

Evolução na Ciência e Engenharia de Materiais

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)



Atena
Editora

Ano 2020

Evolução na Ciência e Engenharia de Materiais

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)



Atena
Editora

Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

E93 Evolução na ciência e engenharia de materiais [recurso eletrônico] /
 Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR:
 Atena Editora, 2020.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
 Modo de acesso: World Wide Web
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-85-7247-921-9
 DOI 10.22533/at.ed.219201601

1. Engenharia de materiais – Pesquisa – Brasil. I. Holzmann,
 Henrique Ajuz.

CDD 620.11

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Grandes empresas e centros de pesquisa investem maciçamente em setores de P&D a fim de tornarem seus produtos e suas tecnologias mais competitivas.

Destaca-se que a área de material compreende três grandes grupos, a dos metais, das cerâmicas e dos polímeros, sendo que cada um deles tem sua importância na geração de tecnologia e no desenvolvimento dos produtos. Aliar os conhecimentos pré-existentes com novas tecnologias é um dos grandes desafios da nova engenharia.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. Apresenta capítulos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, com aplicações nos mais diversos ramos da ciência, bem como assuntos relacionados a melhoria em processos e produtos já existentes, buscando uma melhoria e a redução dos custos.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO DE FIBRAS VEGETAIS NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E MORFOLOGIA DA FRATURA DE COMPÓSITOS COM FIBRAS CONTÍNUAS E ALINHADAS	
Fábio Santos de Sousa Edwillson Gonçalves de Oliveira Filho Luciano Monteiro Almeida Roberto Tetsuo Fujiyama	
DOI 10.22533/at.ed.2192016011	
CAPÍTULO 2	10
COMPÓSITOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS COM FIBRAS NATURAIS E SINTÉTICAS CONTÍNUAS E ALINHADAS	
Luciano Monteiro Almeida César Tadeu Nasser Medeiros Branco Douglas Santos Silva Edwillson Gonçalves de Oliveira Filho Roberto Tetsuo Fujiyama	
DOI 10.22533/at.ed.2192016012	
CAPÍTULO 3	23
CARACTERIZAÇÃO DE NANOFILTRO REDUTOR DE SULFETO DE HIDROGÊNIO E UMIDADE DO BIOGÁS	
Mateus Sousa Pinheiro Gabrielle Dias Coelho Maria del Pilar Hidalgo Falla	
DOI 10.22533/at.ed.2192016013	
CAPÍTULO 4	36
DESCRIÇÃO TERMODINÂMICA DE MICRODOMÍNIOS DENTRO DE PICHE MESOFÁSICO PRECURSOR PARA FIBRAS DE CARBONO	
Caio Cesar Ferreira Florindo Adalberto Bono Maurizio Sacchi Bassi	
DOI 10.22533/at.ed.2192016014	
CAPÍTULO 5	51
NANOBIOSENSOR ELETROQUÍMICO BASEADO EM APTAMERO PARA DETECÇÃO DE OCRATOXINA A EM CAFÉ TORRADO	
Maurília Palmeira da Costa Itala Gabriela Tavares Lima Idjane Silva de Oliveira Cesar Augusto Souza de Andrade Maria Danielly Lima de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.2192016015	

CAPÍTULO 6	63
DETECÇÃO ESPECÍFICA DE SCHISTOSOMA MANSONI EM LCR USANDO UM BIOSSENSOR ELETROQUÍMICO DE DNA BASEADO EM NANOPARTICULAS DE OURO E MERCAPTOSILANO	
Giselle Soares dos Santos	
César Augusto Sousa de Andrade	
Fábio Lopes de Melo	
Maria Danielly Lima de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.2192016016	
CAPÍTULO 7	73
PRODUÇÃO DE NANOMATERIAIS BIOMIMÉTICOS A PARTIR DE UM NOVO SISTEMA DE <i>ELECTROSPINNING</i> PARA ENGENHARIA DE TECIDOS DOS MENISCOS DO JOELHO	
Thiago Domingues Stocco	
Anderson de Oliveira Lobo	
DOI 10.22533/at.ed.2192016017	
CAPÍTULO 8	87
PLATAFORMA NANOSTRUTURADA BASEADA EM APTÂMERO PARA DETECÇÃO DE OCRATOXINA A	
Maurília Palmeira da Costa	
Ítala Gabriela Tavares Lima	
Idjane Silva de Oliveira	
Cesar Augusto Souza de Andrade	
Maria Danielly Lima de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.2192016018	
CAPÍTULO 9	96
CARACTERIZAÇÃO DE NANOCOMPÓSITOS PLA/ZNO POR REOLOGIA E NMR NO DOMÍNIO DO TEMPO	
Amanda Ramos Aragão Melo	
José Carlos Dutra Filho	
Maria Inês Bruno Tavares	
DOI 10.22533/at.ed.2192016019	
CAPÍTULO 10	108
INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE CÁLCIO E BÁRIO EM COMPOSIÇÕES DE PEROVSKITAS $TR_{(1-x)}M_xO_3$ (TR= PR, GD), (M = CA, BA) (X= 0,2) NA ATIVIDADE CATALÍTICA	
Cássia Carla de Carvalho	
Anderson Costa Marques	
Symone Leandro de Castro	
Davidson Nunes de Oliveira	
Filipe Martel de Magalhães Borges	
Alexandre de Sousa Campos	
DOI 10.22533/at.ed.21920160110	
CAPÍTULO 11	119
CERÂMICAS AVANÇADAS: PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURAS DE ÓXIDOS TERRA RARA-NÍQUEL	
Bruna Niccoli Ramirez	
Márcia Tsuyama Escote	
DOI 10.22533/at.ed.21920160111	

CAPÍTULO 12 133

INSERÇÃO DE ESCÂNDIO E FÓSFORO NO SEMICONDUTOR DE DIÓXIDO DE TITÂNIO PARA APLICAÇÃO EM FOTOCATÁLISE

Eduardo Felipe De Carli
Eliane Kujat Fischer
Natali Amarante da Cruz
Alberto Adriano Cavalheiro

