

# 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<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E93	<p>Evolução na ciência e engenharia de materiais [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.</p> <p>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</p> <p>1. Engenharia de materiais – Pesquisa – Brasil. I. Holzmann, Henrique Ajuz.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620.11</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
CARACTERIZAÇÃO DE NANOFILTRO REDUTOR DE SULFETO DE HIDROGÊNIO E UMIDADE DO BIOGÁS	
Mateus Sousa Pinheiro Gabrielle Dias Coelho Maria del Pilar Hidalgo Falla	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
DESCRIÇÃO TERMODINÂMICA DE MICRODOMÍNIOS DENTRO DE PICHE MESOFÁSICO PRECURSOR PARA FIBRAS DE CARBONO	
Caio Cesar Ferreira Florindo Adalberto Bono Maurizio Sacchi Bassi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016015</b>	

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>63</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016016</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>73</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016017</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>87</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016018</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>96</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016019</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>108</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.21920160110</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>119</b>
CERÂMICAS AVANÇADAS: PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURAS DE ÓXIDOS TERRA RARA-NÍQUEL	
Bruna Niccoli Ramirez	
Márcia Tsuyama Escote	
<b>DOI 10.22533/at.ed.21920160111</b>	



**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**

## AVALIAÇÃO DE TERMOFOSFATOS DE ALUMÍNIO COM A ADIÇÃO DE ESCÓRIA SIDERÚRGICA

Data de submissão: 18/11/2019

Data de aceite: 08/01/2020

### **Maria Sílvia Camarão de Sousa**

Instituto Federal do Pará

Belém – Pará

<http://lattes.cnpq.br/4542138981408894>

### **Oscar Jesus Choque Fernandez**

Instituto Federal do Pará

Belém – Pará

<http://lattes.cnpq.br/5573769619153861>

### **Edilson Carvalho Brasil**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Belém – Pará

<http://lattes.cnpq.br/7685368579189934>

### **Marcondes Lima da Costa**

Universidade Federal do Pará

Belém – Pará

<http://lattes.cnpq.br/1639498384851302>

### **Érika Raiol Pinheiro**

Instituto Federal do Pará

Belém – Pará

<http://lattes.cnpq.br/7339630553030759>

### **Marlo Oliveira Costa**

Instituto Federal do Pará

Belém – Pará

<http://lattes.cnpq.br/8117679302609942>

fertilizantes que utilizam processos de calcinação para favorecer a solubilidade do fósforo contido em minérios fosfáticos, visto que, o fósforo dos minérios fosfáticos *in natura* não está disponível aos vegetais necessitando de transformação química para poder ser usado como fertilizante. Escórias são produzidas em grande volume pela indústria e são amplamente disponíveis, porém pouco usadas. O uso de termofosfato obtido a partir da mistura de rocha fosfatada de alumínio e escória siderúrgica, pode representar uma importante alternativa para o aproveitamento desses resíduos e ser alternativo aos fertilizantes fosfatados tradicionais. Neste estudo foram caracterizados por difração de raios-X, amostras de fosfato de alumínio laterítico do depósito mineral de Sapucaia (Bonito-PA) e produtos termofosfatos com adição de escória de alto-forno da usina de ferro-gusa de Marabá-PA calcinados em 700 e 1100 °C a fim de verificar o comportamento das fases minerais nessas temperaturas e assim, identificar a melhor temperatura de calcinação para utilização do fosfato de alumínio com a adição de escória como fertilizante. O fosfato de alumínio está constituído por quartzo (SiO<sub>2</sub>), fases crandallita (CaAl<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>.H<sub>2</sub>O) e woodhouseita (CaAl<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)(SO<sub>4</sub>)(OH)<sub>6</sub>) e a escória é amorfa. O termofosfato produzido a 700 °C, apresentou compostos amorfos, exceto quartzo. Em 1100 °C novas estruturas cristalinas

**RESUMO:** Termofosfatos são produtos

de fosfatos de alumínio, fosfatos de alumínio e cálcio, fosfatos de alumínio ferro e cálcio e quartzo foram identificados. O termofosfato obtido a 700 °C, pelo seu caráter amorfo sugere ser altamente reativo o que pode favorecer seu uso na agricultura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Termofosfato, escória, calcinação, fertilizante, agricultura.

