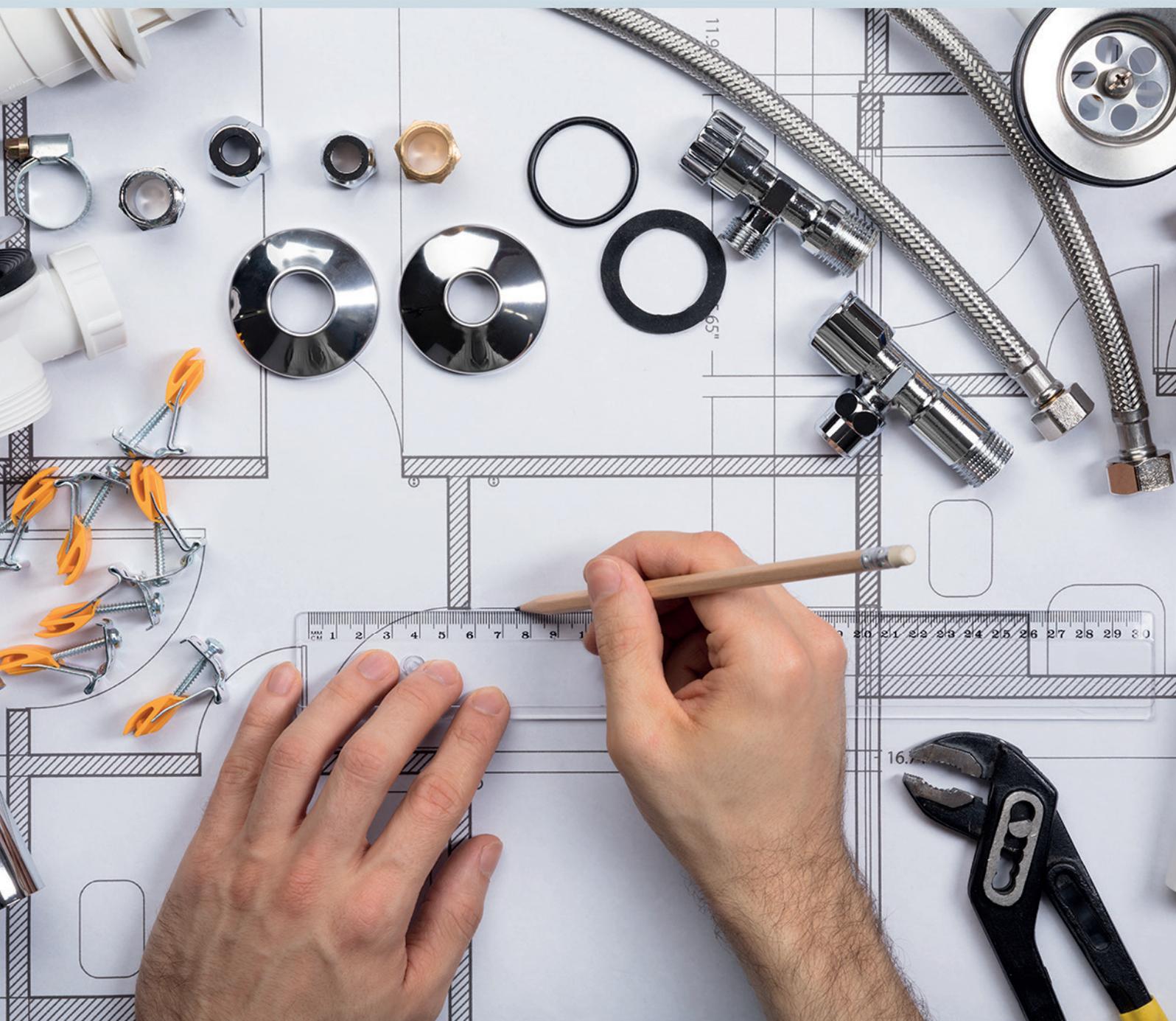


# Ciência e Engenharia de Materiais

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>

## TRANSIÇÃO OBSERVADA ENTRE OS MODOS DE DESGASTE MICRO-ABRASIVO POR “RISCAMENTO” E POR “ROLAMENTO” EM WC-CO P20 E AÇO-FERRAMENTA M2