DOI 10.22533/at.ed.21920160112

CAPÍTULO 13 146

INDUTORES DE RÁDIO FREQUÊNCIA EXTERNOS COM ALTOS FATORES DE QUALIDADE USANDO OURO, SU8 E ALUMINA

Lucas Martins Miranda de Almeida
Alexandre da Silva Nascimento
Richard Alexandrino de Macedo
Angélica dos Anjos Ayala

DOI 10.22533/at.ed.21920160113

CAPÍTULO 14 153

INCLUSÃO DE NANOPARTÍCULAS DE $3Y-ZrO_2$ EM MATRIZ DE $\alpha-AL_2O_3$ PARA CONFEÇÃO DE INSERTO CERÂMICO

Miguel Adriano Inácio
José Victor Candido de Souza
Maria do Carmo de Andrade Nono
Sergio Luiz Mineiro
Daniel Alessander Nono

DOI 10.22533/at.ed.21920160114

CAPÍTULO 15 160

OPTICAL AND ELECTROCHEMICAL PROPERTIES IN CDSE/CDTE AND CDSE/CDTE NANOCRYSTALS PREPARED BY AQUEOUS SYNTHESIS

Raul Fernando Cuevas Rojas
Miguel Angel González Balanta
Silvio José Prado
Pablo Henrique Menezes
Lauro Antonio Pradela Filho
Victor Ciro Solano Reynoso

DOI 10.22533/at.ed.21920160115

CAPÍTULO 16 170

PRODUCTION OF ALKALINE PHOSPHATASE BY DENTAL PULP STEM CELLS IN INTERFACE WITH PLASMA MODIFIED TITANIUM

Keylla Dayanne Coelho Marinho de Melo
Laís Albuquerque Vasconcelos
Clodomiro Alves Junior
Jussier Oliveira Vitoriano
Hugo Alexandre de Oliveira Rocha
Moacir Fernandes de Queiroz Neto
José Sandro Pereira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.21920160116

CAPÍTULO 17 187

SÍNTESE HIDROTÉRMICA ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS DE ALUMINA TRI-HIDRATADA

Ricardo Ritter de Souza Barnasky
Cristiane Wienke Raubach Ratmann
Marciel Gaier
Mário Lúcio Moreira
Sergio da Silva Cava

DOI 10.22533/at.ed.21920160117

CAPÍTULO 18 201

MODIFICAÇÃO QUÍMICA DA LIGA DE ALUMÍNIO 5052 PARA OBTENÇÃO DE SUPERFÍCIES SUPER-HIDROFÓBICAS

Rafael Gleymir Casanova da Silva
Maria Isabel Collasius Malta
Severino Leopoldino Urtiga Filho
Sara Horácio de Oliveira
Magda Rosângela Santos Vieira

DOI 10.22533/at.ed.21920160118

CAPÍTULO 19 207

INFLUENCE OF THE ALUMINA ADDITION IN THE WEAR RESISTANCE OF THE SINTERED AISI 52100 STEEL

Bruna Horta Bastos Kuffner
Gilbert Silva
Carlos Alberto Rodrigues
Geovani Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.21920160119

CAPÍTULO 20 212

IMPROVEMENT OF TITANIUM SURFACE WITH PLASMA NITRIDING TREATMENT

Laís Albuquerque Vasconcelos
Keylla Dayanne Coelho Marinho de Melo
Clodomiro Alves Junior
Jussier Oliveira Vitoriano
Hugo Alexandre de Oliveira Rocha
Moacir Fernandes de Queiroz Neto
José Sandro Pereira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.21920160120

CAPÍTULO 21 226

AValiação de termofosfatos de alumínio com a adição de escória siderúrgica

Maria Sílvia Camarão de Sousa
Oscar Jesus Choque Fernandez
Edilson Carvalho Brasil
Marcondes Lima da Costa
Érika Raiol Pinheiro
Marlo Oliveira Costa

DOI 10.22533/at.ed.21920160121

CAPÍTULO 22 236

CARACTERIZAÇÃO DA LAMA DE ALTO-FORNO DE UMA SIDERÚRGICA INTEGRADA DO SUDESTE DO PARÁ

Wellington Bruno Silva de Jesus
Alacid do Socorro Siqueira Neves
Emanuel Negrão Macêdo
José Antônio da Silva Souza
Luiz Felipe Silva Pereira
Roseane de Lima Silva
Verônica Scarpini Cândido
Antonio Lourenço da Costa Neto
Raimunda Figueiredo da Silva Maia
Daniel José Lima de Sousa

DOI 10.22533/at.ed.21920160122

CAPÍTULO 23 242

MÉTODO EQUACIONADO PARA PREVISÃO DO TEMPO DE REMOAGEM DE MINÉRIO DE FERRO

Simone Silva Neves
Filipe Mattos Gonçalves
Júnia Soares Alexandrino
Telma Ellen Drumond Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.21920160123

SOBRE O ORGANIZADOR..... 254

ÍNDICE REMISSIVO 255

MÉTODO EQUACIONADO PARA PREVISÃO DO TEMPO DE REMOAGEM DE MINÉRIO DE FERRO

Data de aceite: 08/01/2020

Simone Silva Neves

Técnica de Controle de Processo, Vale S/A, Itabira, Brasil. E-mail: simonenevesminas@gmail.com

Filipe Mattos Gonçalves

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Departamento de Recursos Naturais, Ciências e Tecnologia Ambientais. João Monlevade, Brasil. E-mail: filipemattosg@hotmail.com

Júnia Soares Alexandrino

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Departamento de Recursos Naturais, Ciências e Tecnologia Ambientais. João Monlevade, Brasil.

Telma Ellen Drumond Ferreira

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Departamento de Recursos Naturais, Ciências e Tecnologia Ambientais. João Monlevade, Brasil.