## EVALUATION OF ALUMINUM THERMOSPHATES WITH THE ADDITION OF STEEL SLAG

**ABSTRACT:** Thermophosphates are fertilizers that use calcination processes to favor the solubility of phosphorus contained in phosphate ores, since the phosphorus of phosphate ores *in natura* is not available to the plants in need of chemical transformation to be used as fertilizer. Slags are produced in large volume by industry and are widely available, but little used. The use of thermophosphate obtained from the mixture of aluminum phosphate rock and steel slag may represent an important alternative for the use of these residues and be an alternative to traditional phosphate fertilizers. In this study, lateritic aluminum phosphate samples from the Sapucaia mineral deposit (Bonito-PA) and thermophosphates with blast-furnace slag plant in Marabá-PA calcined at 700 and 1100 °C were characterized by XRD in order to verify the behavior of the mineral phases in temperatures and thus to identify the best calcination temperature for the use of aluminum phosphate with the addition of slag as fertilizer. The aluminum phosphate consists of quartz (SiO<sub>2</sub>), crandallite phases (CaAl<sub>3</sub> (PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (OH)<sub>5</sub> H<sub>2</sub>O) and woodhouseite (CaAl<sub>3</sub> (PO<sub>4</sub>) (SO<sub>4</sub>) (OH)<sub>6</sub>) and the slag is amorphous. The thermophosphate produced at 700 °C showed amorphous compounds, except quartz. At 1100 °C new crystalline structures of aluminum phosphates, aluminum and calcium phosphates, iron and calcium aluminum phosphates and quartz were identified. The thermophosphate obtained at 700 °C, by its amorphous character suggests to be highly reactive which can favor its use in agriculture.

**KEYWORDS:** Thermophosphate, slag, calcination, fertilizer, agriculture.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os termofosfatos são os produtos fertilizantes que utilizam processos de tratamento térmico para favorecer a solubilidade do fósforo contido nos fosfatos de alumínio, colocando-o em uma forma mais disponível para os vegetais (CARVALHO et al., 2003). O fósforo do fosfato de alumínio *in natura* não é disponível aos vegetais devendo sofrer alguma transformação química para poder ser usado como fertilizante (BRASIL et al., 2014).

O tratamento térmico utilizado na produção de termofosfato é a calcinação, onde a substância quando submetida à ação do calor, mas sem fusão, tem o propósito de causar alguma mudança na sua constituição física ou química (LEONEL, 2011).

A indústria siderúrgica brasileira produz ferro-gusa e aço e, como resíduo do processo, a escória, com propriedades corretivas da acidez do solo e fonte de alguns nutrientes (PRADO; FERNANDES; NATALE, 2003). Essas escórias apresentam,

geralmente, teores elevados de micronutrientes; entretanto, apesar do grande volume gerado pela indústria e de estarem disponíveis, são pouco comercializadas em nosso mercado (PRADO et al., 2002).

A escória resulta da fusão do material inerte do minério (ganga), dos fundentes e das cinzas do coque que, chegando às zonas mais quentes do forno (região das ventaneiras) sem ser reduzidos, reagem entre si e formam, principalmente: silicatos ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ) e aluminatos ( $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , etc.) (SILVA, 2011).

O uso de termofosfato obtido a partir da mistura de rocha fosfatada de alumínio, originária do nordeste paraense e escória de siderurgia, pode representar uma importante alternativa para o aproveitamento de matérias-primas local, em regiões do Brasil com pouco acesso aos fertilizantes fosfatados tradicionais (BRASIL et al., 2017).