**Ronaldo Câmara Cozza**

Centro Universitário FEI – Fundação Educacional  
Inaciana “Padre Sabóia de Medeiros”,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
São Bernardo do Campo – SP  
CEETEPS – Centro Estadual de Educação  
Tecnológica “Paula Souza” – Faculdade  
de Tecnologia de Mauá – FATEC-Mauá,  
Departamento de Fabricação Mecânica  
Mauá – SP

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho é estudar a transição entre os modos de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” e por “rolamento” em WC-Co P20 e aço-ferramenta M2, em ensaios “ball-cratering”. Foram utilizadas esferas de aço-carbono AISI 1010 (cementado) e uma lama abrasiva preparada com carbeto de silício (SiC) e água destilada. Diferentes valores de força normal e distância de deslizamento foram definidos e, durante os experimentos, a lama abrasiva foi gotejada entre o corpo-de-prova e a esfera de ensaio. Todas as crateras de desgaste geradas foram analisadas por microscopia óptica, com o intuito de verificar os modos de desgaste micro-abrasivos atuantes nas superfícies das mesmas. Nos corpos-de-prova de WC-Co P20 foi relatada a ação solo de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” e desgaste micro-abrasivo “misto”, caracterizado

pela ação simultânea de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” e desgaste micro-abrasivo por “rolamento”. Em relação aos corpos-de-prova de aço-ferramenta M2, reportou-se, somente, a atuação de desgaste micro-abrasivo “misto”.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desgaste micro-abrasivo, desgaste micro-abrasivo por riscamento, desgaste micro-abrasivo por rolamento.

**ABSTRACT:** The purpose of this research is to study the grooving abrasion and rolling abrasion micro-abrasive wear modes transition in specimen of WC-Co P20 and M2 tool steel under ball-cratering wear testing. Cemented AISI 1010 balls and an abrasive slurry prepared with silicon carbide (SiC) and distilled water were used. Different values of normal force and sliding distance were defined and during the experiments the abrasive slurry was supplied between the specimen and the ball. All wear craters were analyzed under optical microscopy with the aim of to verify the micro-abrasive wear modes. In the specimen of WC-Co P20 was reported the occurrence of “grooving abrasion” and “mixed-mode” micro-abrasive wear, characterized by simultaneous action of “grooving abrasion” and “rolling abrasion”. In relation to M2 tool steel, it was observed only the action of “mixed-mode” micro-abrasive wear.

**KEYWORDS:** Micro-abrasive wear, grooving

abrasion, rolling abrasion.

## 1 | INTRODUÇÃO

De acordo com Trezona *et al.* (1999), há dois modos de desgaste micro-abrasivo: “*riscamento*” e “*rolamento*”. Considerando duas superfícies em movimento relativo, no desgaste micro-abrasivo por “*riscamento*”, as partículas abrasivas estão fixas em uma das superfícies e, conseqüentemente, possuem somente movimento de translação contra a superfície oposta. No desgaste micro-abrasivo por “*rolamento*”, as partículas abrasivas estão livres para rolar entre as superfícies.

Com o equipamento de ensaio de desgaste micro-abrasivo de configuração mecânica “*ball-cratering*” é possível estudar o comportamento ao desgaste micro-abrasivo de materiais metálicos e não-metálicos, sob condições variadas de ensaios. A Figura 1 (COZZA, 2014a) esquematiza o princípio de funcionamento deste tipo de equipamento, em que a força normal ( $N$ ) é responsável pelo contato entre a esfera de ensaio e o corpo-de-prova; o contato e o movimento relativo entre estes dois elementos geram uma força tangencial ( $T$ ) e uma cratera de desgaste sobre o corpo-de-prova.