RESUMO: As operações de cominuição correspondem a uma importante parcela do custo total nas unidades de beneficiamento de minérios. Neste contexto, o presente trabalho estudou a utilização de modelos equacionados para as operações de moagem visando à otimização destes processos. Para 79 amostras de furo de sonda de uma jazida do Quadrilátero Ferrífero, foram empregados o método padrão e três outros métodos equacionados, baseando-

se na função de seleção. Os resultados encontrados mostraram que o ensaio padrão por tentativa e erro ainda é mais assertivo do que os métodos equacionados com dois e três ensaios na estimação do tempo de remoagem. Porém, com uma nova proposta de correlação entre o parâmetro “k calculado” e “k ensaio padrão” do banco de dados para definição de um “k ajustado”, elevou-se para 88,6% o número de amostras que ficaram dentro das especificações de 4 a 6% retido na malha de moagem 0,075mm, sendo mais assertivo que o ensaio padrão que obteve 79,7%, ambos realizados com até 3 ensaios. Tal resultado mostra-se promissor na simulação de tempo de moagem e no aumento de produtividade para a empresa.

PALAVRAS-CHAVE: Minério de ferro; Produtividade; Remoagem; Função de seleção.

EQUATION METHOD FOR IRON ORE REGRINDING TIME FORECAST

ABSTRACT: Comminution operations correspond to a significant portion of the total cost of ore beneficiation units. In this context, the present work studied the use of equation models for grinding operations aiming to optimize these processes. For 79 borehole samples from Quadrilátero Ferrífero deposits, a standard method and three other methods

were employed, based on the selection function. The results showed that the standard method by trial and error is still more assertive than the two and three trial equations methods in the estimation of regrinding time. However, with a new approach based on the correlation between the parameter K calculated by the equation and the real K from database to define an “adjusted K”, the number of samples between the specifications of 4 to 6% retained in the milling mesh 0.075mm increased to 88,6%, being more assertive than the standard test that obtained 79.7%, both carried out with up to 3 tests. These results are promising for grinding time simulation and in the increase of productivity for the company.

KEYWORDS: Iron Ore; Productivity; Regrinding; Selection fuction.

1 | INTRODUÇÃO

O atual empobrecimento das jazidas de minério de ferro tem exigido cada vez mais o aprimoramento e adequação dos processos para promover a liberação entre as fases minerais (mineral minério e ganga). A modelagem e a simulação de circuitos de moagem de minérios tem sido estudada por mais de 50 anos e atualmente é tida como uma ferramenta indispensável, visto que a moagem corresponde à uma das etapas mais dispendiosas do beneficiamento de minérios [1]. Diante disso, a caracterização tecnológica do comportamento desses minérios na moagem é de suma importância para aumentar a produtividade e maximizar o aproveitamento de jazidas de baixo teor de ferro, possibilitando o aumento da vida útil de minas em fase de exaustão.

A maioria das literaturas estão voltadas para a previsão do consumo energético (WI de Bond, *Work Index*), que corresponde, numericamente, à energia total expressa em kWh por tonelada curta (907 kg) necessária para reduzir o minério [2]. No entanto, para os trabalhos de caracterização tecnológica voltados para estudos de variabilidade de minas ou jazidas, é necessária a moagem de uma grande quantidade de amostras, com o objetivo de adequar a granulometria do material aos processos subsequentes.

Visto isso, a presente pesquisa visou aumentar a produtividade da empresa, perfazendo testes em escala laboratorial, através da simplificação do ensaio de remoagem. Para os ensaios executados em escala de bancada, a metodologia para definir o tempo de remoagem pode ser empírica (por tentativa e erro) ou pelo método equacionado. Considerando a primeira opção, o número de ensaios pode variar de dois a cinco. Já no processo teórico, o tempo de moagem é previsto por meio de uma equação matemática, neste caso, utilizando-se neste de dois a três ensaios.

2 | MODELO TEÓRICO DO PROCESSO DE COMINUIÇÃO

Os modelos fenomenológicos usados para descrever a moagem de minérios tiveram origem por volta de 1950. Segundo preconizado por Beraldo [3], espera-se que haja gradativamente a aplicação da modelagem matemática nos processos de cominuição e que estes venham a complementar ou mesmo substituir o enfoque sob

o ponto de vista exclusivo da energia consumida. É notório, dada a sua base teórica, diferentemente do enfoque energético totalmente empírico, que o método cinético poderá propiciar uma oportunidade muito mais ampla para o desenvolvimento de novas tecnologias dos processos de fragmentação.

No processo de cominuição, eventos sucessivos de quebra acontecem dentro do moinho e levam em consideração três principais funções [4]:

- a) Função Seleção;
- b) Função de Quebra;
- c) Função Classificação.

Das premissas supracitadas, a Função Seleção é o modelo que será aplicado para descrever a evolução temporal da distribuição granulométrica das partículas em um moinho em bancada (*bach*).

Função Seleção ou Velocidade Específica de Quebra: de forma sucinta, a função seleção é a probabilidade que uma população de partículas possui de sofrer fragmentação. Nesse processo, a massa inicial $W_j (F)$ é submetida a cominuição. Após eventos sucessivos de quebra, uma parte da amostra sofre redução, enquanto o restante da fração permanece sem ter sido cominuída $W_j (P)$. A Equação 1 apresenta a relação entre a massa que sofreu cominuição e a massa inicial do minério [5]:

$$S_j = \frac{W_j (F) - W_j (P)}{W_j (P)} \quad (1)$$

A função de seleção pode ser determinada em ensaio pela velocidade de desaparecimento de material na granulometria de alimentação. Essa definição da função de seleção serve para qualquer processo de cominuição. Considerando-se a velocidade de quebra proporcional à massa de material, define-se como velocidade específica de quebra (S_j) a relação entre a velocidade de quebra e a massa existente, expressa pela Equação 2:

$$S_j = - \frac{dW_j}{dt} / W_j \quad (2)$$

Considerando a função de seleção constante, por integração tem-se a Equação 3:

$$W_j (t) = W_j(0) * e^{-S_j.t} \quad (3)$$

Para facilitar o entendimento, optou-se pela simplificação das seguintes siglas:

- $W_j(t) = R_p$, representa o percentual retido na malha de interesse do produto;
- $W_j(0) = R_f$, representa o percentual retido na malha de interesse da alimentação;
- $S_j = k$, neste caso, é a constante cinética característica do minério e das condições de moagem;
- t , representa o tempo de moagem aplicado ao minério.