Este trabalho consistiu na caracterização por difração de raios-X (DRX) de termofosfatos produzidos a partir de amostras de fosfatos de alumínio laterítico do depósito mineral de Sapucaia (Bonito-PA), com e sem a inclusão de escórias de alto-forno de uma usina de ferro-gusa de Marabá-PA, através do tratamento de calcinação nas temperaturas de 700 e 1100 °C, com o objetivo de verificar o comportamento das fases minerais nas respectivas temperaturas de calcinação e assim, identificar a melhor temperatura de calcinação para sua utilização como fertilizante. Os fosfatos de alumínio e as escórias utilizadas foram fornecidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. A proporção da mistura de 80% de fosfato para 20% de escória, teve por base o experimento feito por Brasil et al. (2017), que avaliou a eficiência agrônômica de termofosfatos de alumínio como fonte de P.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio consistiu em secar e calcinar as amostras de fosfato de alumínio com e sem a inclusão de escória. O material foi dividido em 6 amostras (Figura 1), sendo: 45 g somente de fosfato de alumínio — divididos em 3 amostras; e, 45 g do fosfato de alumínio com adição escória na proporção de 80% de fosfato de alumínio para 20% de escória, também dividido em 3 amostras. A Tabela 1 apresenta as quantidades utilizadas por amostras.



Figura 1. Amostras de fosfato de alumínio e de fosfato de alumínio com adição de escória

Fosfato de Alumínio		Fosfato de Alumínio + Escória	
Amostra	Peso (g)	Amostra	Peso (g)
A1	17,15	A1	15,85
A2	14,15	A2	15,20
A3	13,70	A3	13,95
<b>Total (g)</b>	<b>45,00</b>	<b>Total (g)</b>	<b>45,00</b>

Tabela 1. Quantidade de materiais utilizados por amostra.

As amostras foram levadas a uma estufa para secagem na temperatura de 110 °C por 1 hora, com o objetivo de observar a quantidade de umidade do material. Em seguida, foram levadas ao forno mufla para a calcinação, por 1 hora: primeiro a 700 °C e depois a 1100 °C. Após cada calcinação as amostras foram pesadas para observar a eliminação da água contida na estrutura atômica do material.

Na sequência, foram realizadas análises por DRX, tanto do material *in natura* quanto do calcinado (Figura 2). Os difratômetros utilizados foram o Phillips PW 3710 e o PANalytical X'PERT PRO MPD (PW 3040/60) com tubo de raios X cerâmico e ânodo de Cu (Figura 3). Os arquivos digitais gerados foram interpretados através dos softwares X'PERT PRO MPD da PANalytical e a base de dados de minerais PDF (*Powder Diffraction Data*) do *International Centre for Diffraction Data* (ICDD).

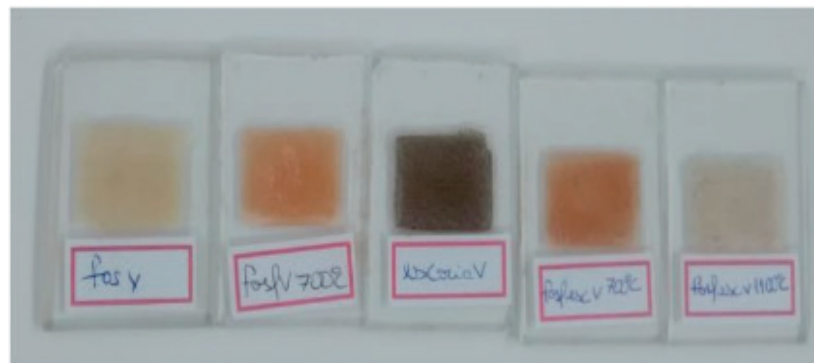


Figura 2. Lâminas de vidro com as amostras.



Figura 3. Difratorômetro PANalytical X'PERT PRO MPD (PW 3040/60)

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a secagem, as amostras de fosfato de alumínio e da mistura do fosfato de alumínio com escória, apresentaram coloração amarelo-escuro. A perda de massa total nas amostras de fosfato de alumínio foi de 0,66 g e nas amostras de fosfato de alumínio com escória de 0,42 g. Na Tabela 2 estão os pesos por amostra, antes e depois da secagem.

