

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Estudos

Sobre

as

Propriedades, Processamento e
Produção de Materiais

Sergio Bitencourt Araújo Barros
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS
2020

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Estudos

Sobre

as

Propriedades, Processamento e
Produção de Materiais

Sergio Bitencourt Araújo Barros
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS
2020

2020 by Editora Artemis
Copyright © Editora Artemis
Copyright do Texto © 2020 Os autores
Copyright da Edição © 2020 Editora Artemis
Edição de Arte: Bruna Bejarano
Diagramação: Helber Pagani de Souza
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, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Editora Chefe:

Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira

Editora Executiva:

Viviane Carvalho Mocellin

Organizador:

Sergio Bitencourt Araújo Barros

Bibliotecário:

Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial:

Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia

Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba

Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados

Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

Prof.^a Dr.^a Emilas Darlene Carmen Lebus, Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof.^a Dr.^a Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco

Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof.^a Dr.^a Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas

Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, University of Miami and Miami Dade College, USA

Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros

Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colômbia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras
Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense
Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Dr. Turpo Gebera Osbaldo Washington, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa
Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia

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

C569 Ciência e tecnologia [recurso eletrônico] : estudos sobre as propriedades, processamento e produção de materiais / Organizador Sergio Bitencourt Araújo Barros. – Curitiba, PR: Artemis, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-87396-18-7

DOI 10.37572/EdArt_187261020

1. Materiais – Ciência e tecnologia. 2. Química verde. 3. Sustentabilidade. I. Barros, Sergio Bitencourt Araújo.

CDD 577.14

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

APRESENTAÇÃO

A coletânea intitulada **“Ciência e Tecnologia: Estudos sobre as Propriedades, Processamento e Produção de Materiais”** contempla resultados de pesquisas na área de química da matéria condensada, envolvendo conceitos de Química Verde, sustentabilidade e tecnologia.

A obra é iniciada com capítulos que versam sobre desenvolvimento de materiais sustentáveis e suas aplicações, como o uso de rejeitos de frutos aplicados como inibidores de corrosão de aço carbono, desenvolvimento de fotocatalisadores eficientes na purificação de sistemas aquosos contaminados por corante, assim como uma minuciosa revisão sobre a ampla gama de microorganismos existentes no meio ambiente capaz de biodegradar uma grande variedade de polímeros. Nos capítulos seguintes são tratadas a otimização de sistemas e materiais que são normalmente usados em impressão 3D de objetos e na fabricação de dispositivos eletrônicos; a preparação de material cerâmico com grande potencial em aplicações odontológicas; o aproveitamento de finos de resíduos de minério de manganês pelo processo de pelotização e, finalmente, a utilização de resíduos de minério de manganês para obtenção de compósitos com matriz metálica de alumínio.

O livro tem como foco apresentar aos leitores diferentes aspectos de pesquisas e aplicações da química da matéria condensada e de suas áreas correlatas no desenvolvimento de materiais e tecnologias que incentivem a sustentabilidade e tecnologias.

As pesquisas que integram a obra são de grande valia para o meio acadêmico, fornecendo subsídios teóricos para futuras investigações científicas, podendo ser usados desde o ensino dos temas abordados, para o desenvolvimento de projetos de trabalhos de conclusão de curso e pesquisas, para a atualização do estado da arte na área de degradação de polímeros, tratamento de efluentes, dentre outros.

Aos autores da obra, quero parabenizar pela qualidade dos artigos e agradecer por disponibilizá-los aos leitores por meio da Editora Artemis. Aos leitores, convido a apreciarem e examinarem a obra **“Ciência e Tecnologia: Estudos sobre as Propriedades, Processamento e Produção de Materiais”**.

Enfim, desejo-lhes uma excelente leitura!

Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

ESTUDO DO SINERGISMO DO PÓ DA CASCA DE CACAU E MAMONA COMO INIBIDORES DE CORROSÃO PARA O AÇO CARBONO EM MEIO ÁCIDO

Lhaira Souza Barreto
Thássia Félix de Almeida
André de Mendonça Santos
Fernando Cotting
Franco Dani Rico Amado
Vera Rosa Capelossi

DOI 10.37572/EdArt_1872610201

CAPÍTULO 213

AUMENTO DA ATIVIDADE FOTOCATALÍTICA INDUZIDA POR FILMES HETEROESTRUTURADOS DE TiO₂/Pt/SnO₂

Elias de Souza Monteiro Filho
Glaucio de Oliveira Testoni
Rafael Aparecido Ciola Amoresi
Glaucio Meireles Mascarenhas Morandi Lustosa
João Paulo de Campos da Costa
Marcelo Vianna Nogueira
Miguel Ruiz
Maria Aparecida Zaghete Bertochi
Elson Longo da Silva
Leinig Antonio Perazolli

DOI 10.37572/EdArt_1872610202

CAPÍTULO 331

MICROORGANISMOS NA BIODEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS EM MEIO AQUOSO

Lhaira Souza Barreto
Erika Emanuele Gomes da Silva
Josiane Dantas Viana Barbosa
Sara Horácio de Oliveira Maciel
Yêda Medeiros Bastos de Almeida Glória
Maria Vinhas

DOI 10.37572/EdArt_1872610203

CAPÍTULO 449

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E TÉRMICA DO PLA PROCESSADO POR MANUFATURA ADITIVA

Felipe Lopes Fonseca da Silva
Nirlei Santos de Lima
Luciana Sgarbi Rossino
Marcos Dorigão Manfrinato