Aplicando-se logaritmos naturais na Equação 3, obtêm-se:

$$\ln(R_p) = \ln(R_f) - kt \quad (4)$$

Resultando na expressão final:

$$t = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{R_f}{R_p}\right) \quad (5)$$

Trabalhos desenvolvidos por Donda [6] aplicaram a Equação 5 para o desenvolvimento de um modelo cinético para previsão do consumo específico de energia em moinhos de pequenos diâmetros. Esse autor teve como foco o desenvolvimento de métodos que permitissem prever de forma mais assertiva o consumo energético, parâmetro fundamental para comprovar a viabilidade econômica de um empreendimento.

No entanto, vale ressaltar que para trabalhos rotineiros de laboratórios de caracterização tecnológica, a mesma Equação 5 pode ser aplicada para facilitar o processo dos ensaios de moagem em moinhos de pequenos diâmetros.

Estudos de Gonçalves et al. [7] comprovaram a aplicação e os ganhos obtidos por meio dessa expressão matemática aplicada a minério de ferro para a moagem primária. A aplicação da função seleção para prever o tempo de moagem em bancada mostrou-se promissora, devido à diminuição significativa da quantidade de ensaios realizados por amostras e consequente ganho de produtividade na execução dos ensaios.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho consistiu no estudo de 79 amostras (furos de sondagem) provenientes de uma jazida de minério de ferro situada no Quadrilátero Ferrífero do Estado de Minas Gerais, pertencente à Vale S/A. Estas foram denominadas, baseando-se nos três litotipos predominantes, como sendo: IF (Itabirito Friável), IC (Itabirito Compacto) e IGO (Itabirito Goethítico). As amostras foram processadas em um laboratório de desenvolvimento de pesquisa mineral, sendo que a rota de

beneficiamento em questão contempla as etapas descritas na Figura 1.



Figura 1 – Fluxograma da rota de beneficiamento.

Este trabalho teve como foco o estudo da previsão do tempo de remoagem pelo método de empírico (tentativa e erro) e método equacionado. A análise mineralógica das amostras proveniente do underflow da deslamagem indicou que o grau de liberação das fases minerais se apresentou na malha de 0,075mm. Diante disso, os ensaios de remoagem tiveram essa malha como controle. Buscou-se de 4,0% a 6,0% de retido acumulado em 0,075mm.

Os ensaios foram conduzidos em moinho de bolas (Modelo MJ-BASC002-2010 – 220 v, 60 hz) com as seguintes dimensões: diâmetro interno da jarra de 193 mm e comprimento de 304 mm, sendo a rotação de 72 rpm. O percentual de sólidos aplicado foi de 65%, volume de polpa de 2000 mL e massa seca de aproximadamente 2500 g. A carga moedora foi composta como demonstrado na Tabela 1.

Diâmetro (mm)		Massa (g)	
Valor padrão	Desvio	Valor padrão	Desvio
38,1	± 3	11007	± 50
25,4	± 2	3430	± 20
19,1	± 2	1527	± 10
12,7	± 2	913	± 5

Tabela 1 – Distribuição carga de bolas

A Figura 2 apresenta as metodologias empregadas para a realização dos ensaios de moagem aplicando o método equacionado. Inicialmente, as etapas são análogas, mas a partir do 3º passo cada metodologia segue um fluxo distinto. A rota 1 do fluxograma ilustrado na Figura 2 mostra a metodologia utilizada para dois ensaios de moagem, e a rota 2 apresenta o método para três ensaios.

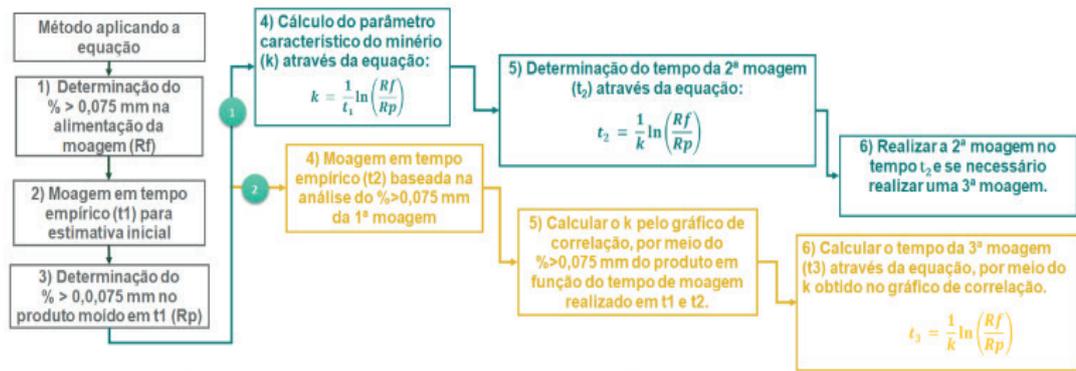


Figura 2 – Fluxograma com as rotas dos métodos equacionados 1 e 2

4 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Gráfico A da Figura 3 apresenta a distribuição de amostras por litologia, de acordo com o método aplicado. Observa-se que a participação percentual de litologia é muito próxima para os três métodos estudados. Já o Gráfico B mostra a quantidade de ensaios realizados e a porcentagem de amostras utilizadas por método aplicado. Para o ensaio padrão e método 1 foram estudadas 79 amostras e, para o método 2, utilizou-se um total de 45 amostras (selecionadas apenas as amostras em que se aplicou no mínimo três ensaios de moagem).