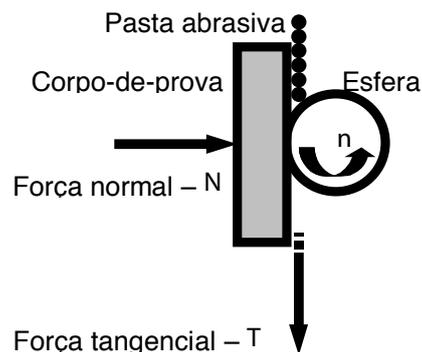


Figura 1. Princípio de operação do equipamento de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa (COZZA, 2014a).

Por meio desse ensaio tribológico, os trabalhos de Trezona *et al.* (1999), Adachi e Hutchings (2003) e Mergler e Huis in ‘t Veld (2003) comprovaram que alterações nos valores de força normal, concentração de lama abrasiva ( $C$ ), dureza ( $H$ ), forma e tamanho de partículas abrasivas, além dos materiais da esfera de ensaio e do corpo-de-prova, podem modificar o modo de desgaste micro-abrasivo atuante. Adicionalmente, durante a transição de desgaste micro-abrasivo por “*riscamento*” para desgaste micro-abrasivo por “*rolamento*” (ou, vice-versa), é possível estabelecer condições experimentais em que ambos os modos de desgaste micro-abrasivo ocorram simultaneamente (COZZA, 2014b, COZZA; RODRIGUES; SCHÖN, 2015, COZZA; SCHÖN, 2015).

Observando a presença e a importância deste fenômeno tribológico, o objetivo

deste trabalho é estudar a transição entre os modos de desgaste micro-abrasivos por “riscamento” e “rolamento” em WC-Co P20 e aço-ferramenta M2.

## 2 | EQUIPAMENTO DE ENSAIO, MATERIAIS E METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 2.1 Equipamento de ensaio

Um equipamento para ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa (tipo “*ball-cratering*”) de configuração mecânica “esfera-fixa” (Figura 2) foi utilizado nos experimentos. Nesta configuração mecânica, esferas de ensaio com um furo central foram fixadas ao eixo de ensaio, por meio de uma porca sextavada e uma arruela de pressão.

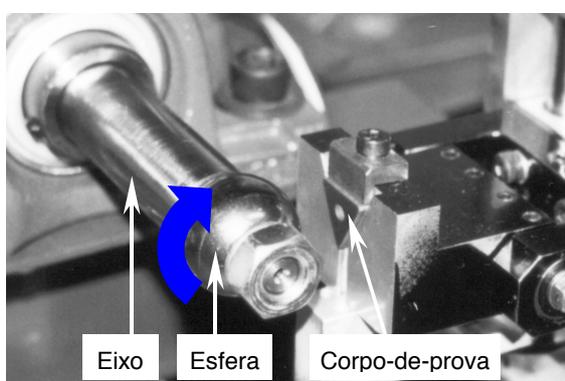


Figura 2. Equipamento de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa fixa utilizado neste trabalho.

### 2.2 Materiais

Os corpos-de-prova foram de WC-Co P20 e aço-ferramenta M2 (temperado e revenido). Todos possuíam forma de triângulo equilátero, com aresta de 16 mm e espessura de 3 mm.

Para as análises das microestruturas do WC-Co P20 e do aço-ferramenta M2, corpos-de-prova foram embutidos em baquelita, tendo suas superfícies preparadas com lixas *grãos* #220, #320, #400, #600 e pastas diamantadas de granulometrias 6  $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$  e 0,25  $\mu\text{m}$ . Após, o ataque químico da superfície do WC-Co P20 foi realizado com *MURAKAMI* e, para a superfície do aço-ferramenta M2, foi utilizado *Nital* 3%. A Figura 3a exibe a microestrutura do WC-Co P20 e, a Figura 3b, a microestrutura do aço-ferramenta M2.

Foram utilizadas esferas de ensaio de aço AISI 1010 cementado, de diâmetro  $D = 25,4 \text{ mm}$  (1”). Os furos de fixação foram usinados por processos convencionais de fabricação: furação e passagem de alargador realizados em um Torno Mecânico.