DOI 10.37572/EdArt_1872610204

CAPÍTULO 5	62
ESTUDO DE SUPERFÍCIE E MORFOLÓGICO DE FILMES FINOS BASEADOS NO POLÍMERO SEMICONDUTOR CONJUGADO PBTTT-C14	
José Enrique Eirez Izquierdo	
Marco Roberto Cavallari	
Marcelo Goncalves Honnicke	
Fernando Josepetti Fonseca	
DOI 10.37572/EdArt_1872610205	
CAPÍTULO 6	75
ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES ESTRUTURAIS E MORFOLÓGICAS DE DOIS SISTEMAS CERÂMICOS SINTERIZADOS DE 3Y-TZP	
Fabiola Stahlke Prado	
Cláudio Machado Junior	
Renato Panegaci dos Santos	
Alejandra Hortencia Miranda González	
DOI 10.37572/EdArt_1872610206	
CAPÍTULO 7	84
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MINÉRIO DE MANGANÊS PARA OBTENÇÃO DE PELOTAS	
Milton Teles Neto	
Margarida Márcia Fernandes Lima	
Rhelman Rossano Urzedo Queiroz	
Rosa Malena Fernandes Lima	
DOI 10.37572/EdArt_1872610207	
CAPÍTULO 8	98
SINTERIZAÇÃO AO NATURAL DE COMPÓSITOS COM MATRIZ DE ALUMÍNIO REFORÇADOS COM 5%p, 10%p e 15%p DE RESÍDUOS DE MINÉRIO DE MANGANÊS	
Margarida Márcia Fernandes Lima	
Vítor Martins Incalado	
Rhelman Rossano Urzedo Queiroz	
Rosa Malena Fernandes Lima	
DOI 10.37572/EdArt_1872610208	
SOBRE O ORGANIZADOR	118
ÍNDICE REMISSIVO	119

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MINÉRIO DE MANGANÊS PARA OBTENÇÃO DE PELOTAS

Data de aceite: 15/10/2020

Milton Teles Neto

Universidade Federal de Ouro Preto,
Departamento de Engenharia Mecânica
Ouro Preto – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/5820590229259613>

Margarida Márcia Fernandes Lima

Universidade Federal de Ouro Preto,
Departamento de Engenharia Mecânica
Ouro Preto – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/1795077420118200>

Rhelman Rossano Urzedo Queiroz

Instituto Federal de Minas Gerais, campus Ouro
Preto, Coordenadoria de Metalurgia
Ouro Preto – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/1745642248868023>

Rosa Malena Fernandes Lima

Universidade Federal de Ouro Preto,
Departamento de Engenharia de Minas
Ouro Preto – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/0232995533976144>

RESUMO: Atualmente o processo de pelotização tem sido eleito como a melhor opção de aglomeração de finos de minérios devido à crescente escassez dos minérios ricos nos metais de interesse. Este trabalho

teve como objetivo o estudo da influência de diferentes intervalos de tempo durante a queima em pelotas de resíduo de minério de manganês. As pelotas foram queimadas em quatro condições diferentes: 1155°C durante 10min, 1155°C durante 30min, 1160°C durante 10min e 1160°C durante 30min. Após a queima, os produtos foram caracterizados por MO, MEV/EDS, difração de raios X, densidade geométrica e ensaios de compressão. Nas análises feitas em MEV/EDS detectaram-se fases com predominância de manganês e outras ricas em silício evidenciando a presença de quartzo. Pela difração de raios X foram detectadas as fases: bixbyita, jadeíta, magnesioferrita, bustamita, aegirina, diopsídio e braunita. Para as pelotas verdes a média dos valores de densidade geométrica foi de $(1,41 \pm 0,12) \text{g/cm}^3$, já a média dos valores de densidade geométrica para as pelotas queimadas foi de $(1,26 \pm 0,21) \text{g/cm}^3$. A maior resistência mecânica encontrada durante os ensaios de compressão foi de $(0,43 \pm 0,3) \text{kN}$ para a condição de trabalho de 12% de CaO, queima a 1160°C por 30min. Para todas as condições de trabalho, o intervalo de tempo de 30min foi mais efetivo para o aumento de resistência mecânica.

PALAVRAS-CHAVE: pelletização, caracterização, aproveitamento de resíduos de minérios

USE OF MANGANESE ORE TAILINGS TO OBTAIN PELLETS

ABSTRACT: Currently, the pelletizing has been chosen as the best option for agglomeration of ore fines due to the scarcity of high-grade ores. This work aimed to study the influence of different times and temperatures of burning on the pelletizing of manganese ore tailings. The pellets were burned in four different conditions: 1155°C for 10min, 1155°C for 30min, 1160°C for 10min and 1160°C for 30min. After burning, the products were characterized by OM, SEM/EDS, X-ray diffraction, geometric density and compressive strength tests. In the SEM/EDS analyzes, phases with predominance of manganese and silicon were detected, showing the presence of quartz. The X-ray diffraction detected the phases: bixbyite, jadeite, magnesioferrite, bustamite, aegirin, diopside and braunite. For the green pellets the average of the geometric density values was $(1.41 \pm 0.12) \text{g/cm}^3$, while the average of the geometric density values for the burned pellets was $(1.26 \pm 0.21) \text{g/cm}^3$. The highest mechanical strength was of $(0.4338 \pm 0.3) \text{kN}$ for the working condition with 12%CaO, burning at 1160°C for 30min. For all working conditions, the 30min time was more effective for increasing mechanical strength.

KEYWORDS: pelletizing, characterization, reuse of ore tailings

1. INTRODUÇÃO

A metalurgia do pó é um processo que consiste em homogeneizar, compactar ou modelar uma mistura de pós e aquecê-la abaixo da sua temperatura de fusão visando à coesão das partículas e resistência mecânica do produto. Assim, os processos de aglomeração mais comuns são: pelletização, sinterização e briquetagem (MORO & AURAS, 2007).

Devido a crescente escassez dos minérios ricos nos metais de interesse e geração de resíduos com granulometria cada vez mais fina, a pelletização tem-se apresentado como o processo mais adequado para aproveitamento desses materiais (CARVALHO, 2012).

A pelletização foi desenvolvida devido a uma necessidade de se aproveitar os finos do minério de ferro (com granulometria menor que 0,15mm). Principalmente em países que não detinham grandes reservas desse minério, oriundos da sua lavra e beneficiamento e que eram totalmente descartados devido à impossibilidade de manuseio, se tornando, por assim dizer, resíduos (MEYER, 1980).