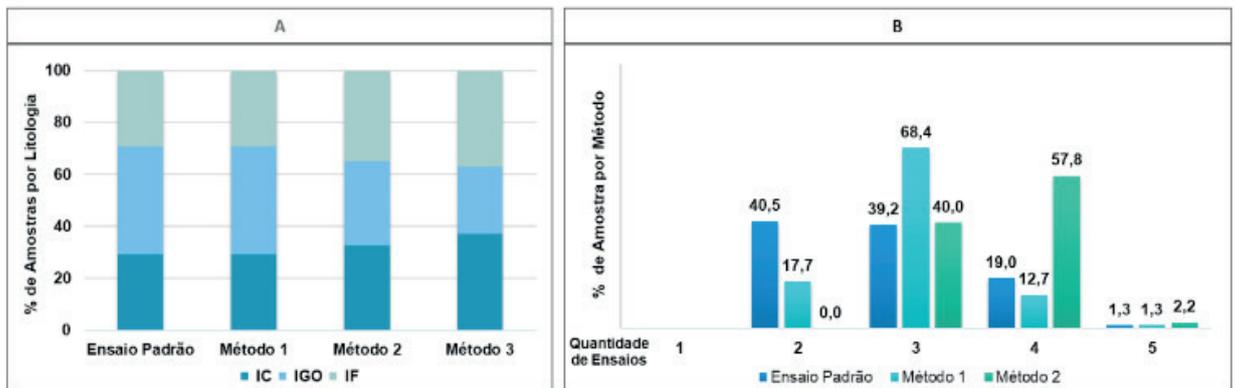


Figura 3 – Distribuição de amostra por litologia e método de ensaio

4.1 Ensaios Padrão

Conforme mostra o Gráfico B da Figura 3, com o uso do ensaio padrão, cerca de 40,5% das amostras precisou de dois ensaios para se atingir de 4,0% a 6,0% retido acumulado na malha de moagem (0,075mm). No total, foram realizados 222 ensaios de remoagem.

4.2 Método 1 - Resultado para dois ensaios de moagem

Conforme mostra o Gráfico B da Figura 3, para dois ensaios, apenas 17,7% das amostras atingiram de 4,0% a 6,0% retido acumulado na malha de moagem (0,075mm). No total, foram realizados 235 ensaios de remoagem. Comparando com o ensaio padrão (222 ensaios), houve um aumento de 5,9% na quantidade de ensaios.

Tal fato mostra que a aplicação do ensaio padrão ainda é mais assertivo e viável do que o método 1, visto que ambos usam dois ensaios de moagem.

A Tabela 2 mostra uma média dos parâmetros com base no banco de dados para a definição do tempo de remoagem por meio de dois ensaios. Os campos em cinza se referem aos dados de entrada (provenientes do ensaio padrão) e as células em branco são campos calculados pelo método equacionado.

Ensaio #	0	1	2	3	4
%+0,075mm Ensaio padrão	53,1	15,7	6,6		
%+0,075mm Desejado	--	5,0	5,0		
Tempo Estimado (min)	0,0	23,0	44,6		
Tempo Ensaio padrão (min)	0,0	23,0	34,9		
k Calculado	--	0,053	0,059		

Tabela 2 – Parâmetros ensaio de remoagem para método 1

Observa-se a diferença de 9,7 minutos em relação ao tempo estimado pela equação (44,6 minutos) quando comparado com o tempo real praticado no ensaio padrão (34,9 minutos). Tal diferença representa uma adversidade ao aplicar a equação, pois se o tempo estimado fosse praticado, este caracterizaria uma sobremoagem do produto. Como nos estudos de variabilidade, a massa do ensaio é restrita e qualquer perda é significativa.

O gráfico da Figura 6 apresenta o tempo de moagem e a litologia para as 79 amostras estudadas, comparando a metodologia de ensaio padrão e o método 1 para previsão do tempo de remoagem.

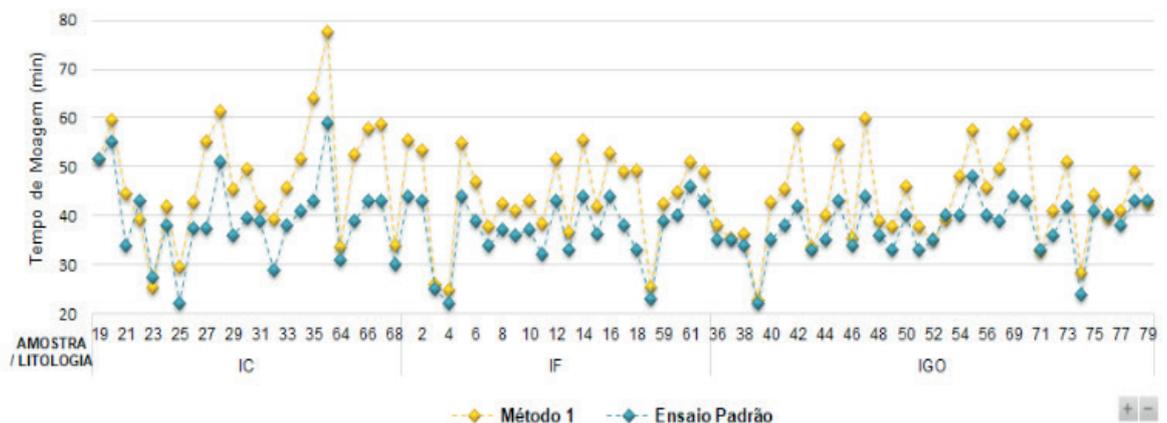


Figura 5 – Distribuição do tempo de moagem por amostra/litologia para método 1

No geral, identifica-se que o tempo de moagem previsto pela equação tem

uma tendência de ficar bem acima do tempo encontrado no ensaio padrão. Além da sobremoagem, que gera um produto fora das especificações, esse aumento de tempo eleva o custo com homem x hora trabalhada e o desgaste do moinho, configurando uma perda de produtividade.