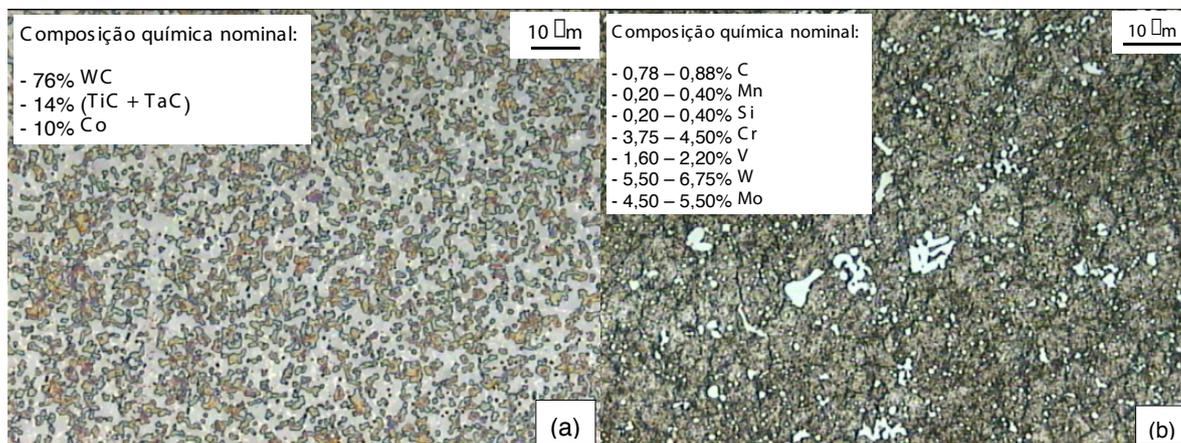


Figura 3. Microestrutura do (a) WC-Co P20 e do (b) aço-ferramenta M2. Imagens obtidas por Microscopia Óptica.

A pasta abrasiva foi preparada com carbeto de silício preto – SiC (tamanho médio de partícula de 5 µm e formato angular), comercial de grau técnico (IZHEVSKYI; GENOVA; BRESSIANI; BRESSIANI, 2004), e água destilada. A Figura 4 (IZHEVSKYI; GENOVA; BRESSIANI; BRESSIANI, 2004) mostra uma Micrografia Eletrônica de Varredura do SiC utilizado.

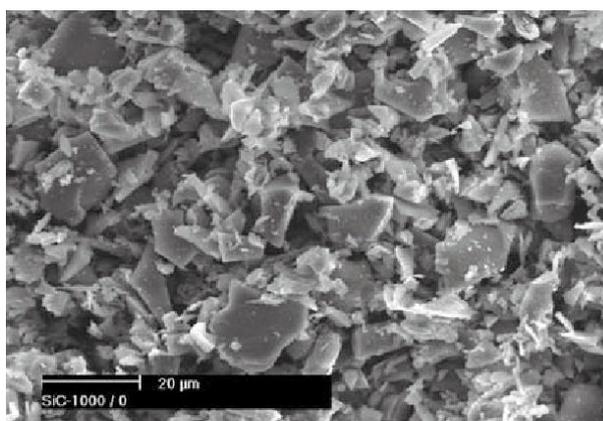


Figura 4. Imagem obtida por Microscopia Eletrônica de Varredura do SiC utilizado (IZHEVSKYI; GENOVA; BRESSIANI; BRESSIANI, 2004).

Para o cálculo da dureza do SiC, uma porção do material foi sinterizada e dez indentações *Vickers* foram conduzidas sob uma carga de 50 N e tempo de 15 s (IZHEVSKYI; GENOVA; BRESSIANI; BRESSIANI, 2004). Com estes mesmos valores de força e tempo, foram medidas as durezas *Vickers* dos corpos-de-prova, por meio de treze indentações realizadas na superfície de cada material; em seguida, descartando-se o valor de dureza obtido na primeira endentação, a dureza de cada material foi determinada pela média aritmética dos dez valores mais próximos entre si. A dureza das esferas de aço AISI 1010 cementado foi obtida junto à empresa “SÓ ESFERAS – Comércio de Esferas Ltda.” – empresa fornecedora das mesmas, correspondente à dureza na superfície da mesma. A Tabela 1 reúne os valores das durezas destes

materiais.