O processo de pelletização pode ser definido em três etapas básicas:

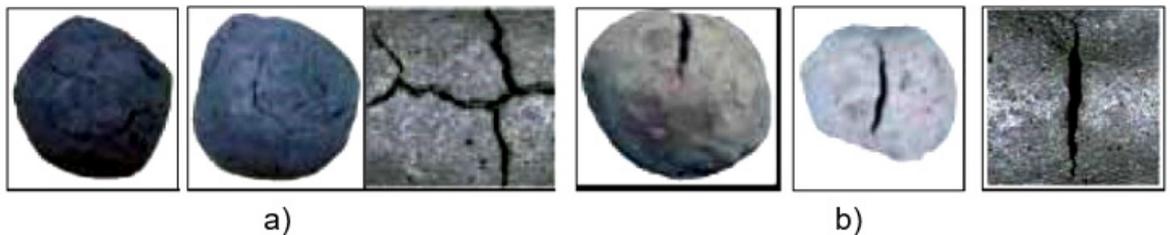
1. Preparação das matérias primas;
2. Formação das pelotas cruas; e
3. Produção da pelota queimada.

A obtenção de êxito na produção das pelotas é dependente do sucesso de cada etapa. Um erro em uma etapa precedente não pode ser corrigido nas etapas seguintes (NUNES, 2004).

As pelotas aproximadamente esféricas, com tamanhos adequados são uma das matérias primas dos altos fornos e suas boas características mecânicas são essenciais para que o transporte para os clientes se torne possível, sem a geração de novos finos (MEYER, 1980).

A ocorrência de trincas durante a etapa de queima tem como principal efeito a queda brusca na resistência mecânica das pelotas queimadas. Fonseca (2004) investigou e definiu a origem de dois tipos de trincas durante a queima das pelotas, que podem ser vistas na Figura 1.

Figura 1: Ocorrência de trincas em pelotas, (a) trincas de origem térmica, (b) trincas de resiliência.



As trincas térmicas são decorrentes dos choques térmicos nas pelotas na etapa de queima. Enquanto as trincas de resiliência estão associadas à perda de resistência mecânica nas pelotas na etapa de queima em função da saturação dos poros da pelota com água (FONSECA, 2004).

Segundo Mourão et al. (2007), as pelotas verdes devem apresentar uma resistência mínima para o manuseio local da ordem de 100 N/pelota. Porém, esse valor é insuficiente para o transporte em grandes distâncias e para a carga de altos-fornos. Após a queima, a resistência à compressão desejada é de cerca de 3000 N/pelota.

As pelotas possuem características peculiares como: alta porosidade, tamanho aproximadamente uniforme, alta resistência mecânica e à abrasão e grande concentração do minério de interesse, todos esses parâmetros são relevantes para a qualificação das pelotas (NUNES, 2004).

Sabe-se que a maior parte da produção de minério de manganês é destinada à fabricação de aço e ferroligas. A presença do manganês nos aços e nas ferroligas em geral tem como objetivos aumentar a resistência mecânica e diminuir a quantidade de sulfeto de ferro, evitando assim a fragilidade a quente pela sua maior afinidade ao enxofre do que o ferro (ALMEIDA, 2010).

A pelletização com o minério de manganês é semelhante à de minério de ferro, com algumas particularidades. Zhu, Yu, Zhou e Pan (2014) afirmam que pelotas de minério de manganês devem ser queimadas em temperaturas superiores as pelotas de minério de ferro para garantir a qualidade do produto final.

Visando ao aproveitamento de finos de minério com baixo teor de manganês, este trabalho propôs obter e caracterizar pelotas a partir de resíduos de minério de manganês com diferentes quantidades de cal, intervalos de tempos e temperaturas de queima. Sendo a principal variável investigada o intervalo de tempo. As pelotas foram caracterizadas por MO, MEV/EDS, difração de raios X, densidade geométrica e resistência à compressão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado com resíduos de minério de manganês proveniente da mina de Morro da mina, em Conselheiro Lafaiete-MG, em sua forma in natura.

2.1 Preparação do minério

O minério de manganês foi moído a seco em um moinho de bolas para uma granulometria abaixo de 0,044mm (325#) durante aproximadamente 12h. Assim, uma amostra desse minério foi obtida com uma massa de 4,5kg.

2.2 Homogeneização e formação de pelotas cruas

As composições das misturas dos pós para obtenção das pelotas cruas constavam de minério de manganês, cal (9% e 12%) e carvão ativado (12%). Para tanto, utilizou-se 1,185kg de minério de manganês, 180g de carvão ativado e 135g de cal, para a quantidade de massa referente a 9% de cal e 1,140kg de minério de manganês, 180g de carvão ativado e 180g de cal, para a quantidade de massa referente a 12% de cal, ambas as amostras receberam 12% de carvão ativado. A homogeneização das misturas foi realizada durante 4h em um misturador do tipo Y com capacidade de 10kg da marca Topsize. Assim, foram obtidas duas amostras com aproximadamente 1,5kg.

Um disco pelletizador da marca Dialmática com capacidade de 1kg foi ajustado em um ângulo de 50° a uma velocidade de 22,5rpm, conforme experimentos realizados por Lima, Lyra, Queiroz e Lima (2018).

As pelotas foram formadas a partir da introdução da mistura no disco pelletizador por meio de uma esteira alimentadora. De maneira progressiva, água foi adicionada à mistura. Para 200g da mistura, utilizou-se cerca de 60g de água para a formação das pelotas. À medida que o disco se movimentava era adicionada a mistura e, logo depois, água para o crescimento das pelotas. Por fim, foram obtidas 250 amostras, sendo 125 com concentração mássica de 9% de cal e 125 com concentração mássica de 12% de cal.

Tomaram-se três medições do diâmetro de cada pelota verde com um paquímetro da marca Mitutoyo, modelo PK-0505CP, de forma que a média representasse melhor o valor do diâmetro de cada pelota, tendo em vista

que elas apresentavam superfícies irregulares e não uma esfera perfeita. Buscou-se obter pelotas de diâmetro entre 15 e 25mm, conforme é indicado por Faria (2008) e Lima et al. (2018). Além dos diâmetros, foi mensurada também a massa de cada amostra utilizando uma balança com precisão de quatro casas decimais da marca Sartorius, modelo MSU324P.

2.3 Queima

O processo de queima foi realizado em três etapas utilizando um forno mufla da marca FORTELAB - Modelo ML 1300/20. A primeira etapa consistiu em elevar a temperatura do forno da temperatura ambiente para 1155°C ou 1160°C, a uma taxa de aquecimento de 5°C/min. A segunda etapa tratava-se de colocar a pelota verde no interior do forno da maneira mais rápida possível. Para tanto, a porta do forno era aberta de maneira breve e as pelotas, dispostas em bandejas de aço inoxidável, eram postas no seu interior. Na última etapa, as amostras permaneciam no interior do forno na temperatura desejada durante 10min ou 30min e, finalmente, deixadas resfriar dentro do forno.