4.3 Método 2 - Resultado para três ensaios de moagem

Na tentativa de reduzir os efeitos da extrapolação do método 1, utilizou-se três ensaios para se atingir de 4,0% a 6,0% retido acumulado na malha de moagem (0,075mm). Conforme mostra o Gráfico B da Figura 2, apenas 40,0% das amostras ficaram dentro dos parâmetros, ao se aplicar a equação segundo o método 2. No total, para o conjunto de 45 amostras que passaram pela terceira fragmentação, foram realizados 163 ensaios de moagem.

A Tabela 3 apresenta a média dos parâmetros com base no banco de dados para a definição do tempo de remoagem por meio de três ensaios. Novamente, verificou-se um maior tempo estimado do que o real, que neste caso foi de 5,5 minutos.

Ensaio #	0	1	2	3	4
%+0,075mm Ensaio padrão	54,4	16,2	8,2	5,7	
%+0,075mm Desejado	--	5,0	5,0	5,0	
Tempo Estimado (min)	0,0	24,0	34,0	43,6	
Tempo Ensaio padrão (min)	0,0	24,0	34,0	38,1	
k	--	0,051	0,055	0,058	

Tabela 3 – Parâmetros ensaio de remoagem para método 2

No intuito de comprovar essa tendência, o gráfico da Figura 9 apresenta a diferença entre o tempo de moagem do ensaio padrão e o método equacionado 2 para as 45 amostras estudadas.

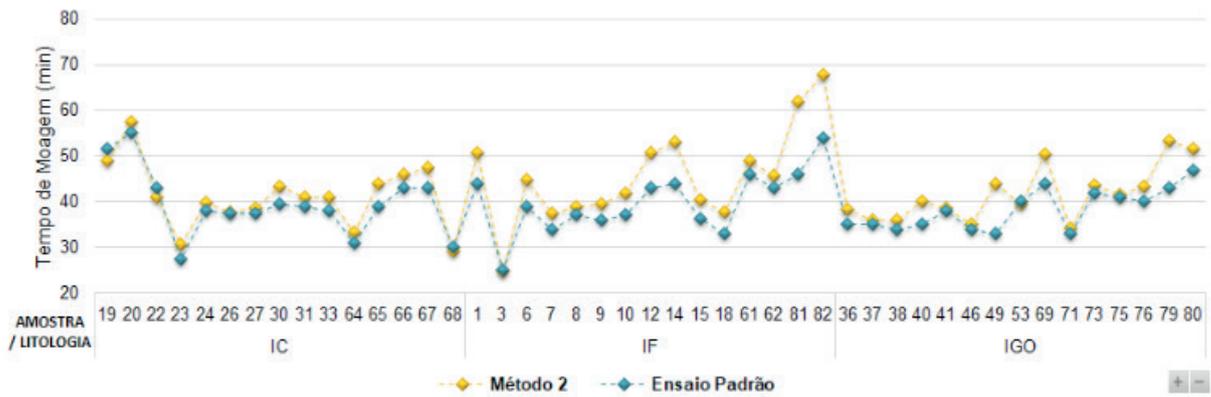


Figura 7 – Distribuição do tempo de moagem por amostra/litologia para método 2

Nota-se que o tempo de moagem previsto pela equação tem uma tendência de ficar acima do tempo encontrado no ensaio padrão, mas a diferença foi ligeiramente menor do que o encontrado no método 1, sendo mais assertivo neste sentido. Porém, vale ressaltar que esse método exigiu, proporcionalmente, uma maior quantidade de testes (173 ensaios), portanto, tal fato deve ser levado em consideração quanto à produtividade entre os métodos.

Durante os estudos, tanto para o método padrão quanto para os métodos equacionados 1 e 2, não se constatou nenhuma tendência significativa de melhor ou pior ajustamento das metodologias segundo os três tipos de minérios Itabiríticos IF, IC, IGO utilizados.

4.4 Método 3 - Resultado para três ensaios moagem com “k ajustado”

Visto que a utilização das metodologias 1 e 2 mostraram resultados inferiores aos do ensaio padrão com relação à produtividade para a empresa, a equipe considerou a possibilidade de uma nova proposta para obtenção do tempo de moagem adequado para atingir o percentual retido na malha de interesse, utilizando os seguintes passos:

- I. Fazer a correlação entre o “k calculado” e o “k ensaio padrão”, conforme o gráfico da Figura 8;
- II. Aplicar a Equação 6 encontrada pelo gráfico de correlação para obter o “k ajustado”, utilizando o “k calculado”. Este último parâmetro foi calculado conforme o método 2 apresentando anteriormente;
- III. Calcular novamente o tempo de moagem pela Equação 5, considerando agora dois ensaios iniciais e o “k ajustado”.

O gráfico da Figura 8 apresenta a correlação entre o “k calculado” e o “k ensaio padrão”, onde foram encontrados o coeficiente de correlação de Pearson e a equação de regressão (Equação 6) para o método dos mínimos quadráticos [8].

