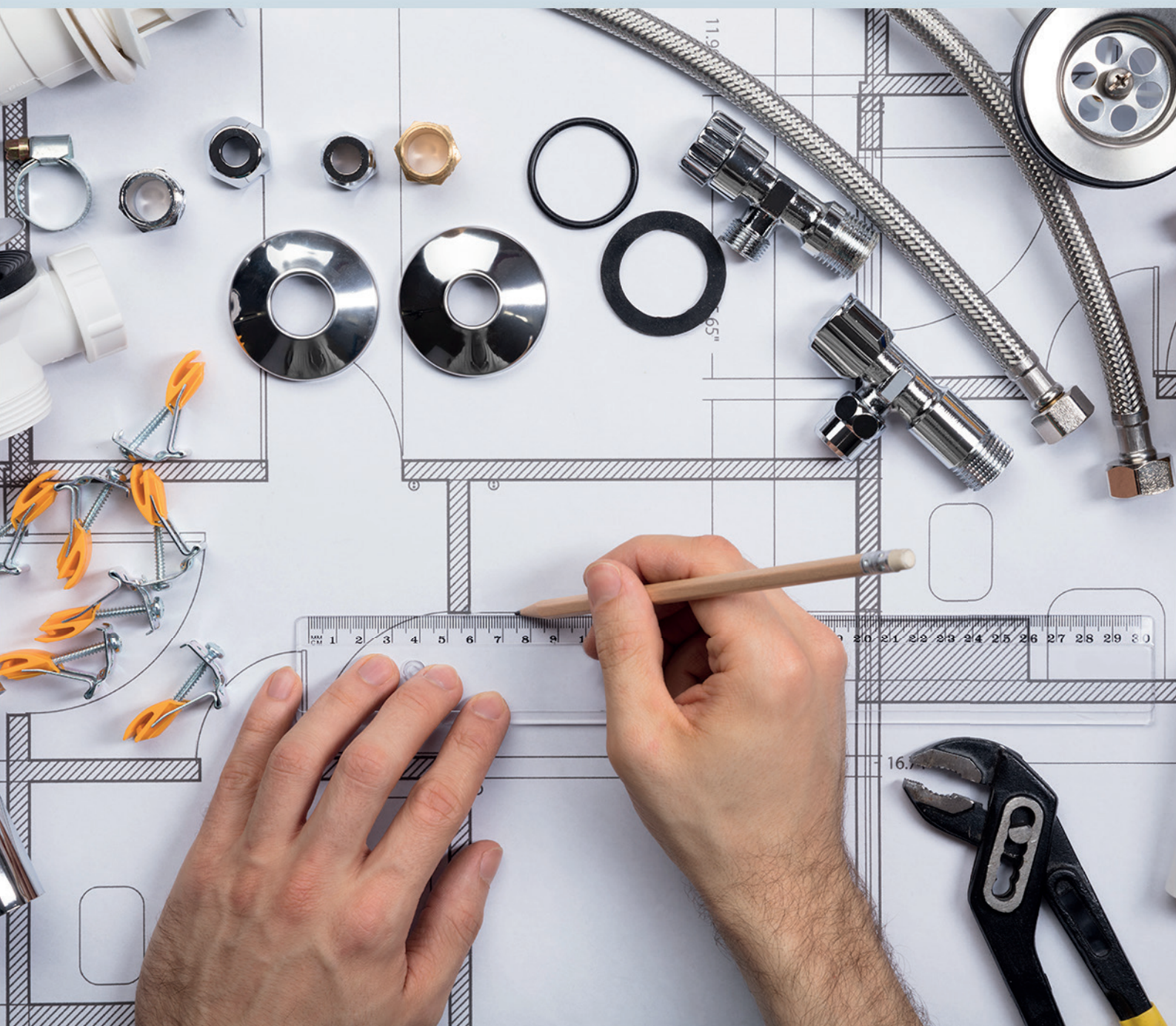


Ciência e Engenharia de Materiais

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

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

CAPÍTULO 1	1
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>	
CAPÍTULO 2	12
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>	
CAPÍTULO 3	25
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>	
CAPÍTULO 4	32
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO BAIXO CARBONO APÓS PROCESSO DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA	
<i>Vanessa Moura de Souza</i>	
<i>Vinicius Martins</i>	
CAPÍTULO 5	43
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>	
CAPÍTULO 6	58
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>	
CAPÍTULO 7	65
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>	