Assim, oito condições de trabalho foram utilizadas:

- 1) 9% de cal, 12% de carvão ativado, 1155°C, 10min;
- 2) 9% de cal, 12% de carvão ativado, 1155°C, 30min;
- 3) 9% de cal, 12% de carvão ativado, 1160°C, 10min;
- 4) 9% de cal, 12% de carvão ativado, 1160°C, 30min;
- 5) 12% de cal, 12% de carvão ativado, 1155°C, 10min;
- 6) 12% de cal, 12% de carvão ativado, 1155°C, 30min;
- 7) 12% de cal, 12% de carvão ativado, 1160°C, 10min;
- 8) 12% de cal, 12% de carvão ativado, 1160°C, 30min.

2.4 Caracterização microestrutural

Inicialmente, as pelotas foram lixadas em lixas de número 180 tomando a forma de uma meia lua. A seguir, fez-se embutimento a frio das pelotas com resina acrílica, da marca Epoxiglass, de cura longa, sob vácuo. Prosseguindo, fez-se lixamento das pelotas em lixas de números: 220, 320, 400, 600, 800, 1000 e 1200. Finalmente, o polimento foi realizado utilizando pasta de diamante com granulometrias de 6µm, 3µm e 1µm. As etapas de lixamento e polimento foram realizadas em uma máquina de lixamento/polimento da marca AROTEC, modelo AROPOL.

Um microscópio óptico metalúrgico da marca Olympus (modelo BX51M) foi utilizado para a observação das microestruturas. Por meio de uma câmera interligada ao microscópio e utilizando o software Analysis da Olympus foram obtidas imagens das amostras. Por último, um microscópio eletrônico de varredura da marca JEOL, modelo JXA-8900RL, com EDS foi utilizado para auxiliar na caracterização das amostras.

Um difratômetro de raios X da marca PANalytical, modelo X'Pert³ Powder, com tubo de cobre e filtro de níquel foi utilizado para caracterização das fases presentes nas amostras queimadas. O software utilizado para a coleta de dados foi o Data Colector e para o tratamento dos dados o software High Score Plus.

2.5 Ensaios de compressão

As pelotas foram submetidas a ensaios de compressão utilizando uma máquina universal de ensaios de fabricação da Time Group, modelo WDW-100. Para cada condição de trabalho foram ensaiadas aproximadamente 30 pelotas. Utilizando o software WinWdw Eletronic Universal Testing Machine Measure & Control System foram obtidas planilhas com os dados dos ensaios e as curvas de carga em função da variação de altura das pelotas.

2.6 Densidade geométrica

A partir dos dados dos diâmetros e massas das pelotas foram realizados cálculos das densidades geométricas de todas as pelotas, verdes e queimadas, conforme a Equação (1).

$$\text{Densidade Geométrica} = \frac{m}{\frac{4\pi r^3}{3}} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

A partir das médias dos valores encontrados e seus respectivos desvios padrões, gráficos foram gerados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Queima

O intuito deste trabalho foi simular em parte um processo industrial de queima de pelotas em que as mesmas passassem continuamente por uma zona de aquecimento, queima e resfriamento. No entanto, devido à logística de utilização do forno tipo mufla em laboratório, as amostras foram deixadas resfriar dentro do forno.

O aspecto das amostras após a queima pode ser visto na Figura 2. Algumas trincas superficiais de origem térmica, semelhantes as da Figura 1, são observadas.

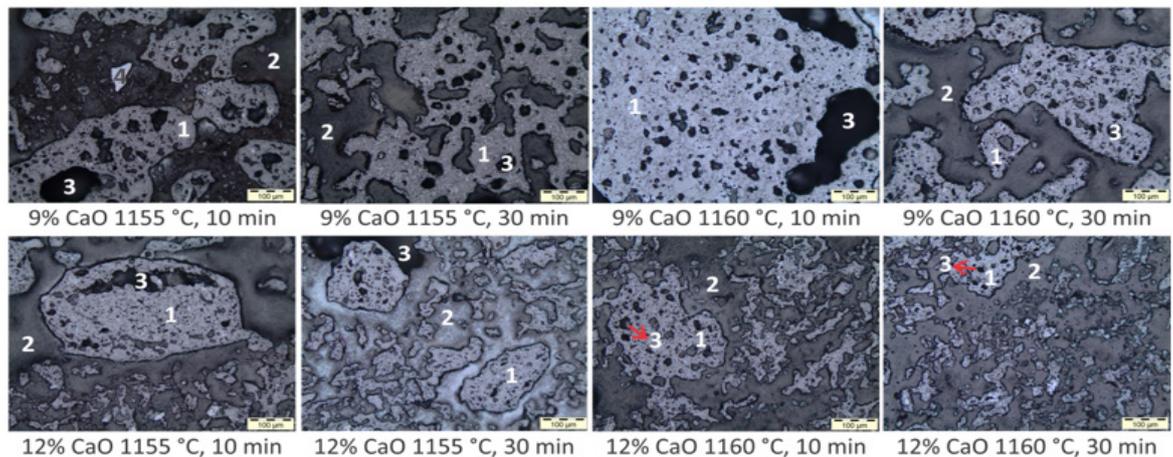
Figura 2: Pelotas com 12% de cal queimadas a 1160°C por 30min.



3.2 Microscopia óptica

Na Figura 3 estão apresentadas as microestruturas das amostras obtidas em microscópio óptico para cada condição de trabalho estudada. Elas são típicas de pelotas queimadas, com muita porosidade. Nestas micrografias estão indicadas por números algumas fases das amostras que se apresentaram acinzentadas, claras e brilhantes. As regiões mais escuras são poros e algumas regiões cinza de preenchimento correspondem à resina que se adentrou nas amostras.

Figura 3: Micrografias das amostras observadas em microscopia óptica, (1) resíduo de minério de manganês, (2) resina que adentrou a amostra, (3) poros e (4) fase contendo zircônio (PEREIRA, LIMA & LIMA, 2014).