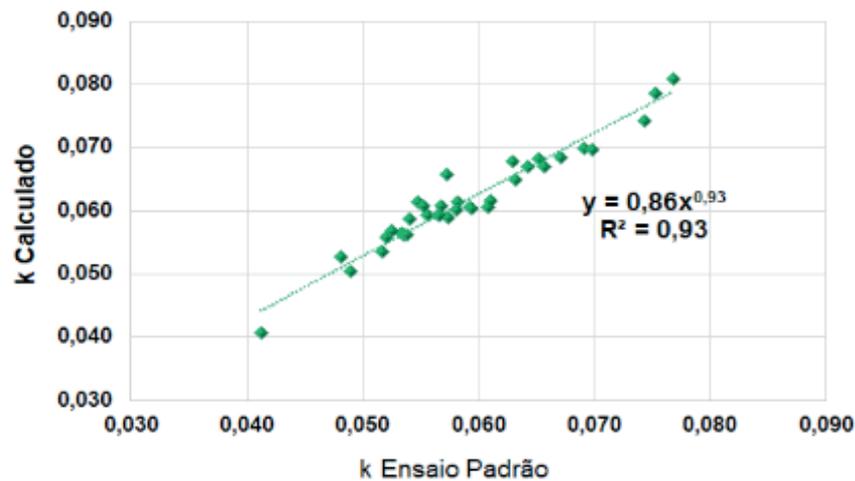


Figura 8 – Correlação entre os parâmetros k

Observa-se boa correlação entre os parâmetros (0,93) e a equação utilizada para o cálculo do “k ajustado” é a Equação 6.

$$k \text{ ajustado} = 0,86 * k \text{ calculado}^{0,93} \quad (6)$$

A Tabela 4 apresenta os dados referentes a parte do banco de dados das 35 amostras estudadas no método 3.

Amostra	Litologia	Teor Fe (%)	Rf em 0,075mm	K Calculado	k Ajustado	K Ensaio Padrão	TEMPO DE MAOGEM (min)			Rp em 0,075mm	Desvio Absoluto (Tempo k ajustado - Tempo k Ensaio Padrão)
							3º Ensaio (k Calculado)	3º Ensaio (k ajustado)	3º Ensaio (Ensaio Padrão)		
3	IF	49,40	36,65	0,074	0,077	0,074	26,8	23,9	25,0	5,9	-1,1
7	IF	58,07	50,02	0,057	0,060	0,059	37,8	35,9	34,0	5,9	1,9
8	IF	48,27	55,07	0,057	0,060	0,059	39,0	37,0	37,0	5,9	0,0
20	IC	46,20	58,10	0,041	0,044	0,041	59,5	54,7	55,0	5,5	-0,3
23	IC	36,12	48,64	0,077	0,079	0,081	30,6	29,4	27,5	4,6	1,9
24	IC	38,68	51,14	0,057	0,060	0,061	40,9	37,7	38,0	5,3	-0,3
36	IGO	40,04	49,42	0,063	0,066	0,068	38,4	36,6	35,0	4,4	1,6
37	IGO	59,96	54,13	0,067	0,070	0,068	35,9	34,4	35,0	4,9	-0,6
38	IGO	45,58	43,63	0,065	0,068	0,068	35,9	34,4	34,0	4,2	0,4

Tabela 4 - Banco de dados para o método 3

De acordo com essa metodologia, o valor do “k ajustado” aproximou-se mais do “k ensaio padrão”. Isso aumentou a assertividade de previsão do tempo de remoagem pelo método equacionado, ficando bem próximo do tempo calculado no ensaio padrão.

O Gráfico C da Figura 9 indica boa correlação entre o tempo previsto pela equação e o tempo real (encontrado pelo ensaio padrão). Após a aplicação da Equação 6 e cálculo do tempo de moagem do 3º ensaio pelo “k ajustado”, o percentual de

assertividade de enquadramento na especificação eleva para 88,6%, enquanto que o método padrão apresentou valor de 71,4%, considerando até três ensaios de moagem (Gráfico D, Figura 9).

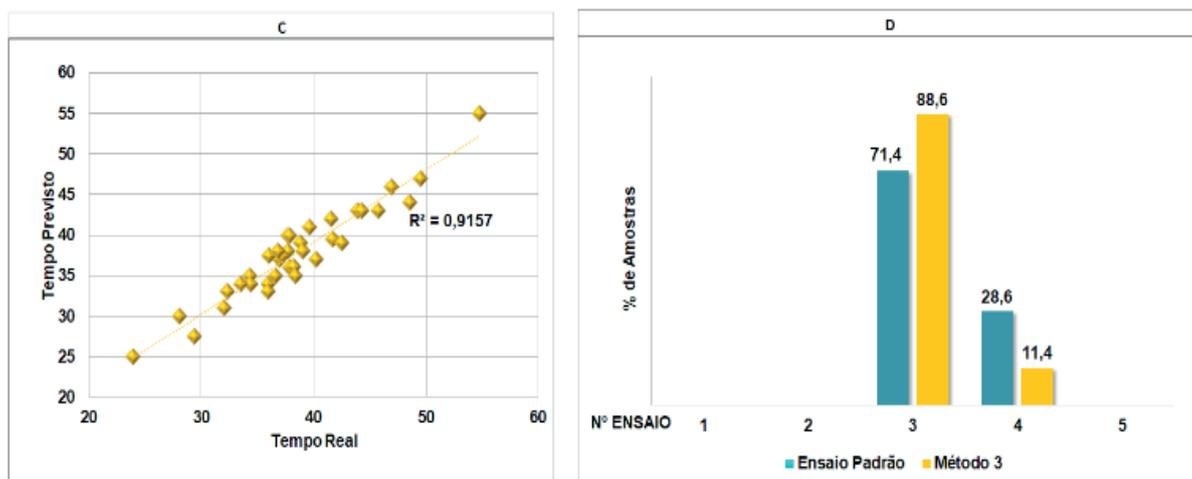


Figura 9 - Comparativo metodologia ensaio padrão x ensaio equação (método 3)

Com isso, para as 35 amostras estudadas neste método, a quantidade de ensaios reduz de 115 para 108 ensaios (6,1% de redução). No entanto, vale ressaltar que apesar da quantidade ter ficado próxima, torna-se viável a aplicação da metodologia 3, uma vez que a definição do tempo de moagem pelo ensaio padrão é subjetiva, tendo como principais variáveis a experiência e a percepção do executante dos ensaios, o que pode dificultar a operação do processo.

