c representam os parâmetros de rede da estrutura tetragonal de corpo centrado

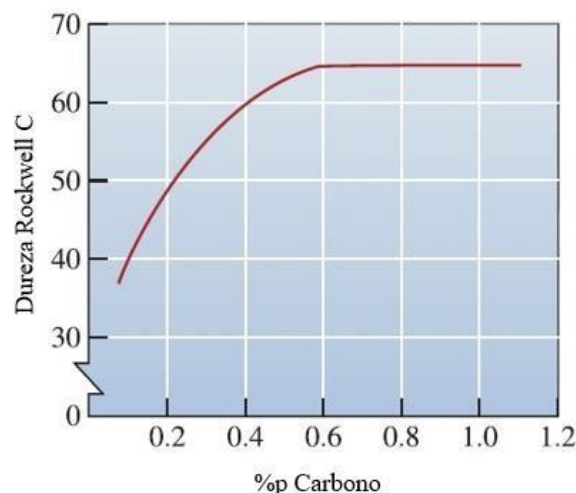


Fonte: Adaptado de HONEYCOMBE e BHADSHIA (2006)

O teor de carbono é fator primordial para elevação da dureza em um aço. Especificamente, esse teor influencia na quantidade de carbono dissolvido na austenita após a austenitização. A explicação encontra-se no fato desta quantidade de carbono interagir na transformação austenita-martensita e ter relevada influência na dureza da martensita (LISCIC, 2006). Abaixo é apresentada a figura 8 mostra a variação dos valores de dureza com o teor de carbono.

O resfriamento ocorre em meios líquidos e gasosos. Os meios líquidos são água, água contendo sal ou aditivos cáusticos, óleo, óleo contendo aditivos e soluções líquidas de polímeros; e os meios gasosos são o ar e os gases inerentes como nitrogênio, argônio e hélio (CHIAVERINI, 2008; COLPAERT, 2008; SILVA, 2010). Estes são mais utilizados após a austenitização a vácuo. A água é o meio de têmpera mais antigo, mais barato e rápido. Pode ser feito de diversas maneiras: imersão, a jato (água aquecida ou não). A temperatura desse meio é entre 15 e 25°C. É o meio onde se obtém os maiores valores de dureza, porém pode ocorrer os defeitos já mencionados, as trincas de têmperas, empenamento e fissuração. Soluções salinas e cáusticas devem ser utilizadas em baixas concentrações pela possibilidade de corrosão (meio salino) e clareamento da cor das peças (meio cáustico) (COLPAERT, 2008).

Figura 8 - Aumento da dureza em decorrência do aumento de carbono



Fonte: Adaptado de Askeland (2006)

O óleo é utilizado como meio para o resfriamento rápido, ficando apenas abaixo da água e das soluções salinas, e é um dos meios de têmpera mais brandos, juntamente com o ar e os gases inertes. O óleo é empregado quando

há grandes chances de ocorrência das trincas de têmpera e empenamento. Dentre os tipos de óleos utilizados, os provenientes de minerais são mais utilizados pela baixa deterioração com o uso, em relação aos óleos vegetais. Na escolha do óleo, deve-se levar em consideração sua capacidade de têmpera, facilidade de aquisição, estabilidade, passividade química, baixo custo e não deve ser inflamável (COLPAERT, 2008; OTERO, 2014).

Estudos realizados desde os anos 90 mostram a potencialidade da substituição dos óleos convencionais (minerais) de têmpera pelos óleos vegetais, tendo em vista os impactos tanto ambientais (liberação de compostos sulfonados) quanto de saúde (formação de compostos cancerígenos) proporcionados por aqueles, enquanto estes mostram-se candidatos adequados como meios de têmpera (FARAH, 2002; OTERO, 2014; SOUSA et al., 2013, 2012; TOTTEN et al., 1999) devido às vantagens como fonte renovável, biodegradabilidade inerente, baixo risco de toxicidade e biotoxicidade, altos pontos de fulgor e de ebulição, entretanto também apresentam as seguintes desvantagens: instabilidade de oxidação, estabilidade hidrolítica e faixa de viscosidade limitada (BRENNAN & FAULKNER, 1996; FARAH, 2002; HICK, 1998; HONARY, 1996; MOORE, 2001).

Os óleos de soja (HONARY, 1996; TOTTEN et al., 1999), canola (BRENNAN & FAULKNER, 1996; HONARY, 1996) e girassol (HONARY, 1996) mostraram resultados eficazes nas propriedades como meios de têmpera, como alto ponto de fulgor (canola) e taxa de resfriamento máxima (girassol com 90°C/s), mostrando a potencialidade desses óleos como meios de têmpera.

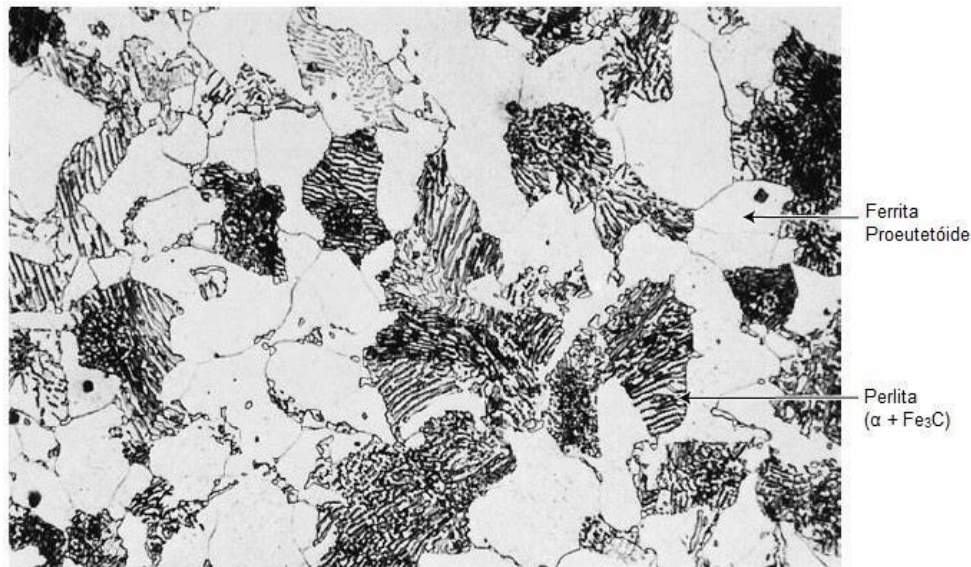
Outros fatores também devem ser mencionados como a temperatura de aquecimento, a velocidade de resfriamento, o meio onde a peça será resfriada, a severidade de têmpera, e o tamanho e a geometria da peça (FARAH, 2002).

A temperatura de aquecimento durante o processo de têmpera deve ser considerada pois afeta a estrutura final da peça. Aços tanto hipoeutetóides quanto hipereutetóides devem ser aquecidos acima da temperatura de início da formação de austenita (A_1). Para se obter uma dureza elevada, a microestrutura da peça a ser temperada deve ser constituída quase que totalmente de austenita. Para que seja obtida essa microestrutura, a temperatura de aquecimento deve

ser acima da linha de transformação da região $\gamma + \alpha$ (A_3) para aços hipoeutetóides (figura 9), consistindo em uma microestrutura inteiramente de austenita (γ) e para os aços hipereutetóides (figura 10), o aquecimento acima de A_1 é suficiente, tendo na microestrutura final particulados de cementita, que não apresentam riscos na dureza da peça (CHIAVERINI, 2008).