3.3 Microscopia eletrônica de varredura com análises EDS

As microestruturas obtidas por MEV estão apresentadas nas Figuras 4 e 5, e os resultados das análises químicas, com EDS, das microrregiões estão exibidos nas Tabelas 1 e 2. A partir das análises químicas de microrregiões EDS optou-se por apresentar os elementos químicos na forma de óxidos. Em todas as imagens existem identificadores para cada fase:

- 1) Fase rica em manganês;
- 2) Resina que adentrou a amostra;
- 3) Poros e;
- 4) Quartzo.

A partir das Figuras 4 e 5 é possível observar fases claras, ricas em manganês, como é elucidado nas Tabelas 1 e 2. A presença de óxido de magnésio se deve ao fato de esse elemento ter um número atômico muito próximo ao do manganês e, por consequência é facilmente encontrado manganês junto com magnésio na natureza.

Figura 4: Microestrutura da amostra da condição de trabalho, 12% de cal, 12% de carvão ativado – 1155°C, 10min observada em MEV/EDS, (1) fase rica em manganês, (2) resina que adentrou a amostra e (3) poros.

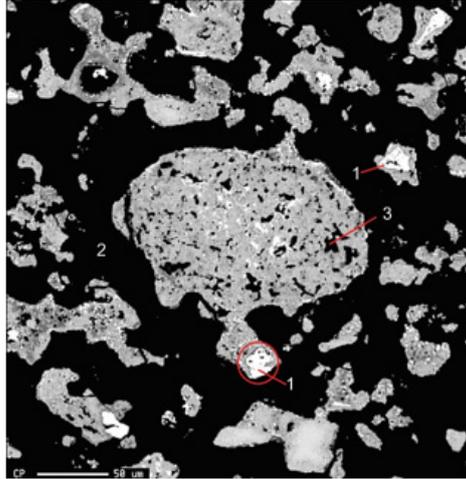


Tabela 1: Análise química de microrregião EDS da fase rica em manganês para a condição de trabalho: 12% de cal – 1155°C, 10min. Ponto 1 da Figura 3. Porcentagem em peso.

Óxidos previstos										
Na ₂ O	MnO	ZrO ₂	MgO	FeO	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SnO ₂	SiO ₂	CaO	TiO ₂
0,040	59,266	0,000	4,828	26,266	0,010	0,418	0,012	0,531	1,057	0,235

3.4 Difração de raios X

Os difratogramas gerados nos ensaios de difração de raios X das amostras queimadas estão apresentados na Figura 6. Devido ao fato de o minério de manganês utilizado nos experimentos ser sílico-carbonatado foi notada a presença de fases minerais contendo silício, manganês ou magnésio, tais como, magnesioferrita, jadeíta, diopsídio, bustamita, dentre outras.

Figura 5: Microestrutura da amostra da condição de trabalho, 12% de cal – 1160°C, 10min observada em MEV/EDS, (1) fase rica em manganês, (2) resina que adentrou a amostra e (3) poros.

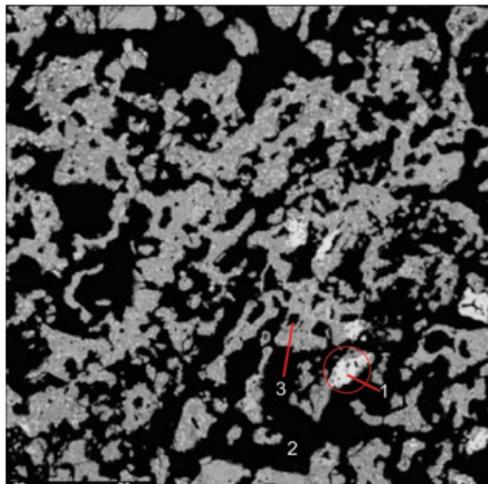


Tabela 2: Análise química de microrregião EDS da fase rica em manganês para a condição de trabalho: 12% de cal – 1160°C, 10min. Ponto 1 da Figura 4. Porcentagem em peso.

Óxidos previstos										
Na ₂ O	MnO	ZrO ₂	MgO	FeO	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SnO ₂	SiO ₂	CaO	TiO ₂
0,021	64,891	0,000	4,347	21,208	0,000	0,142	0,000	0,120	0,501	0,290

3.5 Densidade geométrica

Para as pelotas verdes, que posteriormente foram queimadas nas condições de trabalho especificadas na Figura 7, a média dos valores de densidade geométrica girou em torno de 1,40g/cm³ e não houve variações independentemente da porcentagem de cal. Esse valor é semelhante ao encontrado por Lima et al. (2018), isso demonstra que as pelotas tiveram um padrão de produção, com massas e volumes semelhantes. Para cada condição de trabalho houve um baixo desvio padrão, salientando a padronização de produção das amostras.

Figura 6: Difratogramas das amostras queimadas.