CAPÍTULO 8	84
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>	
CAPÍTULO 9	92
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>	
CAPÍTULO 10	105
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>	
CAPÍTULO 11	118
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>	
CAPÍTULO 12	129
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>	
CAPÍTULO 13	138
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>	
CAPÍTULO 14	153
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>	
CAPÍTULO 15	160
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>	
CAPÍTULO 16	173
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>	

CAPÍTULO 17	184
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>	
CAPÍTULO 18	194
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>	
CAPÍTULO 19	204
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>	
CAPÍTULO 20	213
CORROSÃO E BIOCORROSÃO EM AÇO CARBONO	
<i>Diana Magalhães Frazão</i> <i>Ivanilda Ramos de Melo</i> <i>Severino Leopoldino Urtiga Filho</i>	
SOBRE A ORGANIZADORA	218

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CARBETO DE VANÁDIO NA MOAGEM E NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO AISI 52100, PRODUZIDO POR METALURGIA DO PÓ

Leandra Fernandes de Oliveira

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Itajubá – MG

Bruna Horta Bastos Kuffner

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI

Itajubá – MG

Daniela Sachs

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI

Itajubá – MG

Gilbert Silva

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI

Itajubá – MG

Geovani Rodrigues

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI

Itajubá - MG

RESUMO: O Aço AISI 52100 é um aço ferramenta que após sua vida útil é refundido ou descartado. Uma das alternativas de reaproveitamento desse aço é a metalurgia do pó (MP). Neste trabalho, o aço foi moído em moinho de alta energia por 10, 20, 30, 40 e 50 horas, com e sem a adição de carbeto de vanádio (VC). Os pós foram caracterizados por sedigrafia e microscopia eletrônica de varredura (MEV) quanto ao tamanho e morfologia das partículas. O pó que apresentou menor granulometria passou por um tratamento de alívio de tensão em uma temperatura de 500 °C, sob vácuo por 1 hora e em seguida foi prensado na forma de pastilhas.

As pastilhas foram sinterizadas a 1200°C, sob vácuo por 30 minutos. Foram avaliados suas densidades, porosidades, durezas e módulos elásticos. Os resultados mostraram que o VC aumenta a eficiência em menores tempos de moagem e também aumenta a porosidade das amostras, apresentando menor densificação. Os valores de dureza e módulo elástico foram significativamente maiores nas amostras sem adição de VC.

PALAVRAS-CHAVE: Metalurgia Do Pó, Moagem de Alta Energia, Caracterização Microestrutural E Mecânica.

ABSTRACT: The AISI 52100 steel is a tool steel that after its useful life is remelted or discarded. One of this steel reuse of alternatives is the powder metallurgy (PM). In this work, the steel was ground in high-energy mill for 10, 20, 30, 40 and 50 hours with and without the addition of vanadium carbide (VC). The powders were characterized by serigraphy and scanning electron microscopy (SEM) for size and particle morphology. The powder that showed lower particle size underwent a stress relieving treatment at 500°C, under vacuum, by 1 h and was pressed into tablet form. The tablets were sintered at 1200°C, under vacuum by 0,5 h. Was evaluated their densities, porosities, hardness and elastic moduli. The results showed that the VC increases the grinding efficiency to lower

milling times and also increases the porosity of the samples, with less densification. The values of hardness and elastic modulus were significantly higher in samples without addition of VC.

KEYWORDS: Powder Metallurgy, High Energy Milling, Microstructural and mechanical characterization.

1 | INTRODUÇÃO

O aço AISI 52100 é um aço fortemente utilizado na fabricação de ferramentas para trabalho a frio, como brocas, alargadores, ferramentas para repuxos em tornos, ferramentas para extrusão a frio, ferramentas para madeira, etc (CREMONEZI, 2009). O mesmo apresenta alta resistência ao desgaste, suporta altas tensões de contato, mesmo em temperaturas elevadas não apresenta variação em suas dimensões iniciais (KUFFNER *et al.*, 2017). A composição química típica do aço AISI 52100 pode ser vista na Tabela 1 (KUFFNER *et al.*, 2015).

	C	Cr	Mn	Si	Cu	Ni	Mo	P	S
MÁXIMO	0,98	1,30	0,25	0,15	-	-	-	-	-
MÍNIMO	1,10	1,60	0,45	0,35	0,35	0,25	0,10	0,025	0,025

Tabela 1: Composição química do aço SAE 52100 (pp%).