Fosfato de Alumínio				Fosfato de Alumínio + Escória			
Amostra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Perda de massa (g)	Amostra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Perda de massa (g)
A1	17,15	16,84	0,31	A1	15,85	15,71	0,14
A2	14,15	13,97	0,18	A2	15,20	15,06	0,14
A3	13,70	13,53	0,17	A3	13,95	13,81	0,14
<b>Total (g)</b>	<b>45,00</b>	<b>44,34</b>	<b>0,66</b>	<b>Total (g)</b>	<b>45,00</b>	<b>44,58</b>	<b>0,42</b>

Tabela 2. Dados da perda de massa na secagem

Em relação à calcinação, as amostras de fosfato de alumínio e da mistura do fosfato de alumínio com adição de escória, apresentaram coloração vermelho escuro e a perda de massa consta da Tabela 3, onde, a perda total nas amostras de fosfato de alumínio foi de 6,59 g e nas amostras de fosfato de alumínio com escória de 5,26 g.



Fosfato de Alumínio				Fosfato de Alumínio + Escória			
Amostra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Perda de massa (g)	Amostra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Perda de massa (g)
A1	16,84	14,37	2,47	A1	15,71	13,8	1,91
A2	13,97	11,87	2,1	A2	15,06	13,21	1,85
A3	13,53	11,51	2,02	A3	13,81	12,31	1,5
<b>Total (g)</b>	<b>44,34</b>	<b>37,75</b>	<b>6,59</b>	<b>Total (g)</b>	<b>44,58</b>	<b>39,32</b>	<b>5,26</b>

Tabela 3. Dados da perda de massa na calcinação

Em termos percentuais, as perdas de massa significaram: na secagem 1,5 % no fosfato de alumínio e 0,9 % no fosfato de alumínio com escória; e, na calcinação: 14,6% no fosfato de alumínio e 11,7% no fosfato de alumínio com escória.

Com as amostras ainda *in natura*, foram feitas as caracterizações por DRX das mesmas, com o objetivo de identificar as fases minerais presentes, antes da calcinação. Nos resultados das análises difratométricas, as fases identificadas no fosfato de alumínio foram o quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), crandallita ( $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) e alguns traços de woodhouseita ( $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$ ) (Figura 4); e na escória verificou-se que sua composição é basicamente amorfa, como mostra o difratograma da Figura 5.

