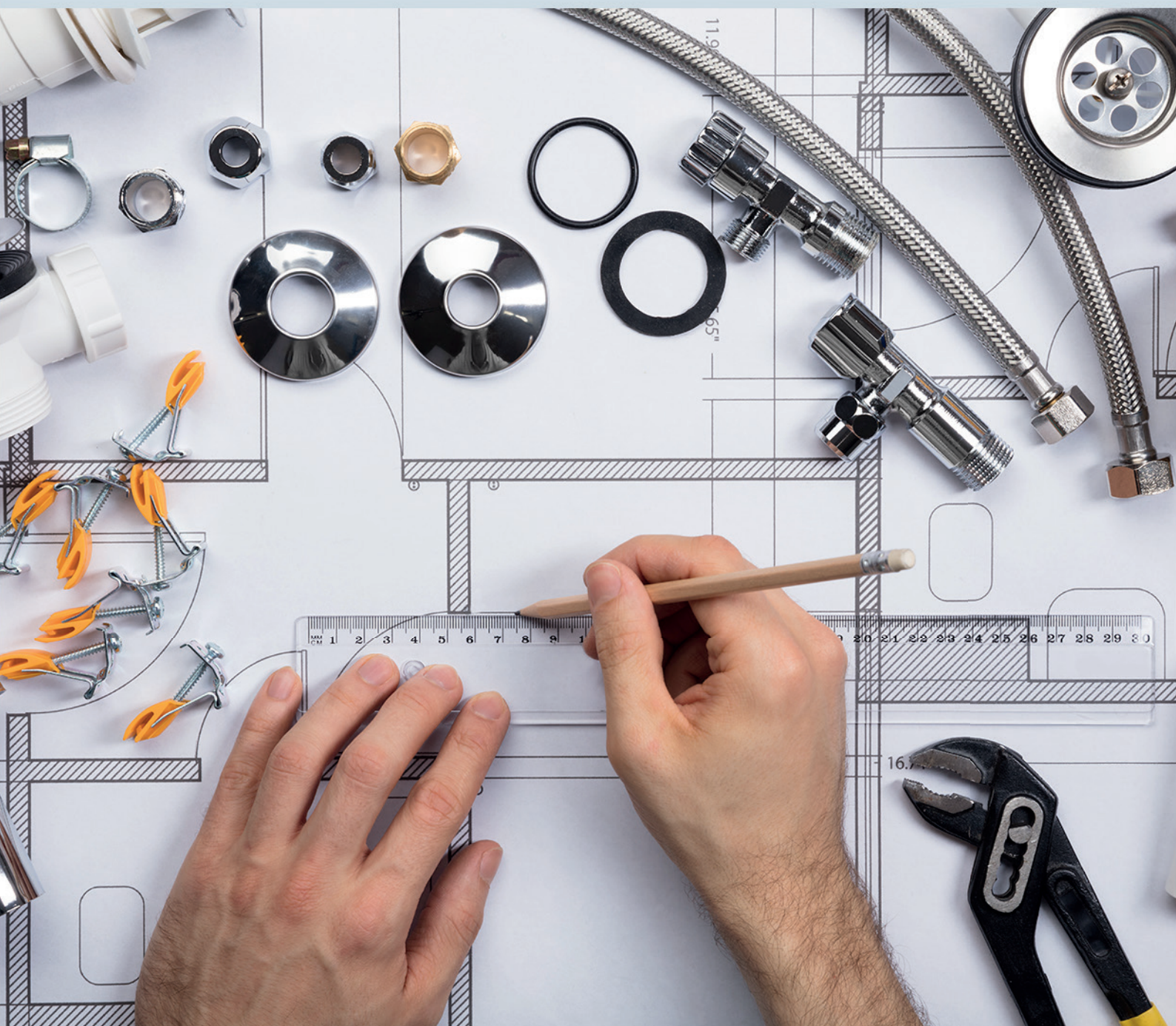


# Ciência e Engenharia de Materiais

2

Marcia Regina Werner Schneider Abdala  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora

Ano 2018

**MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA**

(Organizadora)

# **Ciência e Engenharia de Materiais**

## **2**

Atena Editora

2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência e engenharia de materiais 2 [recurso eletrônico] / Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Ciência e Engenharia de Materiais; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-63-5

DOI 10.22533/at.ed.635183010

1. Engenharia. 2. Materiais I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.11

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Você já percebeu a importância dos materiais na sua vida diária? Os materiais estão provavelmente mais imersos na nossa cultura do que a maioria de nós imagina. Diferentes segmentos como habitação, saúde, transportes, segurança, informação/comunicação, vestuário, entre outros, são influenciados em maior ou menor grau pelos materiais.

De fato a utilização dos materiais sempre foi tão importante que os períodos antigos eram denominados de acordo com os materiais utilizados pela sociedade primitiva, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A humanidade está em constante evolução, e os materiais não são exceções. Com o avanço da ciência e da tecnologia a cada dia surgem novos materiais com características específicas que permitem aplicações pormenorizadas e inovação nas mais diferentes áreas.

Todos os dias centenas de pesquisadores estão atentos ao desenvolvimento de novos materiais e ao aprimoramento dos existentes de forma a integrá-los em tecnologias de manufatura economicamente eficientes e ecologicamente seguras.

Estamos entrando em uma nova era caracterizada por novos materiais que podem tornar o futuro mais fácil, seguro e sustentável. O campo da Ciência e Engenharia de Materiais aplicada está seguindo por novos caminhos. A iminente escassez de recursos está exigindo inovações e ideias criativas.

Nesse sentido, este livro evidencia a importância da Ciência e Engenharia de Materiais, apresentando uma coletânea de trabalhos, composta por quatro volumes, que permitem conhecer mais profundamente os diferentes materiais, mediante um exame das relações entre a sua estrutura, as suas propriedades e o seu processamento.

Considerando que a utilização de materiais e os projetos de engenharia mudam continuamente e que o ritmo desta mudança se acelera, não há como prever os avanços de longo prazo nesta área. A busca por novos materiais prossegue continuamente...