O reaproveitamento do aço, em geral é uma solução simples e economicamente viável para prevenir a escassez do minério de ferro e diminuir os gastos das usinas siderúrgicas (WÜBBEKEA & HEROTHB, 2014). O reaproveitamento do aço AISI 52100, através da rota de metalurgia do pó, além de contribuir para uma menor agressão ao meio ambiente, transforma uma possível sucata do aço 52100 em material útil para a fabricação de outra peça.

A técnica de metalurgia do pó normalmente é dividida em três etapas, a moagem, a prensagem e a sinterização. Uma das técnicas que se destaca na etapa de moagem é o processo de moagem de alta energia, que proporciona a obtenção de pós nanocristalinos. A prensagem do pó, ou compactação pode ser dividida em prensagem uniaxial e prensagem isostática. Na uniaxial o pó é compactado em uma matriz rígida a qual sofre uma pressão na direção axial. Na isostática o pó é compactado em um molde flexível sobre o qual atua um fluido que transmite a pressão em todas as direções do material (BRAGA *et al.*, 2007).

A sinterização é uma etapa em que se define a microestrutura do material. Tal etapa consiste em um processo físico de consolidação do material por difusão no estado sólido, nesta etapa as partículas de pó adquirem uma estrutura sólida coerente, o que acarreta uma redução da área superficial específica, aumento da densidade e

da resistência mecânica (BRAGA *et al.*, 2007).

Na técnica de metalurgia do pó, materiais de alta dureza como alumina e carbetos podem ser adicionados na etapa de moagem para aumentar a eficiência da moagem. Adicionalmente, estes materiais de alta dureza aumentam a resistência mecânica das amostras sinterizadas.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho o aço AISI52100 foi moído por 10, 20, 30, 40 e 50 horas sem a adição de VC e com a adição de 3%.

2.1 Moagem

Foram moídos, sob atmosfera de argônio, 40 g do aço AISI 52100 sem adição de VC e com a adição de 1,2g de e 40 g do aço com adição de 1,2 g de carbetos de vanádio, utilizando um moinho de alta energia Yangzhou Nuoya Machinery Co., Ltda, modelo Noah Nqm-2 Palnetary Ball Mill, Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais (LPCM/UNIFEI). Os parâmetros da moagem foram: 1:15 (relação massa/esfera) e velocidade de 400 rpm.

2.2 Tamanho de Partícula

Os ensaios de tamanho de partícula foram realizados em um equipamento Malvern modelo Mastersizer 2000 laboratório de caracterização estrutural (IEM/UNIFEI). Utilizou-se água destilada como fluido para dispersão do pó.

2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

Para o ensaio de microscopia eletrônica de varredura foi utilizado um microscópio da marca Carl Zeiss modelo EVO MA15 do laboratório de caracterização estrutural (IEM/UNIFEI). Onde foram analisadas a morfologia e a variação do tamanho das partículas dos pós do aço moído com e sem a adição de VC. A determinação da distribuição do VC nos pós foi determinada pela técnica de EDX.

2.4 Tratamento para alívio de tensão

Para proporcionar a obtenção das pastilhas no processo de prensagem, o pó com 50 horas de moagem foi previamente submetido a um tratamento térmico para alívio de tensão. O pó foi tratado a 500°C, sob vácuo, por uma hora utilizando um forno da marca EDG, modelo EDG 3P-S 3000 do Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais (LPCM/UNIFEI).

2.5 Prensagem Uniaxial

As amostras (~4 g) foram prensadas uniaxialmente utilizando uma matriz metálica com diâmetro de 12 mm, em uma prensa marca Schulz do Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais (LPCM/UNIFEI). A carga aplicada no ensaio foi de duas toneladas, a qual foi mantida por 30 segundos na amostra, sendo esse procedimento repetido três vezes para garantir uma compactação mais eficiente do pó.

2.6 Densidade

A densidade a verde foi medida utilizando a relação massa/volume. As medidas de densidade das pastilhas sinterizadas foram realizadas pelo método de Arquimedes. Para isso foi utilizada uma balança analítica Shimadzu, modelo AUY220 do Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais (LPCM/UNIFEI).

2.7 Sinterização

A sinterização foi realizada apenas com os pós que apresentaram menor tamanho de partículas, ou seja, os pós moídos por 50 horas com e sem adição de VC. A sinterização foi realizada a 1200°C, sob vácuo por 30 minutos utilizando um forno da marca EDG, modelo EDG 3P-S 3000, do Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais (LPCM/UNIFEI). Após o tratamento térmico, as amostras foram resfriadas no próprio forno.