	Material	Dureza – [HV]
Corpo-de-prova	WC-Co P20	1193
	Aço-ferramenta M2	652
Esfera de ensaio	Aço AISI 1010 – cementado	856
Partículas abrasivas	SiC – carbeto de silício	1937

Tabela 1. Dureza dos materiais utilizados nos ensaios.

## 2.3 Metodologia Experimental

A Tabela 2 apresenta as condições estabelecidas para os ensaios.

Condição de ensaio	1	2
Força normal – $N$ [N]	1,25	5
Concentração da lama abrasiva – $C$ [em volume]	25% SiC + 75% água destilada	
Rotação da esfera de ensaio – $n$ [rpm]	15	
Tempo de ensaio – $t$ [min]	5	
Distância de deslizamento – $S$ [m]	6	

Tabela 2. Valores dos parâmetros de ensaio estabelecidos para os experimentos.

Dois valores de força normal foram estabelecidos,  $N1 = 1,25$  N e  $N2 = 5$  N, junto à um valor de concentração de lama abrasiva:  $C = 25\%$  SiC + 75% de água destilada (em volume). A rotação da esfera de ensaio foi  $n = 15$  rpm e o tempo de ensaio ficou definido em  $t = 5$  min, resultando em um valor de distância de deslizamento ( $S$ ) entre a esfera de ensaio e o corpo-de-prova de  $S = 6$  m.

Todos os ensaios foram conduzidos sem paradas intermediárias e a lama abrasiva foi, continuamente, gotejada entre a esfera de ensaio e o corpo-de-prova.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os ensaios conduzidos nos corpos-de-prova de aço-ferramenta M2 resultaram em desgaste micro-abrasivo “misto” (atuação conjunta de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” com desgaste micro-abrasivo por “rolamento”). Em relação aos corpos-de-prova de WC-Co P20, para a menor força normal,  $N1 = 1,25$  N, foi observada a atuação do “modo misto” de desgaste micro-abrasivo, enquanto que para a força normal de maior magnitude,  $N2 = 5$  N, foi reportada a atuação solo de desgaste micro-abrasivo por “riscamento”. Nos casos de atuação de desgaste micro-abrasivo “misto”, no centro da cratera de desgaste houve a ocorrência

de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” e, nas bordas, desgaste micro-abrasivo por “rolamento” (Figura 5); Adachi e Hutchings (2003) observaram o mesmo comportamento em corpos-de-prova de *PMMA*.