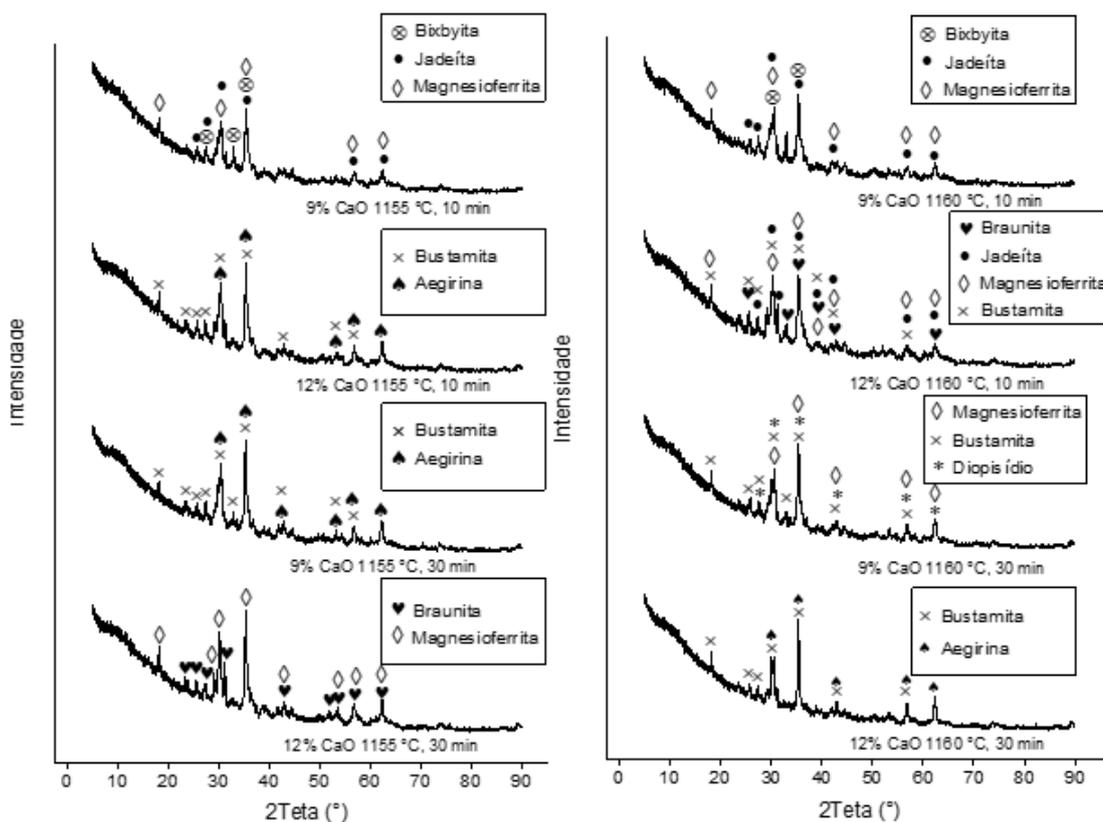
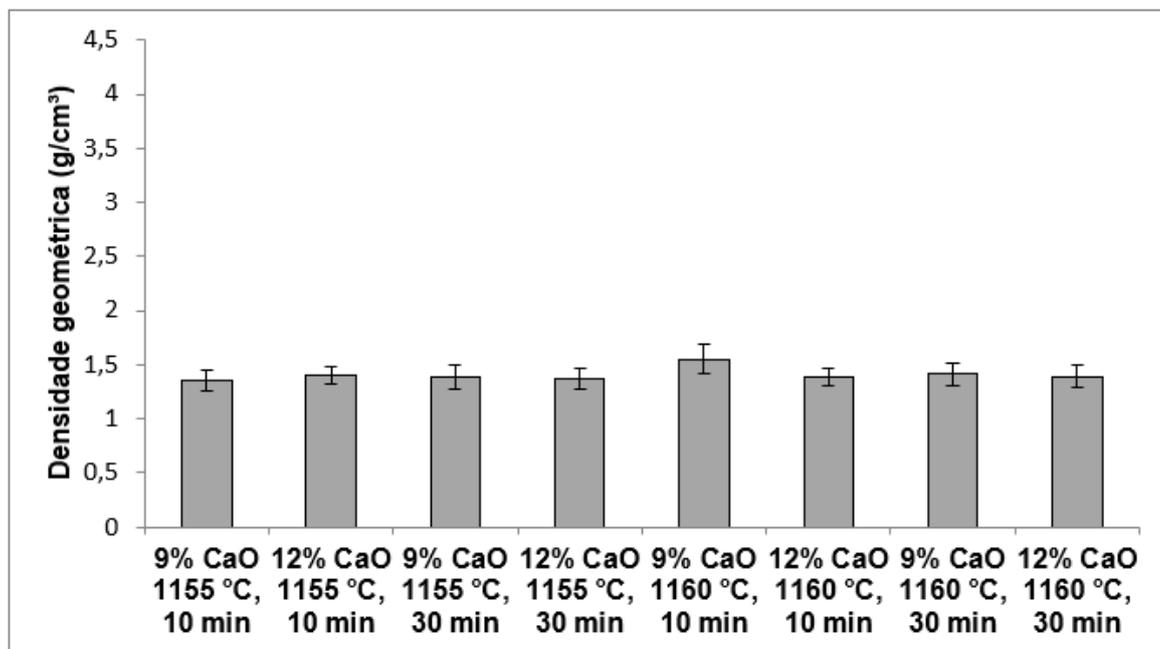
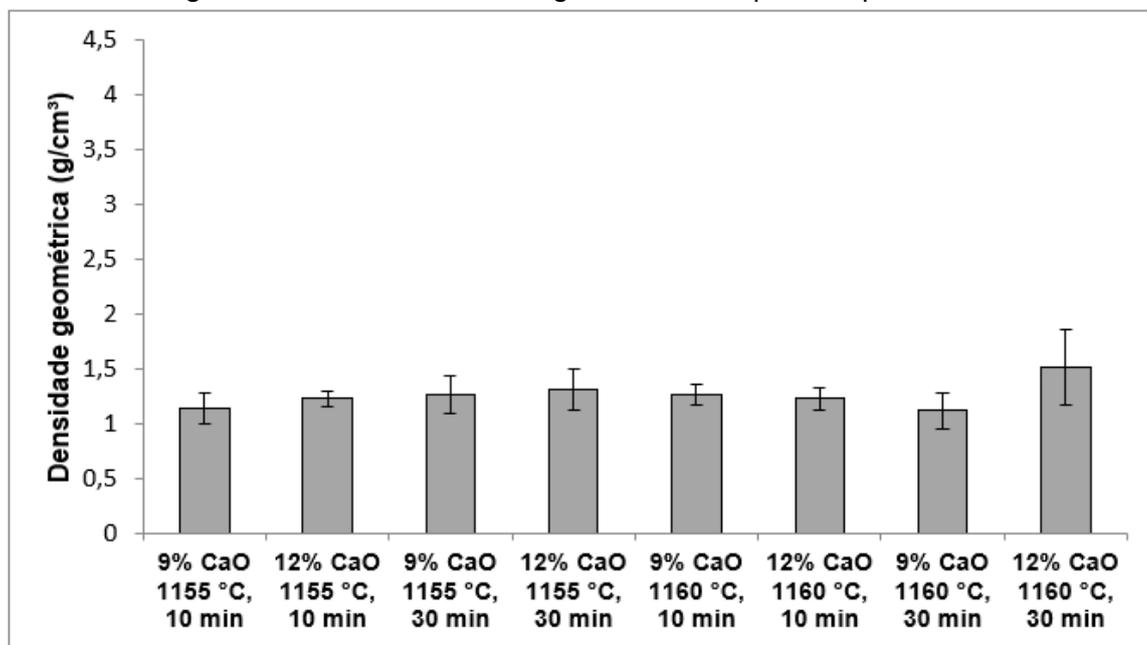


Figura 7: Valores de densidade geométrica das pelotas verdes.