2.8 Módulo Elástico

O ensaio para a determinação do módulo de elasticidade foi realizado na máquina da marca INSTRON, modelo 8801 do laboratório de ensaios destrutivos (IEM/UNIFEI). Após o ensaio de compressão, plotou-se a curva *TensãoxDeformação* das seis amostras sinterizadas.

2.9 Porosidade

A determinação da porosidade das amostras sinterizadas foi realizada utilizando microscopia óptica em um microscópio óptico metalúrgico da marca Janavert, modelo Infinity1, Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais (LPCM/UNIFEI). A análise foi realizada em quatro amostras do aço AISI 52100, duas amostras sem adição de VC e duas com a adição de 3%VC. Para cada uma das amostras avaliou-se cinco campos diferentes, utilizando o software computacional Stream Basics.

2.10 Dureza

As medidas de dureza foram realizadas no laboratório de metalurgia e materiais (LMM/UNIFEI), utilizando um durômetro Jester – Otto Wolpert-Werke. No ensaio foi utilizada uma carga de 62,5kg e um indentador esférico de 2,5mm. Foram efetuadas 5 medidas de dureza em campos diferentes de cada amostra para se determinar a média dos resultados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Tamanho de Partícula

Por meio da análise do tamanho de partículas observou-se que o aço com maior tempo de moagem apresentou menor granulometria. Comparando o aço puro com o aço contendo 3% de VC, observou-se que aquele com adição de VC apresentou menor granulometria, para os mesmos tempos de moagem, principalmente nos tempos mais curtos.

A Tabela 2 mostra o tamanho das partículas e suas porcentagens de acordo com cada tempo de moagem e composição. Por meio dessa tabela observou-se que a diferença entre os tamanhos de partículas das amostras com e sem VC diminuiu nos maiores tempos de moagem, mas a fração volumétrica das partículas menores aumentou.

Tempo de moagem	Aço AISI 52100 puro	Aço AISI 52100 com 3% de vc
10 HORAS	1642 μm – 55,8% 722,5 μm – 44,2%-	451,6 μm – 61,7% 9,72 μm – 26,3% 2,808 μm – 12,0%
20 HORAS	73,67 μm - 96,6% 9,87 μm – 3,4%	49,08 μm – 75,1% 10,82 μm – 24,9%
30 HORAS	38,92 μm – 71,2% 11,14 μm – 28,8%	33,64 μm – 46,5% 10,85 μm – 53,5%
40 HORAS	42,11 μm – 47,6% 10,89 μm – 50,8% 3,51 μm – 1,6%	37,53 μm – 29,5% 10,59 μm – 63,8% 3,22 μm – 6,7%
50 HORAS	31,73 μm – 17,6% 10,56 μm – 76,4% 3,29 μm – 6,0%	41,52 μm – 23,9 % 10,41 μm – 60,3% 3,02 μm – 15,8%

Tabela 2: Tamanho e porcentagem das partículas obtidas através de granulometria a laser

3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura

As imagens obtidas pela técnica de microscopia eletrônica de varredura para

o aço AISI 52100 puro mostraram que com 10 horas de moagem as partículas apresentaram uma morfologia acicular, com tamanho variando de 200 μm a 1700 μm , aproximadamente (Figura 1a). Com 20 horas de moagem, as partículas se modificaram para uma morfologia mais irregular, com tamanho variando de 5 μm a 300 μm , aproximadamente (Figura 1b).

Com 30, 40 e 50 horas a morfologia das partículas continuou irregular formando aglomerados, variando apenas o tamanho de partícula nesses tempos de moagem.