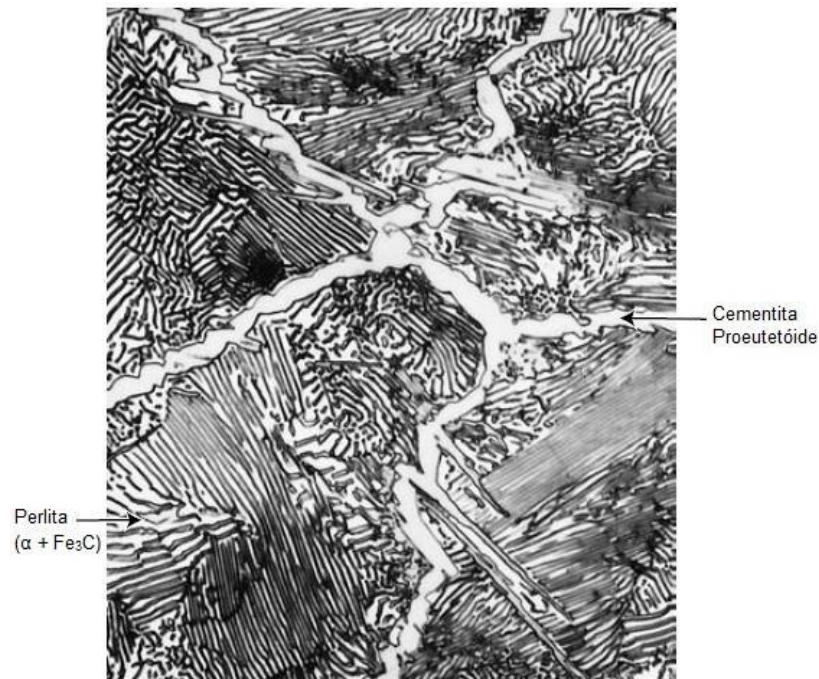
A velocidade de resfriamento deve ser monitorada para que não aconteça transformação da austenita a altas temperaturas. Essas transformações podem resultar em estruturas mistas, que ocasionam o aparecimento de pontos moles e conferem baixos valores de limites de escoamento e resistência ao choque para o aço (CHIAVERINI, 2008).

Figura 9 - Micrografia de um aço hipoeutetóide 0,38%pC apresentando uma microestrutura consistindo de perlita e ferrita proeutetóide. Aumento de 635x



Fonte: Adaptado de Callister (2008)

Figura 10 - Micrografia de um aço hipereutetóide 1,4%pC tendo uma microestrutura consistindo de cementita proeutetóide e perlita. Aumento de 1000x



Fonte: Adaptado de Callister (2008)

A severidade de têmpera indica a taxa de resfriamento, ou seja, quanto maior a velocidade de resfriamento, mais severa será a têmpera. Dentre os meios de têmpera, a água é o mais severo, seguido pelo óleo e ar. Têmpera em água sugere um resfriamento muito severo, podendo causar trincas e empenamentos; enquanto que esse tratamento térmico em óleo diminui as chances de causar trincas e empenamentos. Além disso, óleo é o meio mais utilizado para temperar muitos aços-liga. O resfriamento em ar é menos severo, porém a microestrutura final é quase inteiramente formada por perlita. Também é muito usado em vários aços-liga (CHIAVERINI, 2008; COSTA, 2010).

Intrínseco à severidade de têmpera, o meio de resfriamento exerce importância devido à sua capacidade de têmpera atrelada a fatores importantes dos líquidos como suas naturezas e temperaturas pois a absorção de calor depende desses fatores. A capacidade térmica da água diminui com o aumento da temperatura até e após o ponto de ebulição (COLPAERT, 2008).

À medida que a peça esfria, ocorre três estágios da têmpera em meio líquido:

1. Um filme de vapor se forma sobre a peça atuando como isolante térmico, o que diminui a taxa de resfriamento. Adições de sais dos tipos cloretos de potássio e de lítio suprimem essa camada de vapor. Utilizando a água como meio de têmpera, a camada de vapor formada é particularmente longa. Para sanar esse problema, basta agitar a peça no início, rompendo o filme contínuo;
2. Com o colapso do filme de vapor, a taxa de resfriamento aumenta, formando bolhas de vapor na superfície da peça. A agitação é importante para evitar a permanência das bolhas de vapor nos mesmo locais por tempos longos pois elas são as causas dos pontos moles – pontos de menor resfriamento;
3. Interrupção da formação das bolhas de vapor quando a temperatura da superfície da peça fica abaixo do ponto de ebulição do meio de têmpera. Agora o resfriamento ocorre por convecção e condução. Esse resfriamento é controlado pela capacidade calorífica do meio de têmpera, pelas condições interfaciais peça-meio de têmpera e pela agitação (SILVA, 2010).

O tamanho e a geometria influenciam na dissipação da energia térmica. Essa dissipação é relacionada à taxa de resfriamento, e esta depende da razão entre a área de superfície e a massa da amostra; quanto maior for a razão, mais rápida a taxa de resfriamento e, como consequência, maior o efeito do endurecimento. Formas como arestas e cantos apresentam razões superfícies/massa maior do que formas arredondadas e regulares e, por essa razão, são mais suscetíveis a endurecimento por têmpera (CALLISTER, 2008; COLPAERT, 2008).

3.6.1.2. Temperabilidade

O conceito de temperabilidade pode ser definido como a taxa de elevação do teor de martensita formada em função da distância da superfície ao interior de uma liga. Aços de alta temperabilidade apresentam maior fase martensítica em uma distância maior entre a superfície e o interior, enquanto peças de aço de baixa temperabilidade apresentam martensita numa distância menor. Em geral, aços que são considerados efetivamente temperados possuem mais de 50% de martensita formada após a têmpera (OTERO *apud* TOTTEN et al., 2014).

Altas velocidades dos meios de têmpera fornecem baixa temperabilidade necessária, porém altas velocidades de resfriamento provocam choques térmicos severos que, por sua vez, provocam trincas de têmpera e empenamento. Por essa razão, na prática industrial, são comumente utilizados óleo e ar como meios de têmpera para diminuir a possibilidade da ocorrência de problemas ligados a meios mais severos de têmpera (REED-HILL, 1982).

3.6.1.3. Revenimento

O aumento da dureza de uma peça de aço traz consigo uma problemática: o aumento da fragilidade – redução da tenacidade e ductilidade. Isso é causado pela formação da martensita, que, após a têmpera, garante tal dureza ao aço. Peças deixadas assim sofrem grande risco de trincas (exceto quando o tratamento é feito em peças de baixo teor de carbono que, como já visto, não é o mais indicado a realizar), além de não haver emprego prático devido à baixa tenacidade (SILVA, 2010).