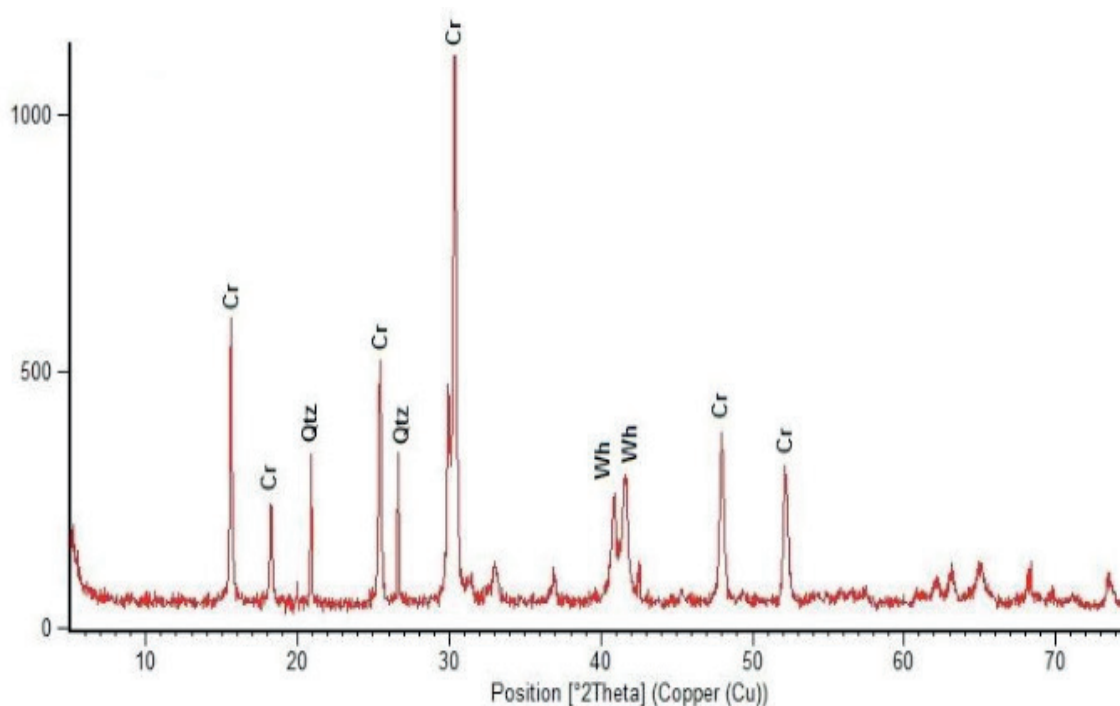


Figura 4. Difratograma de raios-X da amostra do fosfato de alumínio, *in natura*. Cr: crandallita; Qtz: quartzo; Wh: woodhouseita..

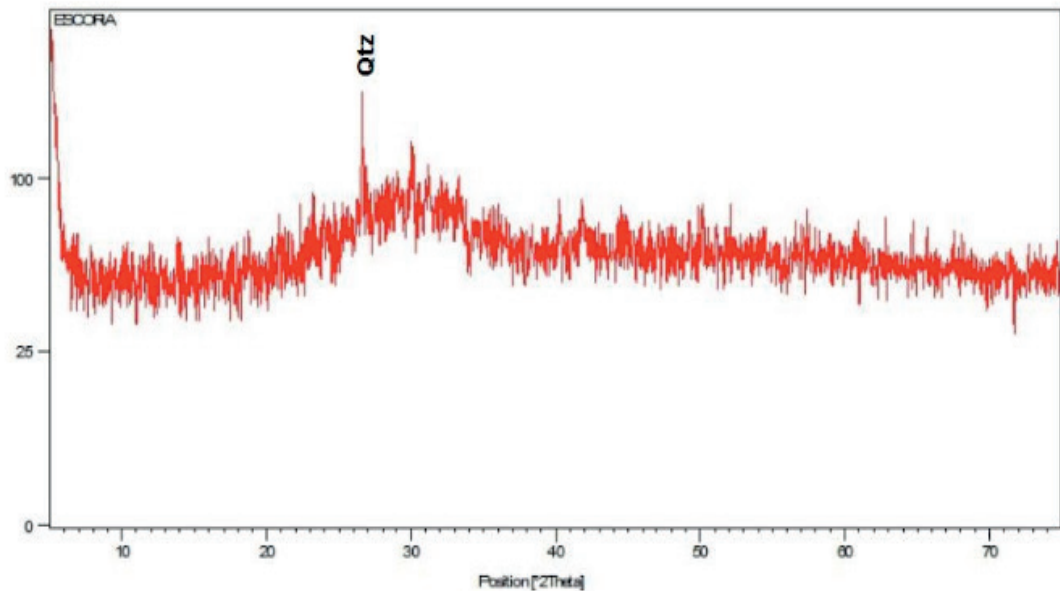


Figura 5. Difratograma de raios-X da amostra da escória *in natura*. Qtz: quartzo.

Após a calcinação a 700 oC, os difratogramas (Figuras 6 e 7), mostram que os termofosfatos ocorrem desestruturados, tendendo para amorfo, mas ainda com traços de crandallita e quartzo no termofosfato *in natura* e, no termofosfato com a adição de escória, apenas traços de quartzo.