Os valores de densidade geométrica das pelotas queimadas são apresentados na Figura 8. Estes valores são inferiores aos das pelotas verdes devido ao processo de queima. Nesta etapa ocorre a evaporação de umidade presente nas amostras, ocasionando uma diminuição na massa das pelotas. A média dos valores de densidade geométrica se deu em torno de 1,26g/cm³.

Figura 8: Valores de densidade geométrica das pelotas queimadas.



3.6 Ensaios de compressão

Nas Figuras 9 a 10 estão apresentadas partes fraturadas das pelotas e o gráfico característico, respectivamente, relativo à resistência à compressão para a condição de trabalho de 9% de CaO, 12% de carvão ativado, 1160°C, 10min.

O último ponto antes da queda brusca da curva foi considerado o ponto de carga máxima da amostra. Após esse ponto toda a continuidade do gráfico foi tida como esboroamento da pelota. A falta de homogeneidade e a não criação do núcleo no interior da pelota fizeram que a resistência mecânica fosse menor.

Os resultados dos ensaios de compressão estão apresentados na Figura 11. Este gráfico leva em consideração a média da carga máxima suportada pelas pelotas durante os ensaios de compressão. Pode-se constatar que a maior resistência à compressão foi de $(0,43 \pm 0,30)$ kN observada na condição de trabalho: 12% de cal, 12% de carvão ativado, 1160°C, 30min.

Figura 9: Partes fraturadas de pelotas com 9% de CaO, 12% de carvão ativado, 1160°C, 10min.



Figura 10: Curva da carga versus variação de altura para a condição de trabalho de 9% de cal, 12% de carvão ativado, 1160°C, 10min. Ensaio de compressão.

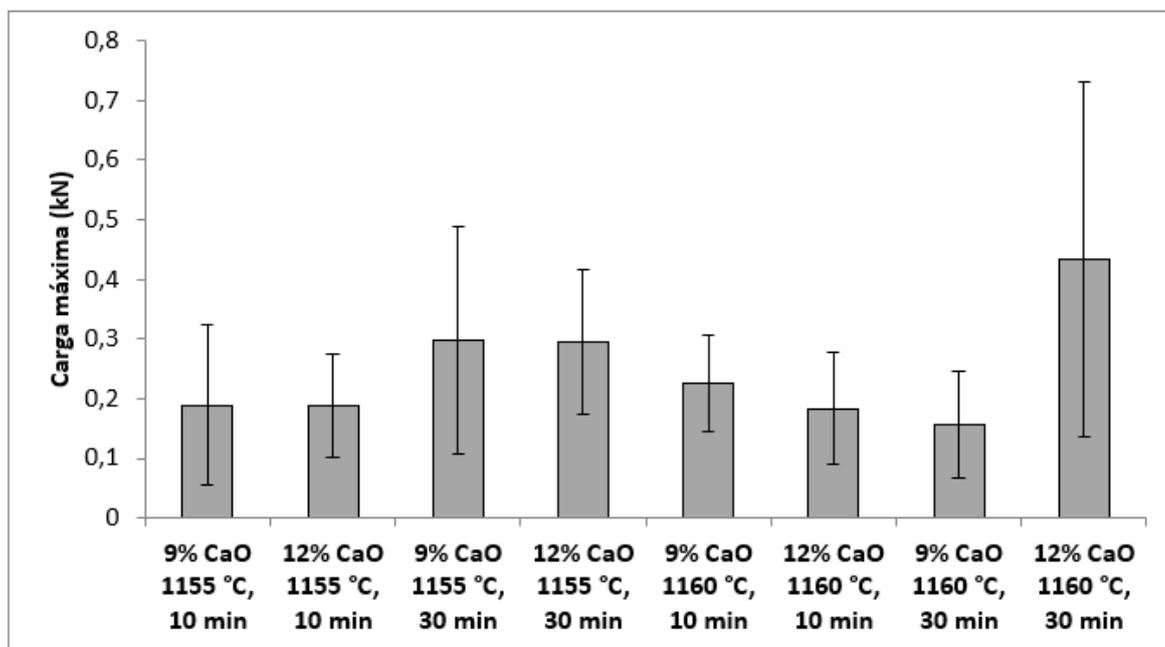


Com exceção da condição de 9% de cal, 1160°C por 30min, todas as outras amostras apresentaram valores de resistência mecânica superiores, se comparadas às pelotas queimadas durante 10min. Em geral as pelotas queimadas durante 30min apresentaram uma resistência mecânica 1,5 vezes maior que o outro intervalo de tempo.

Finalmente, pode-se dizer que ao se tentar simular uma condição de trabalho mais rápida e econômica, os valores de resistência mecânica atingidos pelas

amostras foram bem inferiores àqueles obtidos por Lima et al. (2018). Deve-se ressaltar que a cal utilizada neste trabalho tinha composição química diferente daquela utilizada por Lima et al. (2018). No entanto, de forma mais expressiva, as condições de trabalho mais severas, tentando simular um processo industrial, propiciaram a menor resistência mecânica das pelotas.

Figura 11: Carga máxima obtida nos ensaios de compressão das pelotas queimadas para cada condição de trabalho.



Conforme Mourão et al. (2007), apenas pelotas com carga de ruptura superior a 3kN apresentariam características interessantes para utilização. Logo as pelotas estudadas não apresentaram o perfil aproveitável, sendo necessário rever as condições de trabalho para conferir maior resistência mecânica.

4. CONCLUSÕES

Para as condições de trabalho realizadas, conclui-se que:

Todas as amostras, independentemente da condição de trabalho, apresentaram porosidade elevada, típica de pelotas queimadas. Foram observadas nas microestruturas das amostras fases ricas em manganês caracterizadas por uma coloração branca.