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CARBETO DE VANÁDIO NA MOAGEM E NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO AISI 52100, PRODUZIDO POR METALURGIA DO PÓ	
<i>Leandra Fernandes de Oliveira</i>	
<i>Bruna Horta Bastos Kuffner</i>	
<i>Daniela Sachs</i>	
<i>Gilbert Silva</i>	
<i>Geovani Rodrigues</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE SOLDAGEM INNERSHIELD NAS CARACTERÍSTICAS DA SOLDA DE UM AÇO ESTRUTURAL ASTM – A36	
<i>Waldemir dos Passos Martins</i>	
<i>Paulo Victor Cunha Caetano</i>	
<i>Valdemar Silva Leal</i>	
<i>Valter Alves de Meneses</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO AÇO INOXIDÁVEL 17-4 PH NITRETADO UTILIZADO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS	
<i>Ane Caroline Celestino Silva</i>	
<i>Lucas da Silva Vicente</i>	
<i>Christian Egídio da Silva</i>	
<i>Cristina de Carvalho Ares Elisei</i>	
<i>Cirlene Fourquet Bandeira</i>	
<i>Sérgio Roberto Montoro</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>32</b>
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO BAIXO CARBONO APÓS PROCESSO DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA	
<i>Vanessa Moura de Souza</i>	
<i>Vinicius Martins</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>43</b>
COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DAS MATRIZES METÁLICAS DO SISTEMA FE-CU-NB OBTIDAS POR Prensagem a quente	
<i>Hellen Cristine Prata de Oliveira</i>	
<i>Marcello Filgueira</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>58</b>
ESTUDO DO EFEITO DA VIBRAÇÃO NA SOLIDIFICAÇÃO DA LIGA 356.0	
<i>Laura Ferrazza Kirch</i>	
<i>Amanda Yuki Shimosaka</i>	
<i>Dalmarino Setti</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>65</b>
ESTUDO SOBRE O PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO DAS MATRIZES METÁLICAS DE FE-CU-25%NB E FE-CU-25%CO DURANTE A Prensagem a quente	
<i>Hellen Cristine Prata de Oliveira</i>	
<i>Adriano Corrêa Batista</i>	
<i>Luis Guerra Rosa</i>	
<i>Paulo Santos Assis</i>	

<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>84</b>
TRANSIÇÃO OBSERVADA ENTRE OS MODOS DE DESGASTE MICRO-ABRASIVO POR “RISCAMENTO” E POR “ROLAMENTO” EM WC-CO P20 E AÇO-FERRAMENTA M2	
<i>Ronaldo Câmara Cozza</i>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>92</b>
ANÁLISE DA DUREZA E MICROESTRUTURA DO AÇO ABNT 1045 APÓS TÊMPERA E REVENIMENTO	
<i>João Paulo Montalván Shica</i>	
<i>Matheus Henryque Almeida e Silva</i>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>105</b>
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE RIGIDEZ SOBRE AS FREQUÊNCIAS NATURAIS DE PLACAS DE ALUMÍNIO	
<i>Pietro Olegário da Silva</i>	
<i>Adriana Amaro Diacenco</i>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>118</b>
ANÁLISE DA MICRODUREZA E CORROSÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW NA CHAPA DE AÇO DOBRADA TIPO U	
<i>Josemairon Prado Pereira</i>	
<i>Gilberto de Magalhães Bento Gonçalves</i>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>129</b>
ANÁLISE DO CICLO TÉRMICO DE UM AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA BAIXA LIGA UTILIZANDO MÉTODO DIRETO E EQUAÇÕES DE SOLDAGEM	
<i>Thyálita Coêlho Moreira Mousinho</i>	
<i>Thaís Spíndola Garcêz</i>	
<i>José Francisco dos Reis Sobrinho</i>	
<i>Nelson Guedes de Alcântara</i>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>138</b>
MICROFURAÇÃO COM LASER PULSADO ND:YAG EM CHAPAS DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 316L	
<i>Dair Ferreira Salgado Junior</i>	
<i>Vicente Afonso Ventrella</i>	
<i>Juno Gallego</i>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>153</b>
ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE LÂMINAS DE SERRA NO CORTE DA MADEIRA COM APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	
<i>Daniel Villas Bôas</i>	
<i>Elder Jesus Lima Machado</i>	
<i>Vanessa Ferreira Neves</i>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>160</b>
O EFEITO DE DIFERENTES TIPOS DE HOMOGENEIZAÇÃO SOBRE O COMPORTAMENTO EM DEFORMAÇÃO A FRIO DAS LIGAS TI-35NB E TI-35NB-0,15SI	
<i>Késia Filadélfia Dionizio Silva Ramos</i>	
<i>Helton José Rodrigues Cabral</i>	
<i>Reinan Tiago Fernandes dos Santos</i>	
<i>Wilton Walter Batista</i>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>173</b>
LIGA DE MAGNÉSIO AZ91D: AVALIAÇÃO DA BIODEGRABILIDADE E DO COMPORTAMENTO MECÂNICO	
<i>Ronaldo Veronês Nascimento</i>	
<i>Ângela Beatriz Coelho Arnt</i>	
<i>Marcio Roberto da Rocha</i>	
<i>Steferson Luiz Stares</i>	

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>184</b>
INFLUÊNCIA DO PH E DO TEMPO DE IMERSÃO NA SILANIZAÇÃO JUNTO DE TANINOS PARA PROTEÇÃO ANTICORROSIVA DE AÇOS GALVANIZADOS	
<i>Bruno Pienis Garcia</i> <i>Álvaro Meneguzzi</i>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>194</b>
A NEW PROCEDURE TO DETERMINE THE PERMITTIVITY OF RADAR ABSORBING MATERIALS	
<i>Tamara Indrusiak Silva</i> <i>Iaci Miranda Pereira</i> <i>Jorge A. Mitrione Souza</i> <i>Marbey Manhães Mosso</i> <i>Ângelo M. Leite Denadai</i> <i>Jéferson Gomes da Silva</i> <i>Alan Reis de Oliveira</i> <i>Bluma Guenther Soares</i>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>204</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM REVESTIMENTO A BASE DE NIÓBIO PARA PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO DE AÇO-CARBONO (SAE 1020)	
<i>Paloma Detlinger</i> <i>Brian Utri</i> <i>Guilherme Arielo Rodrigues Maia</i> <i>Rodrigo Helleis</i> <i>Cynthia Beatriz Fürstenberger</i> <i>Everson do Prado Banczek</i>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>213</b>
CORROSÃO E BIOCORROSÃO EM AÇO CARBONO	
<i>Diana Magalhães Frazão</i> <i>Ivanilda Ramos de Melo</i> <i>Severino Leopoldino Urtiga Filho</i>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>218</b>