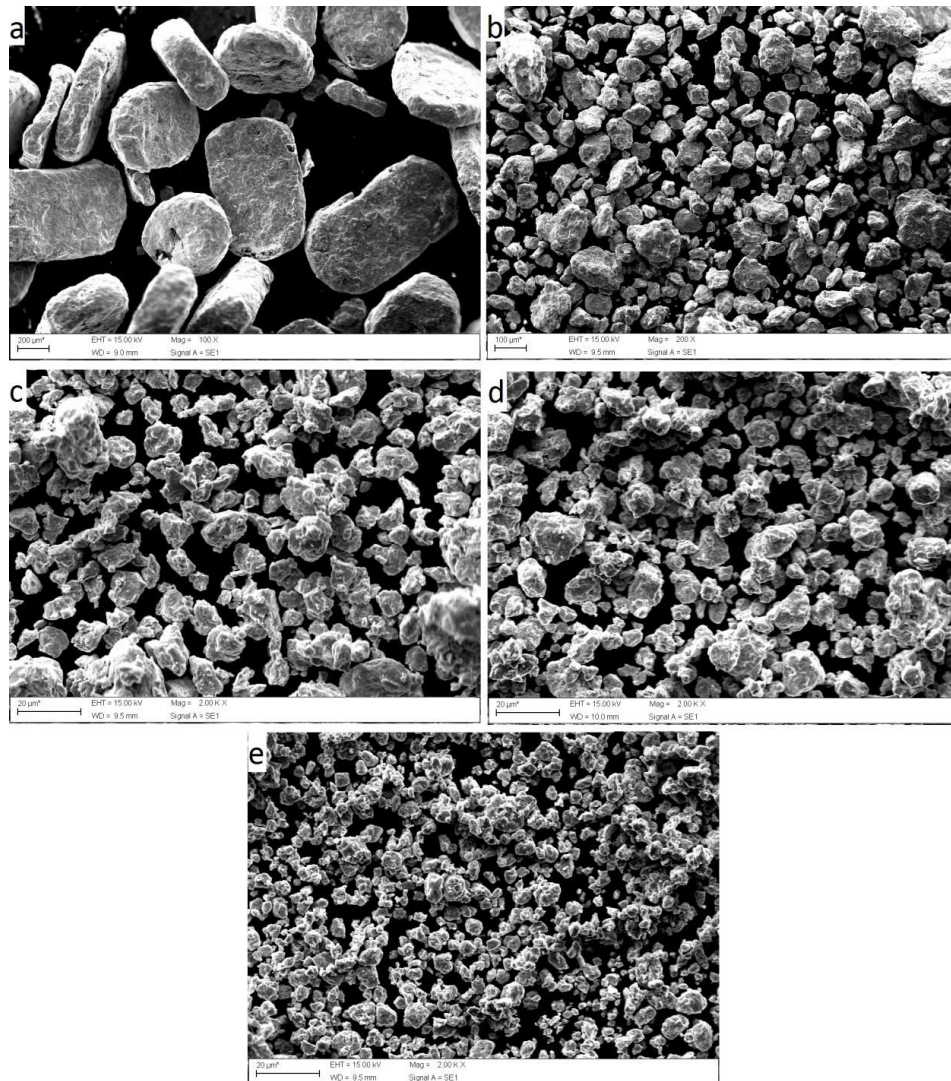


Figura 1: Micrografia do aço AISI 52100 puro, a) 10 horas de moagem; b) 20 horas de moagem; c) 30 horas de moagem; d) 40 horas de moagem; e) 50 horas de moagem.

Para o aço AISI 52100 com adição de 3% de VC observou-se que com 10 horas de moagem (Figura 2a) a morfologia das partículas também é acicular, como a do aço puro para o mesmo tempo de moagem, mas seu tamanho difere, variando de 10 μm a 600 μm , aproximadamente. A partir de 20 horas (Figura 2b) de moagem as partículas começaram a apresentar morfologia irregular, sendo que de 30 horas até 50 horas (Figura 2c, 2d e 2e) formaram-se aglomerados, variando apenas o tamanho de partícula nesses tempos de moagem.