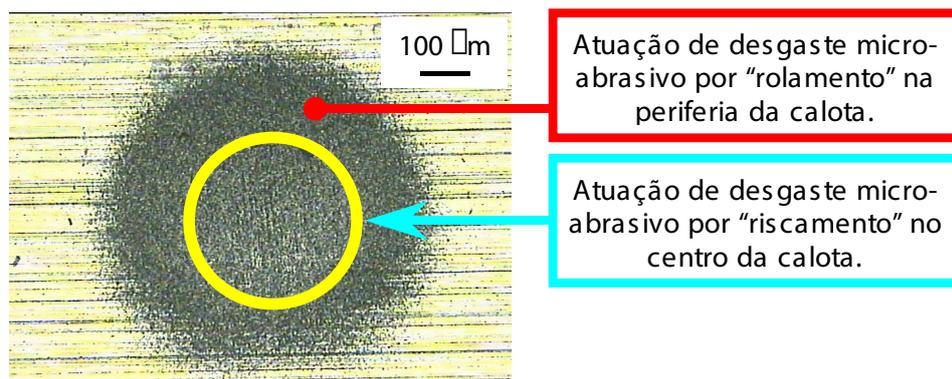
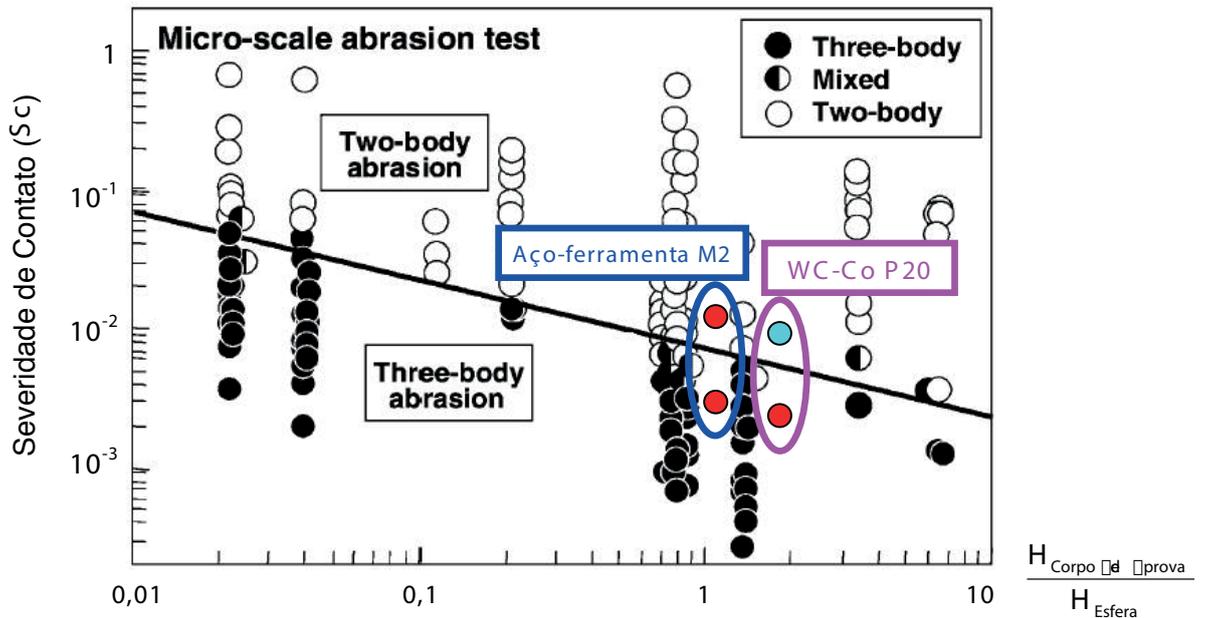


Figura 5. Ação de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” (centro) e desgaste micro-abrasivo por “rolamento” (extremidades) na calota, para a força normal  $N_1 = 1,25 \text{ N}$  – WC-Co P20.

Trezona *et al.* (1999) mencionam que, para elevadas forças normais ( $N \geq 5 \text{ N}$ ) e baixas concentrações de lama abrasiva, há o domínio de desgaste micro-abrasivo por “riscamento”, enquanto que, para elevadas concentrações de lama abrasiva ( $C \geq 25\%$  material abrasivo em volume) e baixas forças normais, há o predomínio de desgaste abrasivo por “rolamento”. Neste trabalho, foi observado um comportamento similar: para a menor força normal ( $N_1 = 1,25 \text{ N}$ ), houve a ocorrência de desgaste micro-abrasivo “misto” em ambos os materiais de corpos-de-prova e para a maior força normal ( $N_2 = 5 \text{ N}$ ) foi observado a atuação de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” no corpo-de-prova de WC-Co P20.

Os resultados deste trabalho foram superpostos na Figura 6, que reproduz um ábaco originalmente publicado por Adachi e Hutchings (2003), e conduz a uma previsibilidade referente às ações dos modos de desgaste micro-abrasivo, considerando os parâmetros utilizados na Equação (A) (ADACHI; HUTCHINGS, 2003, HUTCHINGS, 1992). Em tal equação, a Severidade de Contato ( $S_c$ ) é função das durezas ( $H$ ) dos materiais da esfera e do corpo-de-prova, raio da esfera ( $R$ ), Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) dos materiais da esfera e do corpo-de-prova, Módulo de Young ( $E$ ) dos materiais da esfera e do corpo-de-prova, tamanho médio das partículas abrasivas ( $DP$ ) e fração volumétrica de partículas abrasivas na concentração de lama abrasiva ( $J$ ).