## ANÁLISE DA DUREZA E MICROESTRUTURA DO AÇO ABNT 1045 APÓS TÊMPERA E REVENIMENTO

**João Paulo Montalván Shica**

Universidade Federal do Piauí, Engenharia de  
Materiais  
Teresina – Piauí

**Matheus Henryque Almeida e Silva**

Universidade Federal do Piauí, Engenharia de  
Materiais  
Teresina – Piauí

**RESUMO:** O aço ABNT 1045 apresenta uma ampla aplicabilidade devido ao seu baixo custo e boa resistência mecânica. Pode ser aplicado na indústria mecânica para a fabricação de elementos de máquinas como eixos, engrenagens, parafusos, porcas e pregos. Para este material adquirir melhor resistência mecânica é necessário submetê-lo a tratamentos térmicos, sendo os mais utilizados: têmpera e revenimento. O objetivo deste trabalho é analisar a resistência mecânica adquirida pelo aço ABNT 1045 após tratamentos térmicos através de testes de dureza e metalografia para verificar as fases presentes antes e após os tratamentos. Para isso três amostras do material foram obtidas a partir de um tarugo, nas quais, uma amostra se manteve sem tratamento térmico, sendo esta a amostra de referência, e outras duas amostras submetidas a tratamentos térmicos. Dentre as amostras tratadas, uma foi submetida apenas ao tratamento de têmpera e a outra têmpera

e revenimento. Após os tratamentos térmicos todas as amostras foram analisadas através de metalografia, sendo para isso, embutidas em baquelite, lixadas e polidas, etapas necessárias para a análise. Em seguida as amostras foram submetidas a teste de dureza. Os resultados obtidos foram os esperados para os tratamentos citados, sendo possível observar, através das metalografias, as fases ferrita, perlita e martensita, além da mudança na resistência mecânica comprovada pelos testes de dureza.

**PALAVRAS-CHAVE:** aço 1045, dureza, tratamento térmico

**ABSTRACT:** ABNT 1045 steel has a wide applicability due to its low cost and good mechanical resistance. It can be applied in the mechanical industry for the manufacture of elements of machines like axles, gears, screws, nuts and nails. For this material to acquire better mechanical resistance it is necessary to subject it to thermal treatments, being the most used: tempering and tempering. The objective of this work is to analyze the mechanical strength acquired by ABNT 1045 steel after thermal treatments through hardness and metallography tests to verify the phases present before and after the treatments. For this, three samples of the material were obtained from a billet, in which, one sample was kept without heat treatment, being this the reference sample, and



other two samples submitted to thermal treatments. Among the treated samples, one was submitted only to the tempering treatment and the other tempering and tempering. After the thermal treatments all the samples were analyzed through metallography, being for this, embedded in bakelite, sanded and polished, necessary steps for the analysis. The samples were then subjected to a hardness test. The results obtained were the expected ones for the mentioned treatments, being possible to observe, through the metallographies, the phases ferrite, perlite and martensite, in addition to the change in the mechanical resistance proven by the hardness tests.

**KEYWORDS:** 1045 steel, hardness, heat treatment

## 1 | INTRODUÇÃO

O aço ABNT 1045 apresenta uma ampla aplicabilidade, sendo considerado de baixo custo e boa resistência mecânica, apresentando cerca de 0,45% de carbono. Pode ser aplicado na indústria mecânica, para a fabricação de braçadeiras, cilindros, eixos, engrenagens, hastes de amortecedor, parafusos, porcas e pregos. Mesmo com uma boa resistência mecânica, o aço ABNT 1045 é submetido a diversos tipos de tratamentos térmicos, como, por exemplo, têmpera e revenimento, com o intuito de melhorar suas propriedades mecânicas (GROOVER, 2014; CHIAVERINI, 1986).

A têmpera consiste em submeter o material à elevadas temperaturas, seguido de um brusco resfriadas em água ou óleo, aumentando, assim, a resistência e possibilitando a vida longa das peças. Entretanto, após a têmpera, o material passa a apresentar uma grande quantidade de tensões internas, deixando a peça frágil, logo, impossibilitando o uso da mesma. Para resolver isso é realizado o revenimento, onde a peça é aquecida novamente até determinada temperatura e depois resfriada em temperatura ambiente, removendo as tensões internas CALLISTER, 2008; CHIAVERINI, 1986).

Para conferir a mudança nas propriedades mecânicas do material, análises, como ensaio de dureza e metalografia, são realizados no mesmo. Neste trabalho, descrevemos o procedimento de têmpera e revenimento realizado em uma amostra de aço ABNT 1045, bem como a constatação, por observação da microestrutura, das fases martensita, ferrita e perlita. Além de comprovarmos os efeitos destes tratamentos térmicos na mudança da dureza do material.

### 1.1 Aço 1045

O aço ABNT 1045 é um aço hipoeutetóide com baixa temperabilidade, ou seja, baixa penetração de fase martensítica em sua seção transversal. Segundo a NBR 172/2000 é classificado como aço para construção mecânica, tendo aplicação em eixos em geral, engrenagens, pinos parafusos, pinças, braçadeiras, etc. No entanto, mesmo possuindo uma boa relação entre resistência mecânica e custo operacional, este aço necessita de determinados tratamentos térmicos para obter melhor propriedades

mecânicas.

## 1.2 Tratamentos Térmicos

O uso de materiais metálicos exige que estes atendam a determinados requisitos, como suportar de forma satisfatória as condições de serviços submetidas. Os processos de produção nem sempre conseguem fornecer as condições desejadas ao material, podendo gerar, por exemplo, tensões internas e estruturas cristalinas não desejadas (CHIAVERINI, 1986).

Para atenderem as condições desejadas estes materiais precisam ser submetidos a tratamentos térmicos ou tratamentos termoquímicos. Os tratamentos térmicos são um conjunto de operações que envolvem: aquecimento e resfriamento subsequente, sob condições controladas de temperatura, tempo, ambiente de aquecimento e velocidade de esfriamento. Na Figura 1 vemos alguns benefícios obtidos através dos tratamentos térmicos.