Devido ao fato de o minério de manganês utilizado nos experimentos ser sílico-carbonatado foi notada a presença de fases minerais contendo manganês, silício, magnésio, além de outros elementos. Nos ensaios de difração de raios X foram detectadas as fases: bixbyita, jadeíta, magnesioferrita, bustamita, aegirina, diopsídio e braunita. A presença de fases com magnésio se deve a proximidade do número atômico deste com o manganês.

A média dos valores de densidade geométrica das pelotas verdes foi superior a das queimadas. Para as pelotas verdes a média foi de $(1,40 \pm 0,12) \text{g/cm}^3$ e para as amostras queimadas foi de $(1,26 \pm 0,21) \text{g/cm}^3$.

A maior resistência mecânica encontrada durante os ensaios de compressão foi de $(0,43 \pm 0,30) \text{kN}$ para a condição de trabalho de 12% de cal, queimada a 1160°C por 30min.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pelo fornecimento de todos os equipamentos utilizados neste trabalho e à UFOP e ao CNPq pela bolsa concedida na modalidade PIBIC/CNPq-2017-18.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. B. **Caracterização químico-mineralógica de minérios de manganês**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- CARVALHO, B. C. L. **Aproveitamento de minérios de ferro de baixo teor: tendências, tecnologias utilizadas e influências no sequenciamento de lavra**. 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- FARIA, G. L. **Estudo geometalúrgico de granulado e pelota de minério de manganês**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- FONSECA, M. C. **Influência da distribuição granulométrica do pellet feed no processo de aglomeração e na qualidade da pelota de minério de ferro para redução direta**. 2004. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- LIMA, M. M. F., LYRA, T. R., QUEIROZ, R. R. U., LIMA, R. M. F. (2018). **Study of the Relationship between the Process Parameters and the Properties of the Manganese Ore Pellets**. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECiMat), Foz do Iguaçu, Brasil.
- MEYER, K. (1980). **Pelletizing of Iron Ores**. Düsseldorf, Alemanha: Springer-Verlag.
- MORO, M. & AURAS, A. P. **Processos de Fabricação: Metalurgia do pó e o futuro da indústria**. (2007) Disponível em: <http://norbertocefetsc.pro.br/downloads/metalurgiadopo.pdf>. Acesso em: 30 Jun. 2020.
- MOURÃO, M. B., YOKOJI, A., MALYNOWSKYJ, A., TAKANO, C. A. S. L. C., QUITES, E. E. C., GENTILE, E. F., BOLOTA, G. F. B. L. S. J. R., GONÇALVES, M., FACO, R. J. (1980). **Introdução à Siderurgia**. São Paulo, SP: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.
- NUNES, J. E. F. **Controle de um Processo de Pelotização: Realimentação por Imagem**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- PEREIRA, M. J., LIMA, M. M. F., LIMA, R. M. F. (2014) **Calcination and characterization studies of a Brazilian manganese ore tailing**. International Journal of mineral Processing (Print), 131, 26-30.

ZHU, D. Q., YU, W., ZHOU, X., PAN, J. (2014) **Strengthening pelletization of manganese ore fines containing high combined water by high pressure roll grinding and optimized temperature elevation system.** Journal of Central South University, 21, 3485-3491. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11771-014-2326-4>.

SOBRE O ORGANIZADOR

SERGIO BITENCOURT ARAÚJO BARROS - Doutor em Química pela Universidade Estadual de Campinas. Mestre e Licenciado em Química pela Universidade Federal do Piauí. Foi professor do quadro efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, no período de 2009 a 2011, onde atuou no ensino técnico e superior. Atualmente é professor Adjunto da Universidade Federal do Piauí, Campus Senador Helvídio Nunes de Barros. Possui experiência em ensino e pesquisa na área de Química e Ciências, com ênfase em Físico Química Inorgânica, atuando principalmente nos seguintes temas: Ensino de Química e Ciências, Síntese de polímeros e preparação de nanofilmes, Polímeros naturais, Síntese de nanopartículas e metalofalocianinas, Método Sol-Gel para elaboração/preparação de materiais carbono cerâmicos e compósitos cerâmicos microporosos, Síntese e Caracterização de novos materiais e Desenvolvimento de sensores eletroquímicos. <http://lattes.cnpq.br/4639320486261004>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aço carbono 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10

Análise Fractográfica 54

Aproveitamento de resíduos de minérios 84, 85, 99

Azul de metileno 13, 14, 17, 19, 27

B

Barreira de Schottky 24

Biodegradação 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47

C

Caracterização 1, 6, 37, 43, 53, 59, 75, 80, 83, 85, 88, 89

Caracterização mecânica 49, 53, 54

Caracterização térmica 54, 59

Casca da mamona 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10

Casca do cacau 4, 5, 6, 7, 8, 10

Cerâmicas 76, 77, 79, 80, 81, 82

Compósitos de matriz metálica de alumínio 99

Curvas de polarização 4, 9

D

Degradação enzimática 34, 36, 39, 40

E

Elétron-buraco 25

Eletrônica orgânica 62, 63, 65

F

Filme fino 66, 67, 71

G

Gestão de resíduos 32

I

Impedância 1, 4, 6, 7, 8, 10

Impressão 3D 50, 61

Inibidores de corrosão 1, 2, 3, 6, 10

M

Método dos precursores poliméricos 75, 77, 82

Modelagem por Fusão e Deposição 49, 50

O

Odontológico 78

P

Pelotização 84, 85, 86, 96

Poli (Ácido Láctico) 49, 51, 52, 53, 61

Polímeros biodegradáveis 37, 43, 45

Polímeros semicondutores 62, 64

Poly(2,5-bis(3-tetradecyl-thiophen-2-yl)thieno[3,2-b]thiophene) (PBTTT-C14) 62

Propriedades mecânicas 2, 32, 33, 39, 40, 41, 49, 56, 58, 77, 82

S

Semicondutor 15, 16, 24, 62, 64, 66, 69, 71, 72

Sinterização 21, 23, 50, 75, 77, 79, 81, 82, 83, 85, 98, 99, 100, 101, 105, 106, 107, 113, 114, 115, 116

T

Transistores 62, 65



**EDITORIA
ARTEMIS
2020**