Desse modo, realizar um aquecimento até abaixo da temperatura de austenitização e permanecer um período de tempo suficiente nesta é eficaz para obtenção de uma melhor relação dureza-tenacidade (SILVA, 2010). As mudanças nas propriedades dependem da temperatura e do tempo de revenimento. Geralmente, nos primeiros minutos acontece a queda acentuada da dureza, mas a partir de duas horas de tratamento a diminuição da dureza não é mais expressiva. Para que se essa propriedade seja diminuída, opta-se por aumentar a temperatura de revenimento do que manter o aço a um longo período de tempo – o que pode causar o fenômeno de esferoidização (SILVA, 2010).

Nesse aquecimento, o fornecimento de energia favorece à difusão dos átomos de carbono supersaturados na estrutura martensítica, precipitando-os na forma de carbonetos, o que causa a diminuição da dureza, além do alívio de tensões de têmpera através do revenimento (SILVA, 2010).

Para aços carbono, os estágios de revenimento são em função da temperatura:

1°. Até 250°C: ocorre a precipitação de carbonetos na forma de ripas ou barras redondas, reduzindo o teor de carbono martensítico para cerca de 0,25%. A martensita perde parcialmente sua tetragonalidade. Essa precipitação, em

aços de alto teor de carbono, leva ao aumento da dureza através do mecanismo de endurecimento por precipitação;

2°. 200 a 300°C: a austenita retida é decomposta entre 230 e 300°C, formando ferrita e cementita com características bainíticas;

3°. 200 a 350°C: a martensita perde sua tetragonalidade quando ocorre precipitação de cementita na faixa de 100 a 300°C transformando-se em ferrita.

4°. 350 a 700°C: início do coalescimento da cementita tornando-se esferoidal a 700°C. A densidade de discordância é reduzida significativamente com apresentação de ferrita com os mesmos contornos das ripas martensíticas. Na faixa de 600 a 700°C, a recuperação (diminuição da densidade de discordância) dá lugar à recristalização, formando ferrita equiaxial com partículas de cementita esferoidal no interior e no contorno (SILVA, 2010).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Extração do Óleo de Girassol

A extração do óleo de girassol foi realizada através do método de prensagem. As sementes foram obtidas descascadas e então levadas a estufa na temperatura de 60°C por 1h. O processo de extração se deu por meio de prensa hidráulica, aplicando uma força de 3 a 9tf para extração total do óleo.

4.2. Epoxidação do Óleo de Girassol

A reação de epoxidação do óleo de girassol seguiu a metodologia adaptada de MONTEAVARO (2005) e NETA (2011). 50 gramas de óleo de girassol foram misturados com 93mL de ácido acético, 100mL tolueno e 30 gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) em banho-maria a 30°C. A solução foi agitada mecanicamente por 20min, foram adicionados 53mL de peróxido de hidrogênio 50% lentamente e a temperatura foi aumentada para 60°C. A reação durou 720min.

Após o tempo de reação, o aquecimento foi desligado e uma solução de bissulfito de sódio 10% m/v foi adicionada e posteriormente acrescentou-se uma solução de carbonato de sódio 30% m/v para neutralização do ácido remanescente. A fase orgânica foi lavada em funil de decantação e em seguida

filtrada após adição de sulfato de sódio anidro. A fase orgânica foi levada para uma capela e lá permaneceu até eliminação do solvente remanescente.

4.3. Caracterização dos Óleos *in natura* e Epoxidado de Girassol

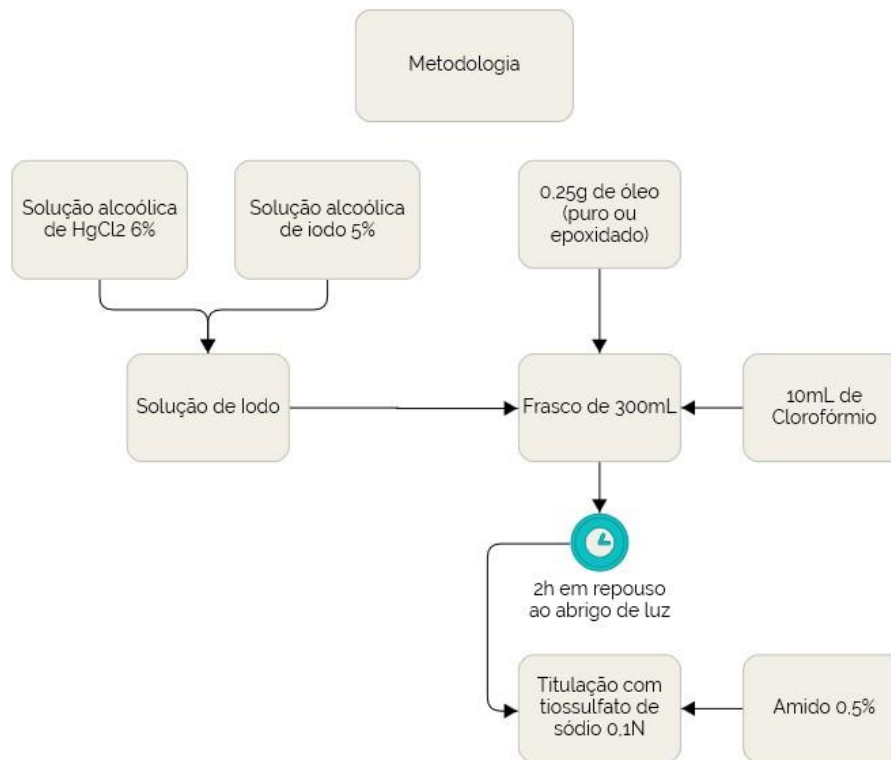
As caracterizações foram realizadas através da técnica de Índice de Iodo e Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier.

4.3.1. Índice de Iodo

Para o teste de iodo, aproximadamente 0,25g foram pesadas em um vidro de relógio, e transferidas para um frasco de 300mL com rosca esmerilhada e adicionados 10mL de clorofórmio. 20mL de solução de iodo (mistura de soluções alcoólicas de iodo a 5% e cloreto de mercúrio 6% de mesmo volume e deixadas 12 a 24 horas antes de realizar a técnica) foram adicionados ao frasco e as misturas do óleo *in natura* e do óleo epoxidado permaneceram em repouso por 2 horas, ao abrigo da luz, agitando ocasionalmente. 10mL de uma solução de iodeto de potássio 15% preparada foi adicionada juntamente com 100mL de água destilada. O excesso de iodo foi titulado com solução de tiosulfato de sódio padronizada 0,1N. A solução tomou coloração amarela e 1mL de solução 0,5% como indicador foi adicionada e a titulação se prosseguiu até a coloração azul formada desaparecer (figura 11).

4.3.2. Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier

A técnica foi realizada no Laboratório de Análises Químicas da Faculdade de Química (ICE) através do equipamento Cary 630 FTIR com comprimento de onda na faixa de 650 a 4000cm⁻¹. Fez-se as análises dos óleos (*in natura* e epoxidado) para comprovar o desaparecimento das insaturações com formação de grupos epóxis.