- Desgaste micro-abrasivo por “riscamento”
- Desgaste micro-abrasivo “misto”

Fig. 6. Gráfico representando as atuações de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” e desgaste micro-abrasivo “misto” observados nas calotas geradas nesta pesquisa. Ábaco extraído do trabalho de Adachi e Hutchings (2003).

$$Sc = \frac{N \left( \frac{1}{H_{Esfera}} + \frac{1}{H_{Corpo-de-prova}} \right)}{\left[ \sqrt[3]{0,75 \cdot N \cdot R \left( \frac{1 - \nu_{Esfera}^2}{E_{Esfera}} + \frac{1 - \nu_{Corpo-de-prova}^2}{E_{Corpo-de-prova}} \right)} + 2 \cdot R \cdot D_p \right] \pi \cdot g} \quad (A)$$

Nota-se que os resultados obtidos nesta pesquisa estão em concordância qualitativa com os trabalhos apresentados por Trezona *et al.* (1999) e Adachi e Hutchings (2003), em relação às atuações e transição entre os modos de desgaste micro-abrasivo.

#### 4 | CONCLUSÕES

Sob concordância qualitativa com os resultados publicados por Adachi e Hutchings (2003), a força normal apresentou significativa influência sobre a transição entre os modos de desgaste micro-abrasivo. Sob relativa baixa força normal, foi reportado a ocorrência do “modo-misto” de desgaste micro-abrasivo e, sob a força normal de maior valor, caracterizou-se o desgaste micro-abrasivo por “riscamento”.

## REFERÊNCIAS

ADACHI, K.; HUTCHINGS, I.M.. **Wear-mode mapping for the micro-scale abrasion test.** *Wear*, vol. 255, p. 23-29, 2003.

COZZA, R.C.. **Influence of the normal force, abrasive slurry concentration and abrasive wear modes on the coefficient of friction in ball-cratering wear tests.** *Tribology International*, vol. 70, p. 52-62, 2014a.

COZZA, R.C.. **Third abrasive wear mode: is it possible?** *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 3 (2), p. 191-193, 2014b.

COZZA, R.C.; RODRIGUES, L.C.; SCHÖN, C.G.. **Analysis of the micro-abrasive wear behavior of an iron aluminide alloy under ambient and high-temperature conditions.** *Wear*, vol. 330-331C, p. 250-260, 2015.

COZZA, R.C.; SCHÖN, C.G.. **Evidence of superposition between grooving abrasion and rolling abrasion.** *Tribology Transactions*, vol. 58, p. 875-881, 2015.

HUTCHINGS, I.M.. **Tribology – Friction and Wear of Engineering Materials.** 7<sup>th</sup> Edition, Edward Arnold, a division of Hodder Headline PLC, London, UK, 1992.

IZHEVSKYI, V.A.; GENOVA, L.A.; BRESSIANI, J.C.; BRESSIANI, A.H.A.. **Liquid phase sintered SiC ceramics from starting materials of different grade.** *Cerâmica*, vol. 50, p. 261-267, 2004.

MERGLER, Y.J.; HUIS IN 'T VELD, A.J.. **Micro-abrasive wear of semi-crystalline polymers.** *Tribology and Interface Engineering Series 41*, p. 165-173, 2003. *Tribological Research and Design for Engineering Systems – Proceedings of the 29<sup>th</sup> Leeds-Lyon Symposium on Tribology*, University of Leeds, UK.

TREZONA, R.I.; ALLSOPP, D.N.; HUTCHINGS, I.M.. **Transitions between two-body and three-body abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test.** *Wear*, vol. 225-229, p. 205-214, 1999.

## **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