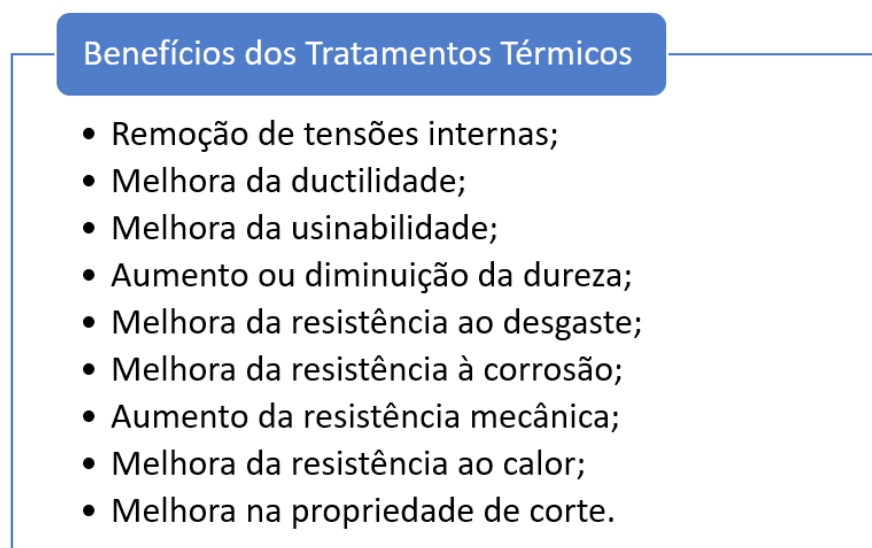


Figura 1 - Exemplos de benefício obtidos por tratamentos térmicos

Fonte: Adaptado de CHIAVERINI (1986)

É comum verificar que, a melhora de uma ou mais propriedades mediante um determinado tratamento térmico é obtida com o prejuízo de outra. Como exemplo podemos citar o aço, que na busca por um aumento na resistência mecânica e na dureza, acaba obtendo uma diminuição em sua ductilidade. Logo é necessário aplicar outro tratamento térmico para obter melhores propriedades mecânicas (CHIAVERINI, 1986).

### 1.2.1 Tratamentos Térmicos mais comuns

Podemos citar os seguintes tratamentos: recozimento, normalização, têmpera, revenimento, coalescimento, endurecimento por precipitação, etc. A execução desses

tratamentos requer o conhecimento dos diagramas de equilíbrio das ligas metálicas tratadas, e no caso particular de aços o estudo do efeito da velocidade de resfriamento sobre as transformações estruturais. Para este trabalho iremos focar na têmpera e revenimento.

#### 1.2.1.1 - Têmpera

Para as ligas ferro-carbono, como os aços, este é o tratamento mais importante, e tem como finalidade obter uma estrutura martensítica, principalmente para os que serão utilizados em construções mecânicas (CHIAVERINI, 1986). O tratamento consiste em um resfriamento brusco, sendo, geralmente, a peça mergulhada em meio líquido depois de aquecida adequadamente. Esse resfriamento brusco resulta em modificações estruturais muito intensas, gerando aumento na dureza, resistência ao desgaste, resistência à tração tendo, em contrapartida, uma diminuição considerável da ductilidade e o surgem tensões internas de altos valores. A correção dessas propriedades indesejadas pode ser realizada pelo revenimento (CHIAVERINI, 1986).

#### 1.2.1.2 - Revenimento

Tratamento realizado logo após a têmpera, abaixo da temperatura de zona crítica da liga. Visa corrigir os excessos de têmpera como: aliviar ou remover tensões internas, corrigir a excessiva dureza e fragilidade do material, aumentar a maleabilidade e a resistência ao choque. Essas modificações ocorrem nas faixas de aquecimento da martensita (CHIAVERINI, 1986).

### 1.2.2 *Curva de Transformação Tempo-Temperatura*

A natureza da transformação martensítica, obtida a partir da têmpera, pode ser bem mais entendida usando a curva de transformação tempo-temperatura (curva TTT). Como exemplo, temos na Figura 2 uma liga com composição de 0,8% de carbono. A curva é diferente para outras composições (CHIAVERINI, 1986). Podemos observar como a taxa de resfriamento afeta a transformação da austenita nas várias possíveis fases. Estas fases podem ser divididas em: (1) formas alternativas de ferrita e cementita e (2) martensita.

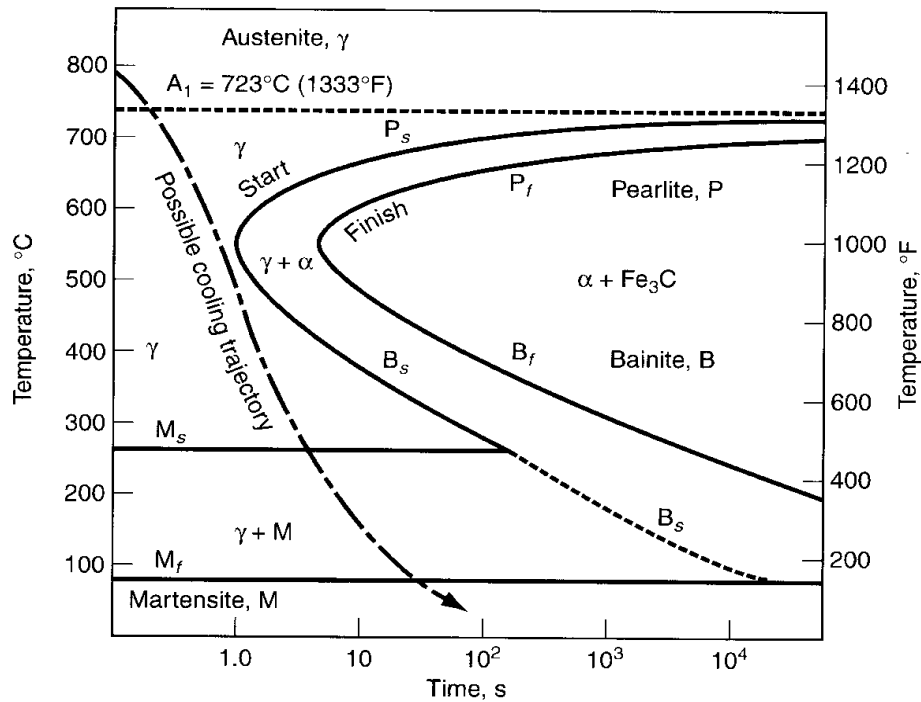


Figura 2 - Diagrama TTT de um aço com 0,8% de Carbono  
 Fonte: CHAWLA (2009)

A curva é interpretada iniciando do tempo zero e na zona austenítico (acima da linha  $A_1$ ) seguindo para baixo e para a direita ao longo da trajetória (linha tracejada com flecha) que representa como o metal é resfriado. A transformação da martensita começa em uma certa temperatura  $M_s$  e termina abaixo de  $M_f$ .