Figura 11 - Fluxograma para a técnica Índice de Iodo

Fonte: Autor

4.4. Tratamento Térmico de Têmpera

Uma chapa de aço SAE 1070 fornecida pela empresa Metaltrom Ferro e Aço de composição descrita na tabela 4 foi cortada em seis amostras de dimensões 2,5x1,5cm para o processo de têmpera.

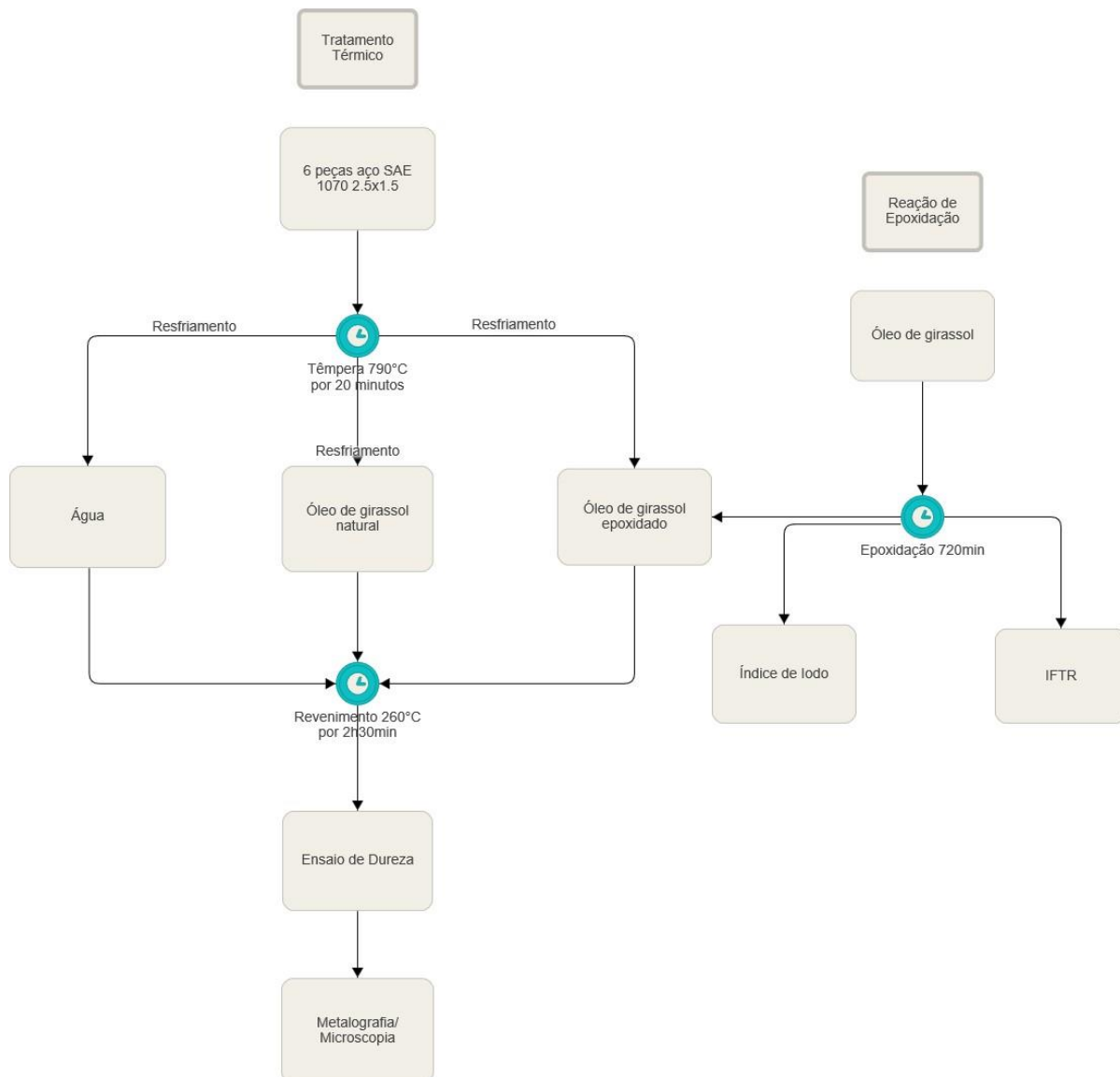
Tabela 4 - Composição química do aço SAE 1070 fornecido pela empresa Metaltrom

C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Cu	Ni	Mo
0,720	0,230	0,680	0,010	0,000	0,330	0,004	-	0,010	0,003

As peças foram levadas para o Laboratório de Solidificação/Tratamentos Térmicos da Faculdade de Engenharia de Materiais (IGE) e aquecidas em forno mufla da marca JUNG (figura 12) até temperatura de austenitização e deixadas por um período de tempo suficiente para total transformação da microestrutura. Recipientes contendo os meios de resfriamento (água, óleo e óleo epoxidado) foram prontamente colocados e as peças imersas nesses meios. Para o

revenido, as peças foram colocadas no forno da marca *Linn Elektro Therm*, modelo KK-260 (figura 12). Os dados estão descritos na tabela 5.

Figura 12 - Fluxograma para o processo de tratamento térmico de têmpera seguida de revenido



Fonte: Autor

Tabela 5 - Dados do tratamento de têmpera seguido de revenimento

Têmpera	Temperatura	790°C
	Tempo	20 minutos
	Meios	Água
	de Resfriamento	Óleo Óleo Epoxidado
Revenimento	Temperatura	260°C
	Tempo	2 horas e 30 minutos

Figura 13 - Forno mufla utilizado para austenitização das amostras

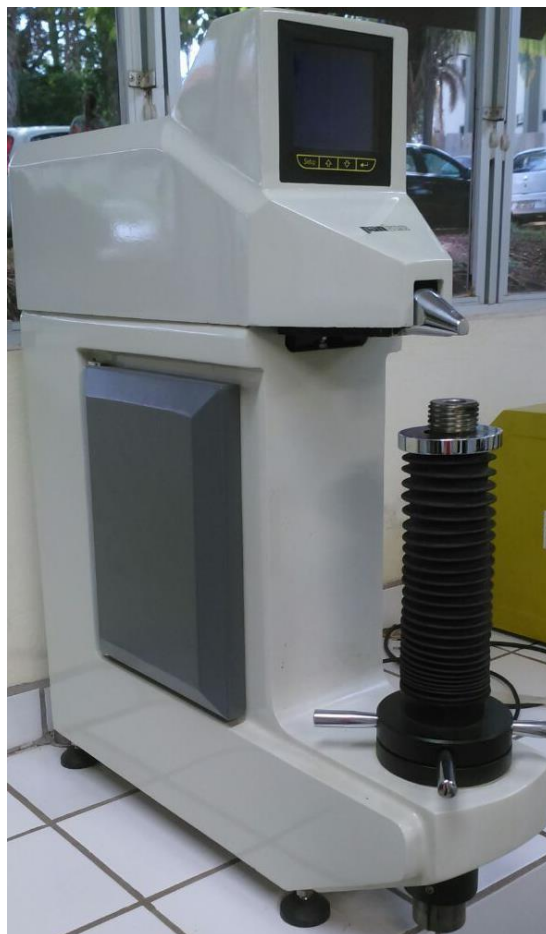
Fonte: Autor

4.5. Ensaio de Dureza Rockwell

O ensaio de dureza, em escala Rockwell C, foi realizado no Laboratório de Ensaios Destrutivos, utilizando o durômetro de marca PANTEC, indentador de diamante, com carga de 150Kgf (figura 14). Esse ensaio é realizado através da profundidade de impressão causada pelo penetrador a partir de uma carga como indicador de medida de dureza. A dureza Rockwell pode ser comum ou superficial, dependendo do penetrador e da pré-carga aplicada. Neste trabalho, foi utilizada a dureza comum. O mapeamento foi realizado através de 5 (cinco) identificações em cada peça.