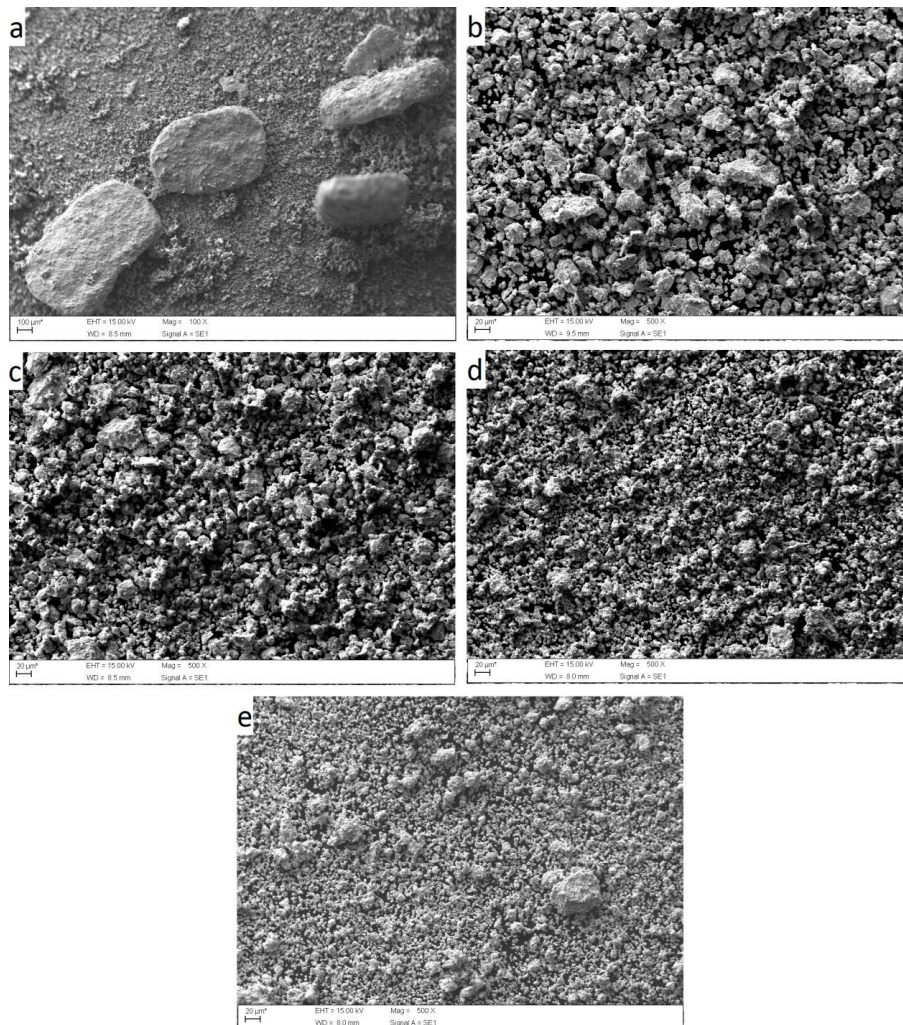


Figura 2: Micrografias do aço AISI 52100 com adição de 3% de VC. a) 10 horas de moagem; b) 20 horas de moagem; c) 30 horas de moagem; d) 40 horas de moagem; e) 50 horas de moagem.

Dessa maneira, notou-se que a adição de 3% de VC melhorou a eficiência da moagem do aço AISI 52100 (para menores tempos de moagem), comparado com o aço puro, como se viu também no ensaio de tamanho de partícula.

Por meio do EDX determinou-se os elementos químicos presentes (por meio de mapeamento) no aço AISI 52100 com 3% de VC. Como esperado, os elementos encontrados foram: ferro (aço), cromo (aço) e vanádio (oriundo do VC). Além disso, em todos os tempos de moagem o VC esteve bem homogêneo na amostra, ou seja, apresentou uma boa dispersão. A Figura 3 mostra a distribuição do ferro, do cromo e do VC no aço após 50 horas de moagem.

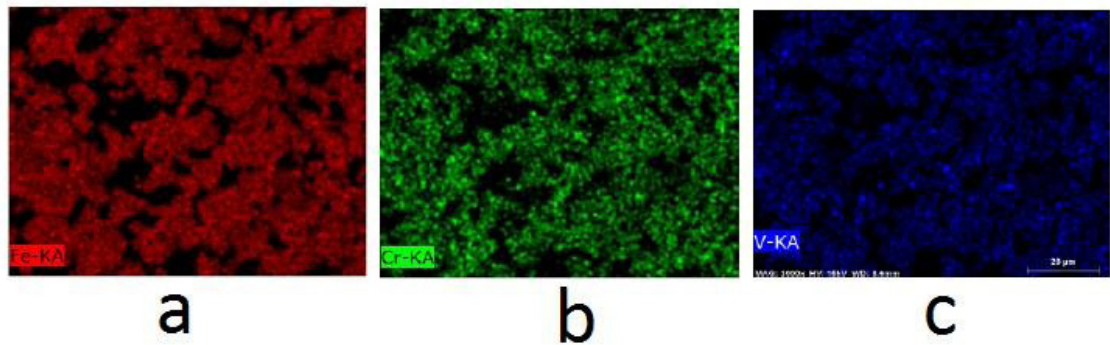


Figura 3: Mapeamento via EDS dos pós do aço AISI 52100 com adição de 3% de VC após 50 horas de moagem, destacando: a) Ferro; b) Cromo; c) Vanádio.