A dureza extrema da martensita resulta da deformação da rede cristalina gerada pelo rápido resfriamento, onde os átomos de carbono ficam presos na estrutura TCC, criando assim barreiras aos movimentos das discordâncias ocorridas na rede cristalina. Na Figura 3 podemos observar o efeito das transformações martensítica na dureza de aços com crescentes teores de carbono, no qual a martensita foi temperada e a perlita recozida.

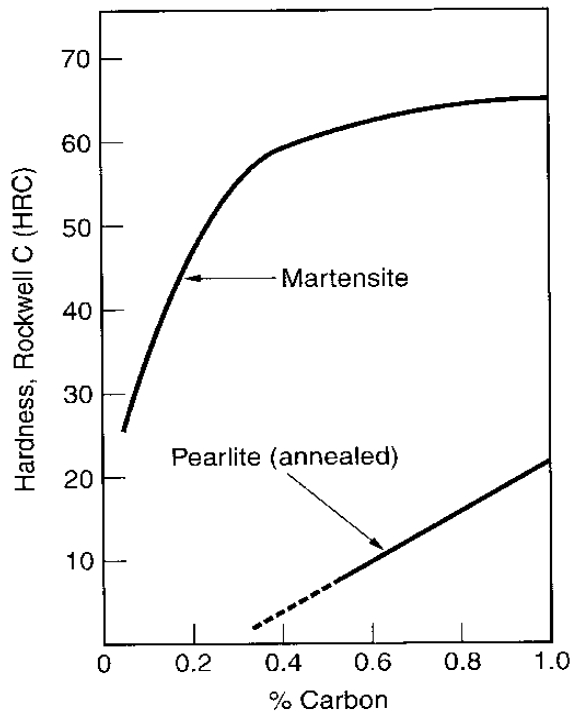


Figura 3 - Efeito das transformações martensítica na dureza de aços com crescentes teores de carbono

Fonte: CHAWLA (2009)

Após o tratamento de têmpera, no qual é obtido a fase martensita, o aço precisa passar pelo tratamento térmico de revenimento, como citado anteriormente, para reduzir a fragilidade, aumentar a ductilidade e sua tenacidade. Esse tratamento envolve o aquecimento e encharque em temperatura inferior de austenitização por cerca de uma hora, seguido de resfriamento lento, resultando na precipitação de partículas muito finas de carbeto da solução sólida de ferro e carbono da martensítica, e assim, gradualmente transforma a estrutura cristalina de TCC para CCC, sendo agora denominada martensita revenida. Como resultado temos uma pequena redução da resistência e da dureza, acompanhada do aumento da ductilidade e tenacidade do material.

Na figura 4 temos as três etapas do tratamento de aços para produzir martensita revenida, no temos dois ciclos de aquecimento e resfriamento; o primeiro ciclo produz martensita, e o segundo para revenir a martensita. Na figura 05 mostra o efeito do revenimento sobre a dureza para o aço 1045.

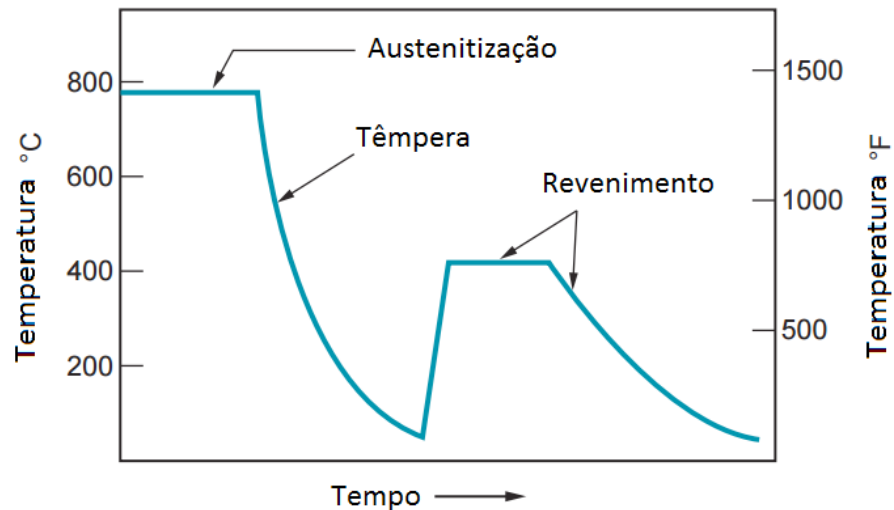


Figura 4. Etapas do tratamento de aços para produzir martensita revenida  
 Fonte: GROOVER (2014)

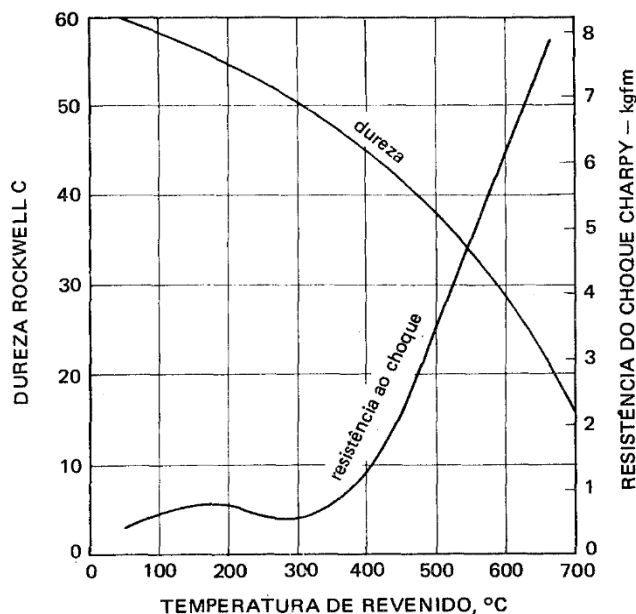


Figura 5 - Efeito do revenimento sobre a dureza para o aço 1045  
 Fonte: CHIAVERINI (1986)

## 2 | MATERIAIS E METODOLOGIA

O material utilizado foi fornecido em forma de tarugo, pelo Laboratório de usinagem, localizado no CT (Centro de Tecnologia) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), sendo identificado como um aço carbono ABNT 1045.