Em seguida, as 6 (seis) peças foram levadas ao Laboratório de Preparação de Amostras da Faculdade de Engenharia de Materiais para metalografia. As peças foram lixadas utilizando lixas d'água de granulometrias 220, 320, 400, 600 e 1200, polidas e posteriormente submetidas ao ataque químico com Nital 2%. As micrografias foram obtidas no Laboratório de Petrologia da Faculdade de Geologia (IGE) através do microscópio óptico Zeiss Axioscop 40.

Figura 14 - Durômetro da marca PANTEC utilizado para o ensaio de dureza



Fonte: Autor

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

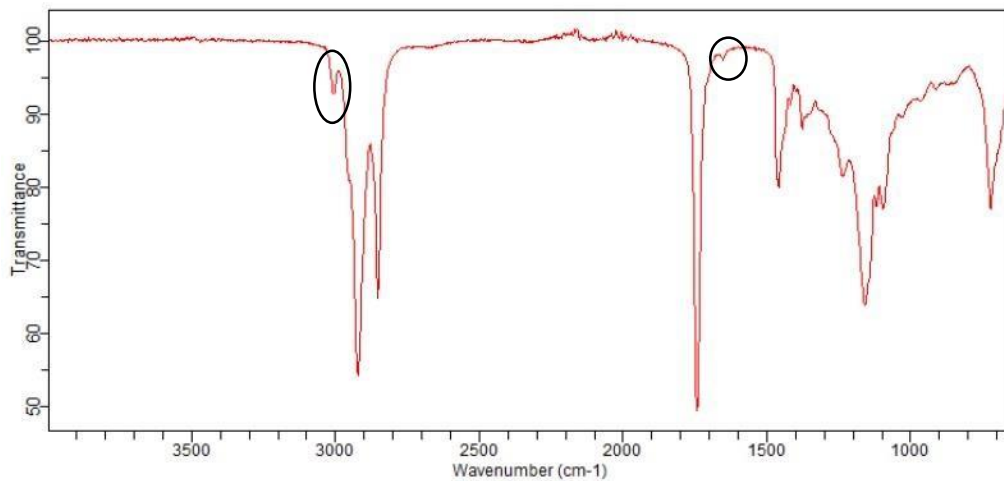
5.1. Epoxidação do Óleo de Girassol

As figuras 15 e 16 apresentam, respectivamente, os infravermelhos dos óleos *in natura* e do óleo epoxidado de girassol. O peróxido de hidrogênio 50% foi o responsável pela abertura das insaturações na reação através do fornecimento de oxigênio, e o ácido acético, assim como o ácido fórmico, é utilizado para abrir os anéis oxiranos formados e, então, ocorrendo a formação de hidroxilas livres. Nota-se na figura 16, em torno de 820 cm^{-1} , onde há formação da ligação $C - O - C$, do anel oxirano, e no pico formado na região de 1250 cm^{-1} , onde evidencia, também, a formação do anel epóxi. Em torno de 3000 cm^{-1} e a banda de 1650 cm^{-1} , caracterizando a presença de insaturações, na figura 15. Essas bandas não são apresentadas na figura 16, mostrando que a reação ocorreu com eficiência.

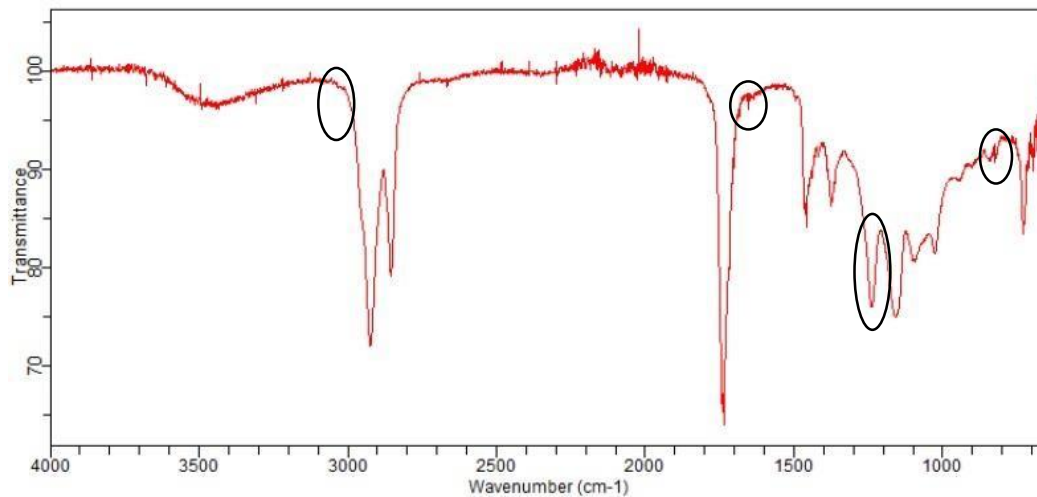
Tabela 6 - Picos de Infravermelho e suas descrições para os óleos *in natura* e epoxidado

cm^{-1}		Descrição
Óleo <i>in natura</i>	Óleo epoxidado	
3000	-	Deformação axial da ligação $C - H$ de alcenos
1650	-	deformação axial da ligação $C = C$
-	1250	Estiramento simétrico – do grupo epóxi
-	820	$C - O$ Estiramento assimétrico $C - O$ do grupos epóxi

Fonte: Adaptado de Introdução a Espectroscopia, PAVIA. 2010.

Figura 15 - Espectrograma do óleo puro de girassol

Fonte: Autor

Figura 16 - Espectrograma do óleo epoxidado de girassol

Fonte: Autor

Outro método de confirmação da eficiência da reação de epoxidação foi o índice de iodo. Essa técnica mostra que cada átomo de carbono insaturado pode se ligar a dois halogênios – no caso, dois átomos de iodo. Dessa maneira, foi possível afirmar a quebra das ligações duplas no óleo de girassol após epoxidação. Quanto maior o valor do índice de iodo, maior o número de insaturações na amostra. Os valores obtidos para os óleos estão mostrados na tabela a seguir. Observa-se que o valor para o óleo após a reação foi menor em relação ao óleo puro, o que corrobora com o espectrograma da figura 15, em que a banda correspondente das ligações insaturadas desaparece na ascensão da banda característica do grupo epóxi.