3.3 Densidades à verde e por Arquimedes

Os resultados mostraram que a densidade a verde foi de $4,56 \text{ g/cm}^3$ para o aço puro e de $4,43 \text{ g/cm}^3$ para o aço com adição de VC. Após a sinterização a densidade foi de $7,26 \text{ g/cm}^3$ e $6,67 \text{ g/cm}^3$, para o aço puro e com VC, respectivamente.

3.4 Porosidade das amostras sinterizadas

Os resultados da análise de porosidade das amostras, utilizando microscopia óptica, do aço sem e com a adição de VC são apresentados na Figura 4 e na Tabela 3.

Os resultados mostraram que as amostras com VC apresentam maior porosidade residual se comparadas com as amostras do aço puro. Tal resultado já era esperado, pois a densidade das amostras com VC também foram menor. Além disso, na amostra de aço puro, a porosidade é menos acentuada e os poros estão na faixa de $5 \mu\text{m}$. No aço com VC, os poros estão na faixa de $35 \mu\text{m}$.

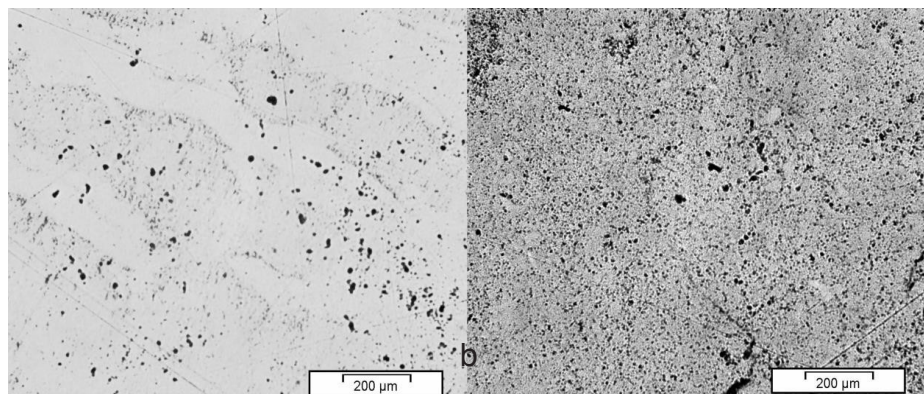


Figura 4: Micrografia do aço AISI 52100 após sinterização, a) aço puro e b) aço com adição de 3% de VC.

Os resultados mostraram que as amostras com VC apresentam maior porosidade residual se comparadas com as amostras do aço puro. Tal resultado já era esperado, pois a densidade das amostras com VC também foram menor. Além disso, na amostra de aço puro, a porosidade é menos acentuada e os poros estão na faixa de $5 \mu\text{m}$. No aço com VC, os poros estão na faixa de $35 \mu\text{m}$.

A Tabela 3 mostra os valores de porosidade encontrados para ambos os materiais. O aço AISI 52100 puro apresentou uma média de porosidade de 10,12 %, enquanto o aço com 3% de VC apresentou uma média de 16,29 %. Certamente a inserção de 3% de VC inibe a difusão entre as partículas do metal fazendo com que haja uma maior porosidade.

Medida	Porosidade (%): aço AISI 52100 puro	Porosidade (%): aço AISI 52100 com 3% de vc
1	09,63	28,95
2	12,33	06,16
3	02,00	12,94
4	16,00	15,80
5	06,75	16,87
6	13,16	19,08
7	05,87	10,82
8	09,51	11,10
9	10,89	28,37
10	15,02	12,77
MÉDIA	10,12	16,29
DESVIO PADRÃO	4,34	7,44

Tabela 3: Porcentagem de poros para o aço AISI 52100 puro e com 3% de VC.

3.5 Dureza das amostras sinterizadas

As amostras de aço sem adição de VC apresentaram um valor médio de dureza de 281,6 HV, enquanto as amostras produzidas com adição de 3% de VC apresentaram um valor médio de 173,2 HV. Ambos os valores são altos, o que era esperado devido à densidade das amostras, a qual foi relativamente alta.

3.6 Módulo Elástico das amostras sinterizadas

Por meio do ensaio de compressão das amostras sinterizadas foi possível construir as curvas *tensãoxdeformação* das mesmas, obtendo-se o módulo de elasticidade (E). A figura 5 mostra as curvas de 3 amostras do aço AISI 52100 puro e de 3 amostras do aço AISI 52100 com 3% de carbeto de vanádio, respectivamente.