Foram obtidas 3 amostras (amostra 1, amostra 2 e amostra 3). A amostra 1 não sofreu tratamento afim de ser a amostra de referência. As amostras 2 e 3 foram submetidas, respectivamente, aos tratamentos de têmpera e, tempera e revenimento. Após o tratamento térmico foi realizado a metalografia das três peças com o objetivo de observar as fases presentes nas amostras tratadas e a amostra de referência.

Para isso foi necessário realizar o lixamento, polimento, ataque químico e, enfim, a metalografia. Por último foi realizado os ensaios de dureza: Brinell, Rockwell e Vickers, com o objetivo de identificar a influência do tratamento térmico na dureza das amostras.

## 2.1 Procedimento Experimental

### 2.1.1 Corte

Foi utilizado uma serra metalográfica com discos abrasivos intensamente refrigerados (para evitar deformações devido ao aquecimento), obtendo assim as 3 amostras (amostra 1, amostra 2 e amostra 3).

### 2.1.2 Tratamentos Térmicos

As amostras 2 e 3 foram submetidas, respectivamente, aos tratamentos de têmpera e, tempera e revenimento. As condições de tratamentos podemos observar na Tabela 1 abaixo.

Amostra	Tratamento
Amostra 1	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sem tratamento</li></ul>
Amostra 2	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aquecida até 900°C no forno mufla durante 1 hora</li><li>• Após atingir a temperatura de 900°C (acima da temperatura crítica) a peça foi retirada do forno e inserida imediatamente em um recipiente com água, sofrendo uma queda brusca de temperatura (têmpera).</li></ul>
Amostra 3	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aquecida até a temperatura de 900°C no forno mufla durante 1 hora</li><li>• Após atingir a temperatura de 900°C (acima da temperatura crítica) a peça foi retirada e inserida imediatamente em um recipiente com água, sofrendo uma queda brusca de temperatura, (têmpera).</li><li>• Após ser resfriada, a peça foi colocada novamente no forno e aquecida até 500°C, sendo resfriada dentro do forno.</li></ul>

Tabela 1 – Condições de tratamentos térmicos das amostras

Fonte: Autoria própria (2018)

### 2.1.3 Metalografia

Após o tratamento térmico foi realizado a metalografia das três peças com o objetivo de observar as fases presentes nas amostras tratadas e a amostra de referência. Para isso foi necessário realizar o embutimento das amostras, lixamento, polimento, ataque químico e, enfim, a metalografia.

Para o embutimento foi utilizado uma prensa de embutimento, modelo PRE 30Mi, da marca AROTEC, sob as condições de i) pressão: 150 kgf/cm<sup>2</sup>; ii) temperatura: 150°C e iii) tempo: 5 minutos.

O lixamento foi realizado utilizando lixas de 220, 400, 600 e 1200 Mash, com o objetivo de eliminar riscos e marcas mais profundas, melhorando assim a visualização da superfície das amostras. Com o objetivo de deixar a superfície espelhada, foi realizado em seguida o polimento utilizando pasta de diamante número 3, seguido de pasta de diamante número 2.

Para o ataque químico foi utilizado uma solução de Nital 4%, sendo em seguida a peça secada e submetida a microscopia óptica com uma digital embutida, localizado no laboratório de metalografia e ensaios mecânicos, localizado no CT (centro de tecnologia) da Universidade Federal do Piauí, com o intuito de observar a superfície das peças, e obter a micrografia das mesmas.

Por último foi realizado os ensaios de dureza: Brinell, Rockwell e Vickers, com o objetivo de identificar a influência do tratamento térmico na dureza das amostras.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Metalografias

Nas Figuras 6, 7 e 8 teremos, respectivamente, as microscopias óticas obtidas através da metalografia das amostras 1, 2 e 3. Podemos observar uma clara mudança na estrutura do aço utilizado.

Na Figura 6 temos a microscopia ótica da amostra 1 (referência), ampliada, respectivamente, em 400 e 800x. Podemos observar a fase ferrita (parte clara) e grãos de perlita (parte escura).

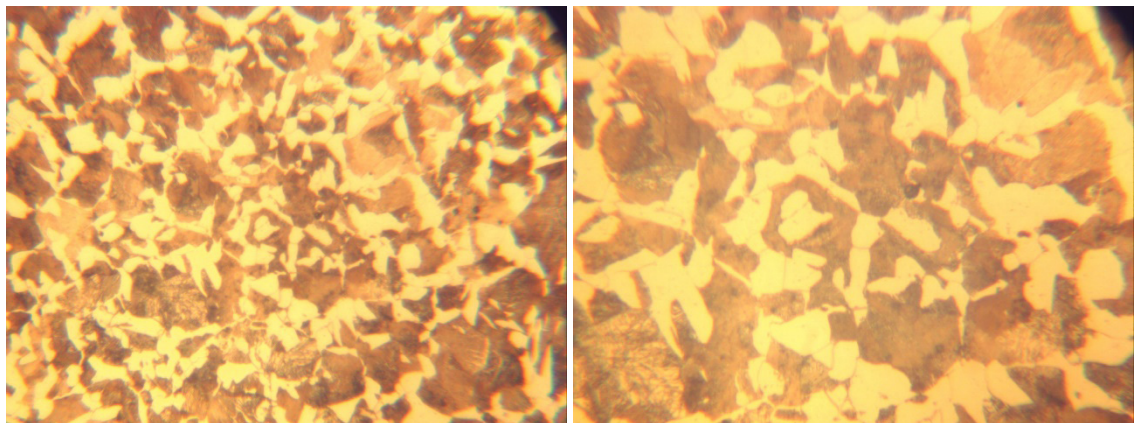


Figura 6 - Microscopia ótica da amostra 1 ampliada, respectivamente, em 400 e 800x

Fonte: Autoria própria (2016)

Na figura 7 temos a amostras 2, onde ocorreu a têmpera em água. É possível observar grãos com formatos de agulhas, características da martensita. O surgimento



deste tipo de grão é devido a sua estrutura cristalina tetragonal de corpo centrado (TCC) no qual, podemos dizer, que se trata de uma rede ferrita (cúbica de corpo centrado – CCC) distorcido por átomos de carbonos aprisionados devido a altíssima velocidade de formação.