Tabela 7 - Valores de índice de iodo para as amostras dos óleos

Índice de Iodo (I₂ g/100g de amostra)	
Óleo <i>in natura</i>	Óleo epoxidado
142,96	1,87

5.2 Tratamento Térmico de Têmpera do aço SAE 1070

A seguir estão os valores de dureza obtidos após a têmpera do aço SAE 1070.

Tabela 8 - Valores de dureza para o aço SAE 1070 após o tratamento de têmpera seguido de revenido em água, óleo e óleo epoxidado

Dureza Rockwell C aço SAE 1070							
	S/T	Água		Óleo de girassol		Óleo epoxidado	
	-	Têmpera	Revenido	Têmpera	Revenido	Têmpera	Revenido
Média	17,5	57,4	53,3	52,58	51,56	54,5	52,22
Desvio	0,34	3,38	1,59	6,93	3,7	3,12	1,04

S/T: Sem Tratamento

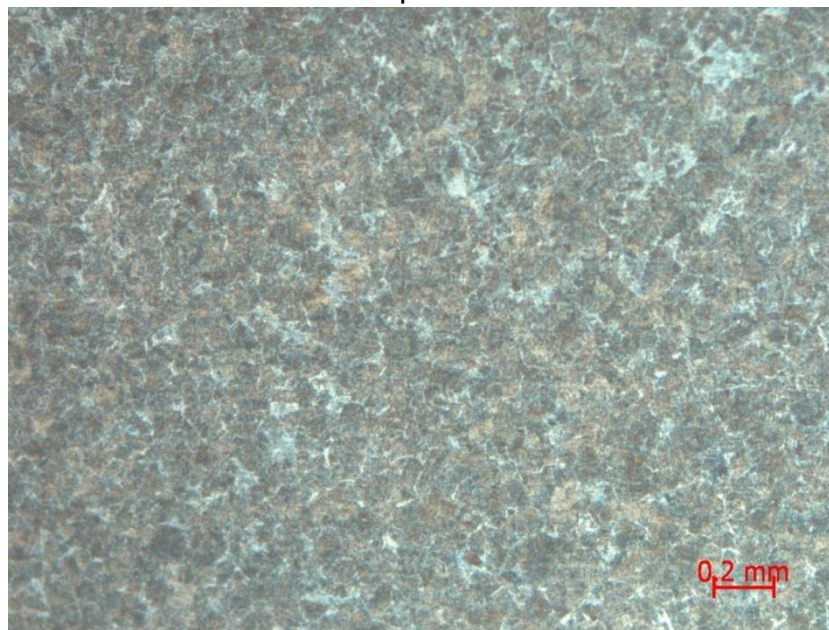
Observa-se que em todos os meios de resfriamento, na tabela 8, houve aumento da dureza, o que, em primeira instância, mostra a eficiência desses meios. Como de praxe, a dureza sempre será maior quando utilizada a água como meio de resfriamento, devido à sua maior severidade e alta taxa de resfriamento. Em meio mais brando, como o óleo, a dureza resultou em menores valores. Vale salientar que a eficácia dos óleos no tratamento de têmpera previne trincas de têmpera e empenamento, mesmo com valores baixos de dureza.

A têmpera no óleo epoxidado apresentou valores próximos aos valores referentes aos valores de dureza dados pelo fabricante (tabela 9). O OGE apresentou valor de dureza na têmpera sem revenido superior ao do óleo *in natura* e ao revenido em água.

Tabela 9 - Dureza aço SAE 1070 de acordo com a temperatura (dados fornecidos pelo fabricante)

Temperaturas aproximadas para o Revenimento – aço SAE 1070					
100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C
64 HRC	62 HRC	58 HRC	52 HRC	46 HRC	40 HRC

Figura 17 - Microestrutura aço SAE 1070 sem tratamento térmico. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%



Fonte: Autor

A figura 17 apresenta a microestrutura do aço SAE 1070, formada por grãos perlíticos e ferrita pró-eutetóide nos contornos de grãos (de cor mais clara). Microestrutura esta típica para aços com teor de carbono de aproximadamente 0,7%. As figuras a seguir mostram as respectivas microestruturas resultantes dos tratamentos térmicos realizados: têmpera seguida de revenido em água (figuras 18 e 19), óleo epoxidado (figuras 20 e 21) e óleo de girassol *in natura* (figuras 22 e 23).

A têmpera em água (figura 18) resultou em microestrutura predominantemente martensítica com austenita retida. Após o revenido (figura 19) a microestrutura apresentou martensita revenida e diminuição das regiões brancas. Isso foi devido a decomposição da austenita retida, tendo viabilidade para formação de ferrita e cementita após o revenimento, e assim mesmo não é observado uma acentuada diminuição da dureza (tabela 8).

Figura 18 - Microestrutura do aço SAE 1070 resfriado em água. As áreas brancas são de austenita retida. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%.



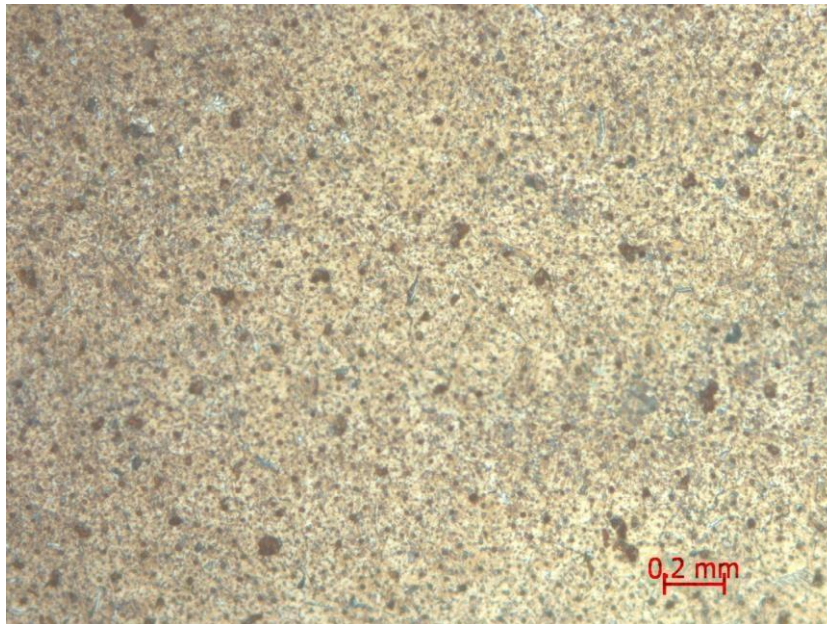
Fonte: Autor

Figura 19 - Microestrutura do aço SAE 1070 submetido a têmpera em água seguida de revenido. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%