5 | CONCLUSÕES

A análise laboratorial do tempo de moagem constitui um fator de extrema importância para o dimensionamento dos processos subsequentes nos empreendimentos de mineração. Este estudo referiu-se ao comparativo do método padrão *versus* a utilização da função seleção para determinação do tempo de remoagem em bancada.

Para o método 1, com dois ensaios de moagem, somente 17,7% das amostras se encaixaram na faixa de especificação, ao aplicar-se a equação. Já no método 2, onde se aplicou três ensaios, apenas 40,0% das amostras apresentaram resultados satisfatórios. Diante disso, para esses dois métodos, tornou-se inviável a aplicação da equação para estimar o tempo da próxima moagem, uma vez que o método padrão apresentou-se mais assertivo. Durante todo o processo, não se observou influência expressiva do tipo litológico no rendimento dos métodos estudados.

A nova proposta de metodologia 3, com o ajuste do k pela Equação 6, mostrou resultados significativos, posto que 88,6% das amostras se enquadram dentro da especificação de 4 a 6% de retido na malha de 0,075 mm. Tal fato comprova a eficácia do ajuste diante do banco de dados apresentados.

Dessa forma, essa nova concepção pode contribuir de forma significativa para a minimização dos erros durante os processos de remoagem, além de diminuir a subjetividade dos métodos, facilitando a operação do técnico e ao mesmo tempo, agregando produtividade.

6 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Pesquisas Tecnológicas da Vale S/A, pela doação do banco de dados das amostras, e à Universidade do Estado de Minas Gerais, pela iniciativa da proposta e motivação ao desafio do estudo.

REFERÊNCIAS

LIMA, L. R. P. A.; NUNES, J. N. Avaliação da cinética de moagem do minério da Jacobina Mineração e Comércio. Revista Holos, vol. 5, p. 393-401, 2014.

HERBST, J. A.; LO, Y. C.; FLINTOFF, B. Size liberation. Principles of mineral processing. SME, p.61-118, 2003.

BERALDO, J. L. Moagem de Minérios em Moinhos Tubulares. São Paulo: Edgar Blücher, 215 p. 1984.

MONTENEGRO, L. C. M. Aplicação de métodos numéricos na simulação da moagem em moinho de bolas utilizando o modelo do balanço populacional. Dissertação de Mestrado. Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997. 125p.

AUSTIN, L.G., CONCHA, F., Diseño y simulación de circuitos de molyenda y clasificación, CYTED. 1993.

DONDA, J. D. Um método para prever o consumo específico de energia na remoagem de concentrados de minérios de ferro em moinhos de bolas. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

GONÇALVES, T. A. R. et al. Aumento de produtividade dos ensaios de moagem em escala de laboratório, utilizando equações matemáticas simples. In: 44º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro & 2º Simpósio de Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2014.

FILHO, D. B. F.; JÚNIOR, J. A. S. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). Revista Política Hoje, vol. 18, n.1, p.115-146. 2009.

SOBRE O ORGANIZADOR

Henrique Ajuz Holzmann: Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alumina-zircônia 154, 156

Aptasensor 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 87, 88, 91, 92, 93

Área específica 108, 115, 116, 117, 142, 143

B

Biogás 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35

Biomateriais 74, 75, 209

C

CdTe/CdSe 161, 162, 163, 164, 165, 168, 169, 170

Compósito 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21

Conversão 108, 110, 112, 115, 116, 118

E

Eletrofiação 73, 74, 75, 77, 79, 80, 81, 83, 119, 122, 123, 124, 125, 126, 131

Eletroquímica 52, 53, 55, 57, 60, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 87, 88, 89, 91, 92, 189

Engenharia tecidual 74

Espaçamento de fibra 1

F

Fase Anatase 133, 135, 136, 140, 141, 142, 143

Fator de Qualidade 146, 147, 151, 152

Fibra de Juta 10, 12, 22

Fibra de vidro 10, 12, 13, 20, 21

Fibras de carbono 36, 37, 38, 40, 49

Fibras de sisal 1, 2, 3, 7, 14

Fibras naturais 1, 2, 10, 11, 12, 13, 21

Filtro 23, 28, 33, 97

Fosfato metálico 133

Fotocatálise 133, 134, 135, 142, 144

G

Gelatina 108, 110, 111

Genossensores 64, 65, 66

H

H₂S 23, 24, 25, 28, 29, 32, 33, 34

Híbrido 10, 13, 21

I

Indutores Internos 146, 151

L

Laminados 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21

LaNiO₃ 119, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 131

M

Meniscos 73, 74, 75, 80, 81, 83

Microdomínios 36, 38, 40, 44, 45, 46, 47, 48, 49

N

Nanocompósito 96, 99, 101, 104, 105

Nanocristais 162

Nanopartículas de Ouro 63, 66, 68

Nanotubo de carbono 51, 87

Neuroesquistossomose 63, 64, 65, 70, 71, 72

Núcleo/casca 162

O

Ocratoxina A 51, 52, 87, 88

Óxido de zinco 51, 52, 54, 87, 89, 90, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 106, 205, 206

P

Pechini 23, 24, 27, 34, 108, 109, 110, 111, 118

Perovskita 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 120

Piche mesofásico 36, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 48, 49

Poli(ácido láctico) 96, 97

Propriedades mecânicas 1, 2, 5, 10, 12, 13, 21, 36, 37, 38, 49, 75, 83, 97, 98, 104, 106, 154, 155, 156, 158, 159, 209

R

Rádio Frequência 146, 147

S

Síntese coloidal 162

Sol-Gel 122, 132, 133, 134, 136, 144

T

Teoria mesoscópica do contínuo 36, 39

U

Umidade 12, 14, 23, 24, 25, 27, 28, 31, 32, 33, 52, 77, 97, 123, 137, 230, 239, 240, 241