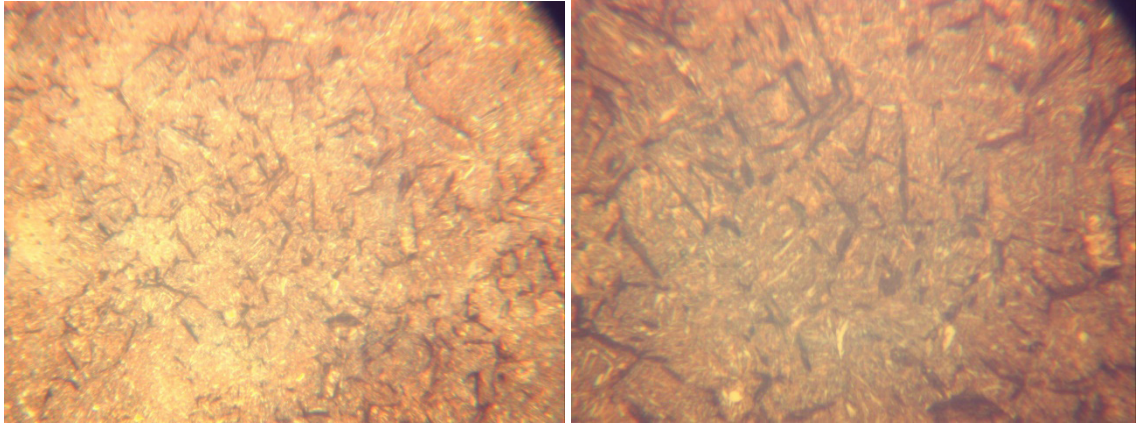


Figura 7 - Microscopia ótica da amostra 2 ampliada, respectivamente, em 400 e 800x

Fonte: Autoria própria (2016)

Na Figura 8, podemos observar a amostra 3, na qual passou por têmpera seguida de revenimento. É possível verificar a fase martensita revenida, na qual apresenta poucas tensões devido o revenimento, nota-se também uma trinca devido à baixa taxa de aquecimento e alta velocidade de resfriamento, impossibilitando a recristalização dos grãos, ocasionando a trinca.

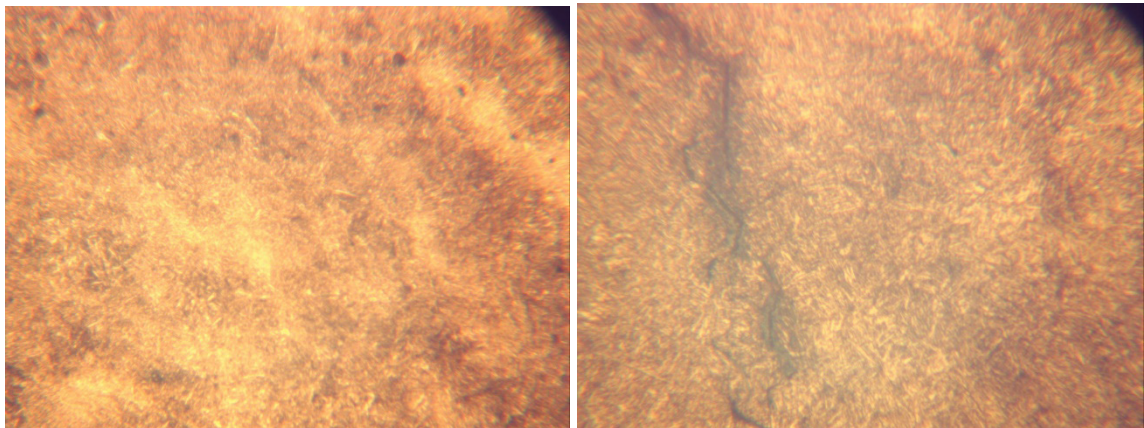


Figura 8 - Microscopia ótica da amostra 3 ampliada, respectivamente, em 400 e 800x

Fonte: Autoria própria (2016)

### 3.2 Ensaios De Dureza

Para fins de didática, foram realizados os ensaios de dureza do tipo: Brinell, Rockwell e Vickers. Nas Figuras 9, 10 e 11 foram plotadas as médias das medidas obtidas durante os ensaios. Devido aos tratamentos térmicos realizados é de se esperar que a amostra de referência (amostra 1) apresente a menor dureza, a amostra temperada (amostra 2) a maior dureza, e a amostra revenida (amostra 3) uma dureza intermediária as anteriores.

Na Figura 9 temos os valores obtidos através do ensaio de dureza Brinell. A amostra 1 (referência – sem tratamento) apresenta um valor médio de 246,71 HB, estando dentro do intervalo esperado para este tipo de aço (entre 185 – 245 HB). Podemos observar um aumento na dureza de aproximadamente 2,6x no aço quando submetido a têmpera (amostra 2) e uma diminuição da dureza quando ocorre o tratamento de revenimento (amostra 3), conforme esperado pela natureza dos tratamentos térmicos utilizados.

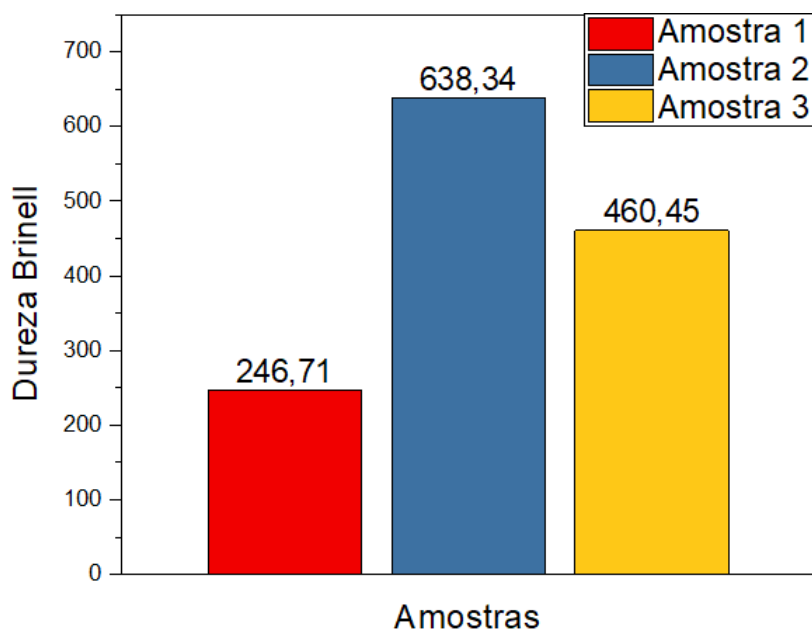


Figura 9 – Valores médios das durezas Brinell

Fonte: Autoria própria (2018)

Na Figura 10 temos os valores médios obtidos pelo ensaio de dureza Rockwell. Observamos que, como esperado, a amostra 1 (referencia) é a que possui o menor valor de dureza (19,85 HR), seguido de um aumento considerável da mesma devido a têmpera (56,47), obtendo através do revenimento uma diminuição da dureza, conforme visto na amostra 3, com 42,15 HR. Conforme visto na figura 3, valor obtido pela têmpera era esperado para um aço com 0,45%C.