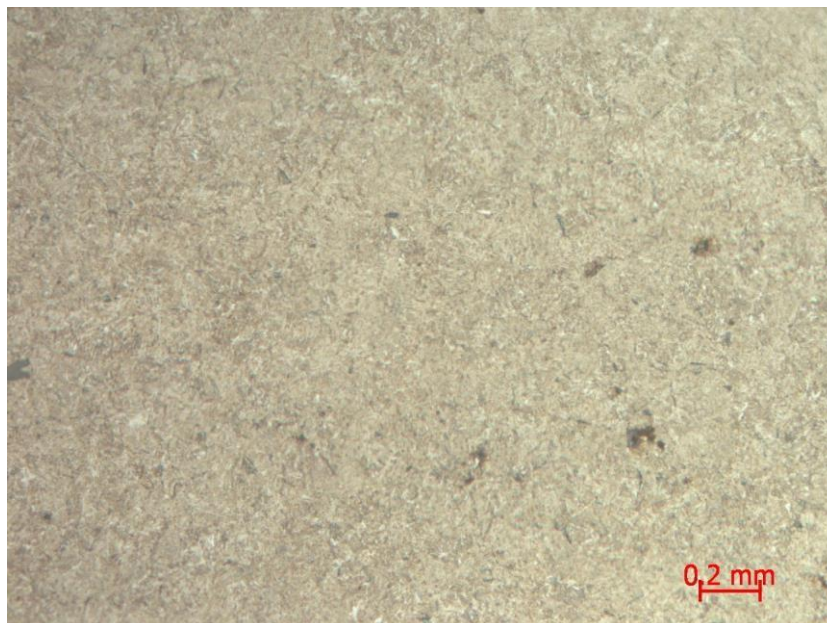
Fonte: Autor

Figura 20 - Microestrutura do aço SAE 1070 após tratamento de têmpera em óleo de girassol epoxidado. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%



Fonte: Autor

Figura 21 - Microestrutura do aço SAE 1070 submetido a têmpera com OGE seguido de revenido a 260°C. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%

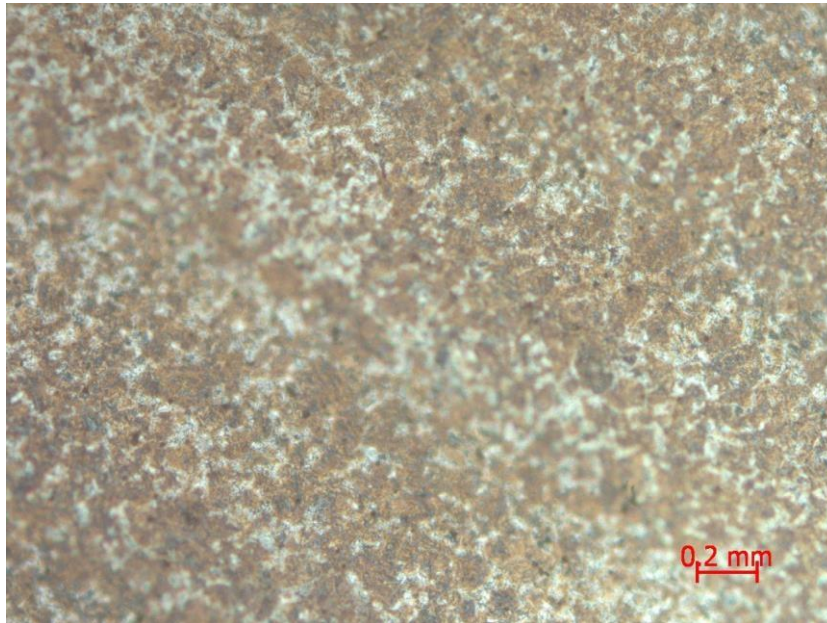


Fonte: Autor

A têmpera seguida de revenido realizada com o óleo epoxidado de girassol como meio de resfriamento resultou nas microestruturas das figuras 19 e 20, e observou-se formação de carbonetos de ferro. É possível observar, também, a presença de austenita retida, em menor quantidade do que em água. Ao analisar a figura 20, referente ao revenido, observa-se um efeito semelhante

ao ocorrido quando se reveniu o aço em água, obtendo-se uma microestrutura mais homogênea e refinada, e com alta dureza.

Figura 22 - Microestrutura do aço SAE 1070 submetido a têmpera em óleo de girassol. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%



Fonte: Autor

Figura 23 - Microestrutura do aço SAE 1070 submetido a têmpera seguida de revenido a 260°C em óleo natural de girassol. Aumento de 200x. Ataque: Nital 2%



Fonte: Autor

As figuras 22 e 23 apresentam microestruturas da têmpera seguida de revenido em óleo de girassol. Observa-se uma quantidade maior de grãos ferríticos (cor branca) tanto na têmpera (figura 22) quanto no revenido (figura 23).

Sendo esses grãos de ferrita, o valor de dureza menor apresentado na tabela o é compreensível, dada a baixa dureza da fase ferrítica. Junto aos grãos, observase no revenido uma maior quantidade de grãos escuros, possíveis grãos de perlita (perlita + cementita), provindos da decomposição da martensita através da difusão do carbono no revenimento. Portanto, pela presença das fases ferrita e perlita, que possuem baixa dureza, a peça após o revenimento apresentou o menor valor de dureza dentre os valores obtidos, visto tabela 8.

6. CONCLUSÃO

O desempenho da reação de epoxidação para formação do polioliol foi eficaz como ponto de partida para o resultado esperado, como mostra os espectrogramas e o valor de Índice de Iodo após a reação, mostrando o desaparecimento quase completo das insaturações do óleo.

A dureza, em todos os meios utilizados, aumentou, como esperado, tendo destaque a têmpera em óleo epoxidado, que apresentou valor de 54,5HRC, acima da têmpera seguida de revenido realizada com o óleo *in natura*. A microestrutura apresentada para o óleo natural corrobora com a diminuição da dureza, tendo formação de perlita e a ferrita pró eutetóide, fases de baixa dureza.

Em suma, os meios de têmpera óleo e óleo epoxidado mostraram-se eficazes para o aumento da dureza do aço SAE 1070, quando observados os valores de dureza sem tratamento. E tratando-se da utilização desse óleo *in natura* e do seu modificado quimicamente, como apresentam biodegradabilidade e não são tóxicos, houve, durante o resfriamento, apenas a exalação de odores típicos de óleos submetidos a altas temperaturas, sem liberação de substâncias nocivas à saúde ou ao meio ambiente.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Análise físico-química do óleo de girassol extraído;
- Utilização de diferentes temperaturas (25, 60 e 120°C) do meio de resfriamento óleo de girassol para análise de dureza e microestrutura;
- Análise físico-química do óleo epoxidado de girassol.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTUNA, F.I.; PETTARIN, V.; WILLIAMS, R. J. J. **Self-healable polymers networks based on the cross-linking of epoxidised soybean oil by an aqueous citric acid solution**. Green Chemistry, vol. 15, n. 12, p. 3360-3366. 2013.

ANVISA. Resolução n. 482, de 23 de setembro de 1999. **Regulamento Técnico para fixação de idade e qualidade de óleos e gorduras vegetais**. Brasília, DF. Set. 1999. Revogada pela Resolução n. 270, de 22 de setembro de 2005.

ASKELAND, R. D.; WRIGHT, J. W. **Ciência e engenharia dos materiais**. Tradução da 3 edição norte-americana. São Paulo. Cengage Learning, 2015.

ASKELAND, R. D.; FULAY, P. P.; WRIGHT, J.W. **The Science and engineering of materials**. 6 ed. USA: Cengage Learning, 2010.