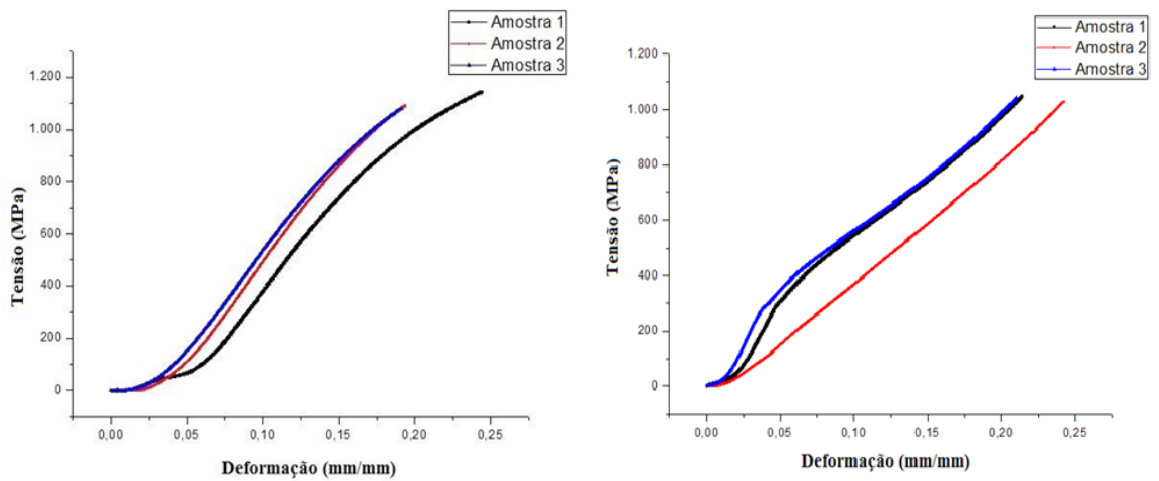


Figura 5: Curvas tensão x deformação do aço AISI 52100 puro (à esquerda) e com 3% de VC (à direita).

O módulo de elasticidade médio obtido para as amostras sem e com VC foram de 8,10 e 2,01 GPa respectivamente. Para o aço AISI 52100 com adição de VC, a média do módulo elástico foi de 2,01 GPa. Comparando as duas médias obtidas, tem-se uma redução de aproximadamente 75% no valor do módulo elástico das amostras puras, o que pode ter sido afetado pela grande diferença de porosidade entre as amostras.

4 | CONCLUSÃO

A inserção do VC propiciou um significativo aumento na eficiência de moagem. Entretanto, este aumento na eficiência foi observado apenas para baixos tempos de moagem. Com adição de VC obteve-se amostras com porosidades elevadas o que ocasionou uma redução nos valores de microdureza e módulo elástico quando comparado às amostras sinterizadas sem a adição de VC.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a FAPEMIG que financiaram a bolsa de estudos e a execução deste projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

BRAGA, N. D. A; FERREIRA, N. G; CAIRO. C. A. A. **Obtenção de Titânio metálico com porosidade controlada por metalurgia do pó.** Revista Quim. Nova, Vol. 30, No. 2, 450- 457, 2007.

CREMONEZI, A; *et al.* **A Metalurgia do Pó: alternativa econômica com menor impacto ambiental.** Ed. São Paulo: Metallum eventos técnicos e científicos 2009.

KUFFNER, B.H.B.; DIOGO, W. S. ; AMANCIO, D. A. ; RODRIGUES, G. ; SILVA, G. **Evaluation of**

the milling efficiency increase of AISI 52100 steel using niobium carbide addition through high energy ball milling. Rem: Revista Escola de Minas, v. 68, p. 295-300, 2015.

KUFFNER B.H.B.; SILVA, G.; RODRIGUES, C.A.; RODRIGUES, G. **Study of the AISI 52100 Steel Reuse Through the Powder Metallurgy Route Using High Energy Ball Milling.** Materials Research-Ibero-american Journal of Materials, v. 21, p. 1-10, 2017.

WÜBBEKEA, J.; HEROTHB, T. **Challenges and political solutions for steel recycling in China.** Resources, Conservation and Recycling, V 87, p. 1–7, 2014.

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