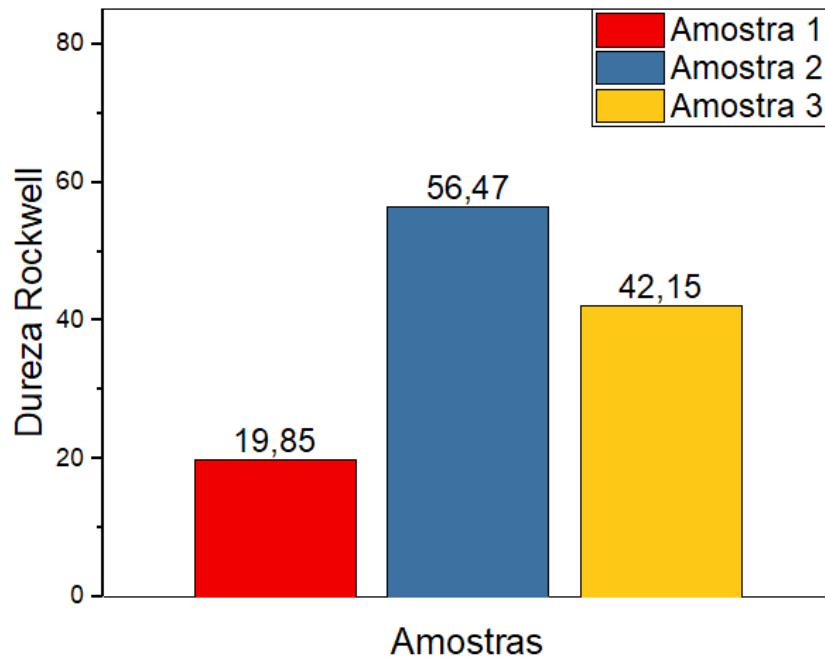


Figura 10 – Valores médios das durezas Rockwell

Fonte: Autoria própria (2018)

Na Figura 11 temos os valores médios obtidos pelo ensaio de dureza Vickers. Podemos observar os mesmos fatos citados anteriormente, no qual a amostra 1 apresenta a menor dureza (192,58 HV), seguido da maior dureza devido a têmpera (714,5 HV) e de uma diminuição da mesma devido ao revenimento (496,5 HV).

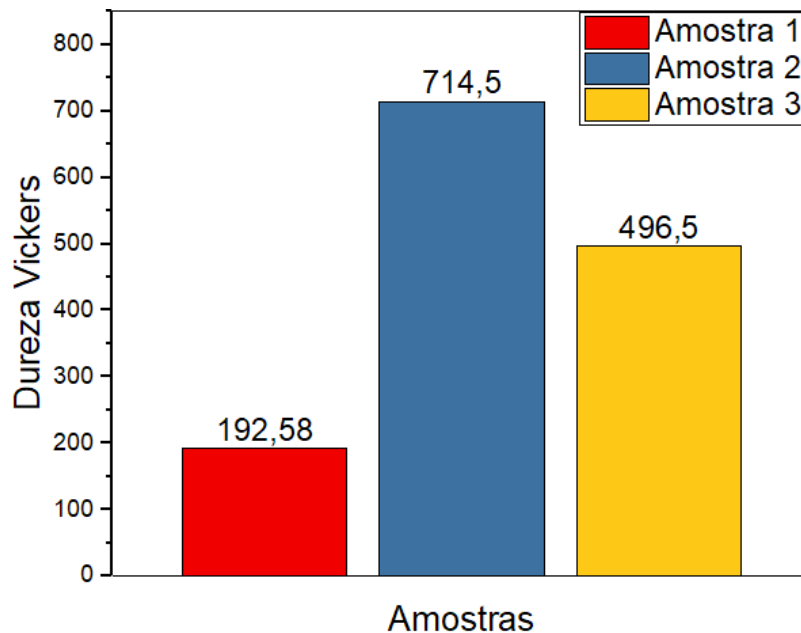


Figura 11 – Valores médios das durezas Vickers

Fonte: Autoria própria (2018)

## 4 | CONCLUSÃO

Foi possível perceber a mudança e o aparecimento de fases esperadas nas

amostras por meio das microscopias ópticas, pelo uso da metalografia, possibilitando, assim, a identificação de cada uma das fases. Na amostra 3 foi observado surgimento de trinca, possivelmente devido ao lento aquecimento e o rápido resfriamento da amostra, demonstrando que, ao resfriar a peça na água, tensões são criadas, favorecendo trincas no material utilizado. Através dos ensaios de dureza foi possível comprovado a mudança de dureza no aço devido aos tratamentos térmicos utilizados, mostrando que as propriedades mecânicas também são influenciadas pelos tratamentos térmicos.

## REFERENCIAS

CALLISTER Jr., W.D.; **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**, LTC Ed. 7ª Ed., Rio de Janeiro, 2008.

CHAWLA, K. K.; MEYRES, M. A. **Mechanical Behavior of Materials**. 2ª. Ed., Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica Vol. I – Materiais de Construção Mecânica**. 2ed., Makron Books. São Paulo, 1986.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica Vol. II – Materiais de Construção Mecânica**. 2ed., Makron Books. São Paulo, 1986.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica Vol. III – Materiais de Construção Mecânica**. 2ed., Makron Books. São Paulo, 1986.

GROOVER; MIKELL, P. **Introdução aos processos de fabricação**. 1ed., Gen LTC. Rio de Janeiro, 2014.

VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de Ciência dos Materiais**. 13 ed., Edgard Blücher. São Paulo: 1970.

## **SOBRE A ORGANIZADORA:**

**Marcia Regina Werner Schneider Abdala:** Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-63-5