ASTM D29-98, Standard Test Methods for Sampling and Testing Lac Resins (Withdrawn 2005), ASTM International, West Conshohocken, PA, 1998. DOI: 10.1520/D0029-98.

ASTM Metals Handbook. **Properties and Selection, Irons steels and high performance alloy**. Vol. 1. 1990.

ASTM Metals Handbook. **Metallography and microstructures**. Vol. 9. 2004.

BATES, O.E.; CLINTON, N.A.; TOTTEN, G.E. **Handbook of quenchants and quenching technology**. ASM International, 1993.

BRENNAN, R. J.; FAULKNER, C. H. **A new quenching alternative**. Proceedings of the Second International Conference on Quenching and the Control of Distortion, p. 423-428. Novembro, 1996.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 7 Ed. São Paulo: ABM. 2008.

CAILLOL, S.; DESROCHES, M.; BOUTEVIN, G.; LOUBAT, C.; AUVERGNE, R. BOUTEVIN, B. **Synthesis of new polyester polyols from epoxidized vegetable oils and biobased acids**. European Journal of Lipid Science and Technology, vol. 114, n. 12, p. 1147-1459, 2012.

CALLISTER, W.; RETHWISCH, G. D. **Fundamentals of materials Science and engineering: a integrated approach**. 3 ed. USA: John Wiley & Sons, Inc. 2008.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher 1974.

DIETER, E. G. **Metalurgia mecânica**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara dois. 1981.

FARAH, A. **Caracterização de óleos vegetais como alternativa para meios de resfriamento utilizados no tratamento térmico de têmpera**. Tese. (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Áreas Interunidades EESC, IFSC, IQSC. Universidade de São Paulo. 2002.

FUENTES, A. H. P. **Avaliação da qualidade de óleos de soja, canola, milho, e girassol durante o armazenamento**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Programas de pós-graduação em Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina. 2011.

HERNANDEZ, P. L. N. **Síntese de biopolímeros a partir do óleo da mamona para aplicações médicas**. Tese. (Doutorado em Engenharia Química). Programa de pós-graduação em Engenharia Química. Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas. 2015.

HONARY, L. A. T. **Performance of vegetable oils as heat treat quenchants**. Proceedings of the Second International Conference on Quenching and the Control of Distortion, p. 595-606. Novembro, 1996.

HONEYCOMBE, K. W. R.; BHADESHIA, H. D. K. H. **Steels: microstructure and properties**. 3 ed. Elsevier, 2006.

JORGE, N. **Química e tecnologia de óleos vegetais**. São Paulo: Cultura acadêmica. Universidade Estadual Paulista. 165p. 2009.

KRAUSS, G. **Steels: heat treatment and processing principles**. Ohio: ASM International, 1989.

LISCIC, B.; TOTTEN, G. E. **Steel heat treatment: metallurgy and Technologies**. CRC Press, 2006. ISBN: 0849384559, cap. 5, p. 213-276.

LLIGADAS, G.; RONDA, J. C.; GALIA, M.; BIERMANN, U.; METZGER, J. O. **Synthesis and characterization of polyurethanes from epoxidized methyl oleate based polyether polyols as renewable resources**. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, vol. 44, n. 1, p. 634-645. 2006.

MARIN, P. E. **Espectroscopia de Infravermelho e suas aplicações**. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Bacharel em Física). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. 2013.

MELLO, M. V. **Estudo da polimerização térmica de óleos e gorduras**. Dissertação (Mestrado em Química). Instituto de Química. Universidade de Brasília. 2011.

MIAO, S.; ZHANG, S.; SU, Z.; WANG, P.; SUN, L. **Soybean oil-based polyurethane networks as candidates biomaterials: synthesis and biocompatibility**. European Journal Lipid Science Technologies. 2012. DOI:10.1002/ejlt.201200050. Acessado em 6 de jun de 2017.

MONTEAVARO, L. L.; SILVA, O. E.; COSTA, O. P. A.; SAMIOS, D.; GERBASE, E. A.; PETZOLD, L. C. **Polyurethane networks from formiated soy poliols: synthesis and mechanical characterization**. JAOCS, vol. 82, n. J10956, p. 365-371. Maio, 2005. Acessado em 23 de dez de 2017.

MOORE, D. **Safer liquid quenchant**. Heat Treatment Progress, p. 29-33. Jun/jul, 2001.

NETA, J. de J da S.; **Síntese e caracterização de poliuretano à base de óleo de *Mabea fistulifera* Mart. e sua utilização para remoção de corantes têxteis**. Tese, (Programa de pós-graduação em Agroquímica). Universidade Federal de Viçosa. 2011.

OTERO, R. I. S. **Potencialidade do uso de formulações de óleo de soja epoxidado e éster metílico de ácido graxo como fluidos de resfriamento no tratamento térmico de têmpera de aços**. Tese, Programa de pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 2014.

PAZINI, H. **Propriedades mecânicas da liga de aço damasco SAE 5160 + UHB 15N20**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2011.

PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S. **Introdução a espectroscopia**. Cengage Learning, 2010.

RATTRAY, J. B. M. **Biotechnology and the fat and oils industry – an overview**. JAOCS, vol. 61, n. 11, nov. 1984.

REDA, S. Y; CARNEIRO, P. B. I. **Óleos e gorduras: aplicações e implicações**. Revista Analytica, vol. 27. Fev/Mar. 2007.

REED-HILL, R. E. **Princípios de metalurgia física**. 2 ed. Editora Guanabara Dois. Rio de Janeiro. 1982.

SANTOS, H. C. dos. **Caracterização de espadas antigas por técnicas não destrutivas**. Tese, Programa de pós-graduação. Instituto de Física. Universidade de São Paulo. 2013.

SAREMI, K.; TABARSA, T.; SHAKERI, A.; BABANALBANDI, A. **Epoxidation of soybean oil**. Annals of Biological Research, vol 3, p. 4254-4258. 2012.

SILVA, C. A. L. e.; MEI, P. R. **Aços e ligas especiais**. 3 ed. Blücher. 2011.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos materiais**. 6 ed. Editora Pearson Education. 2006.

SOUZA, et al. **Fluidos de têmpera derivados de óleos vegetais como alternativas aos óleos minerais**. 2012. Disponível em www.revistalH.com.br . Acessado em 10 de jan de 2018.

TOTTEN G. E.; TENSI, H. M.; LAINER, K. **Performance of vegetable oils as a cooling médium in comparasion to a standard mineral oil**. Journal of Materials Engineering and Performance, vol. 8, n. 4, p. 409-416. Aug. 1999.

VLACK, V. L. H. **Princípios de ciência dos materiais**. Editora Edgard Blücher. 1981.

<http://www.campestre.com.br/oleos-vegetais/oleo-de-girassol/oleo-de-girassolficha-tecnica/>. Acessado em 10 de jan de 2018 às 5h45.

Óleos vegetais e o estresse químico [on-line]. Aditivos e Ingredientes. Acesso em <http://aditivosingredientes.com.br/artigos/ingredientes-funcionais/oleosvegetais-e-suas-aplicacoes>. Acessado em 10 de jan de 2018 às 20h.