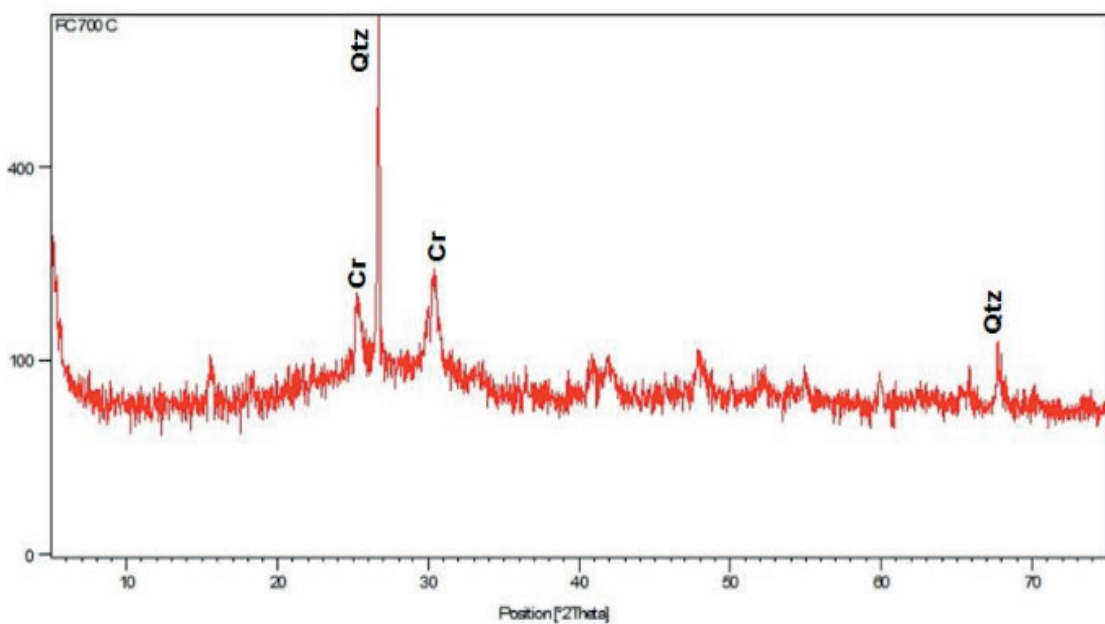


Figura 6. Difratograma de raios X da amostra do fosfato de alumínio (*in natura*) após calcinação a 700 °C. Qtz: quartzo; Cr: crandalita.

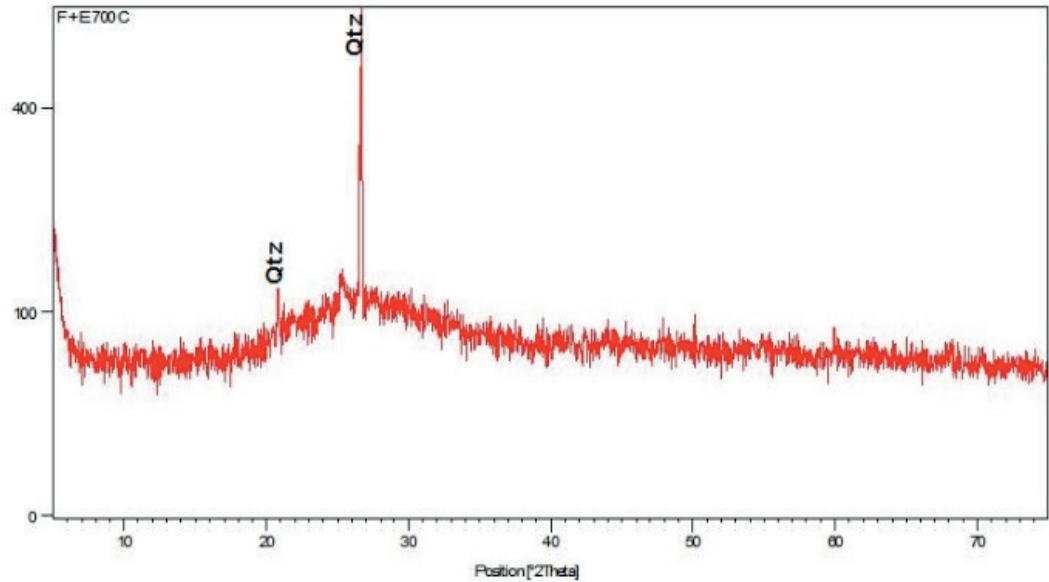


Figura 7. Difratoograma de raios X da amostra do fosfato de alumínio com adição de escória após calcinação a 700 °C. Qtz: quartzo;

Quando a amostra de fosfato de alumínio com inclusão de escória foi calcinada a 1100 °C as fases cristalinas identificadas foram: fosfatos de alumínio e ferro ( $\text{Al}_0,6\text{Fe}_{0,35}(\text{PO}_4)$ ), fosfatos de cálcio e ferro ( $\text{Ca}_9\text{Fe}(\text{PO}_4)$ ), e quartzo ( $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (Figura 8).

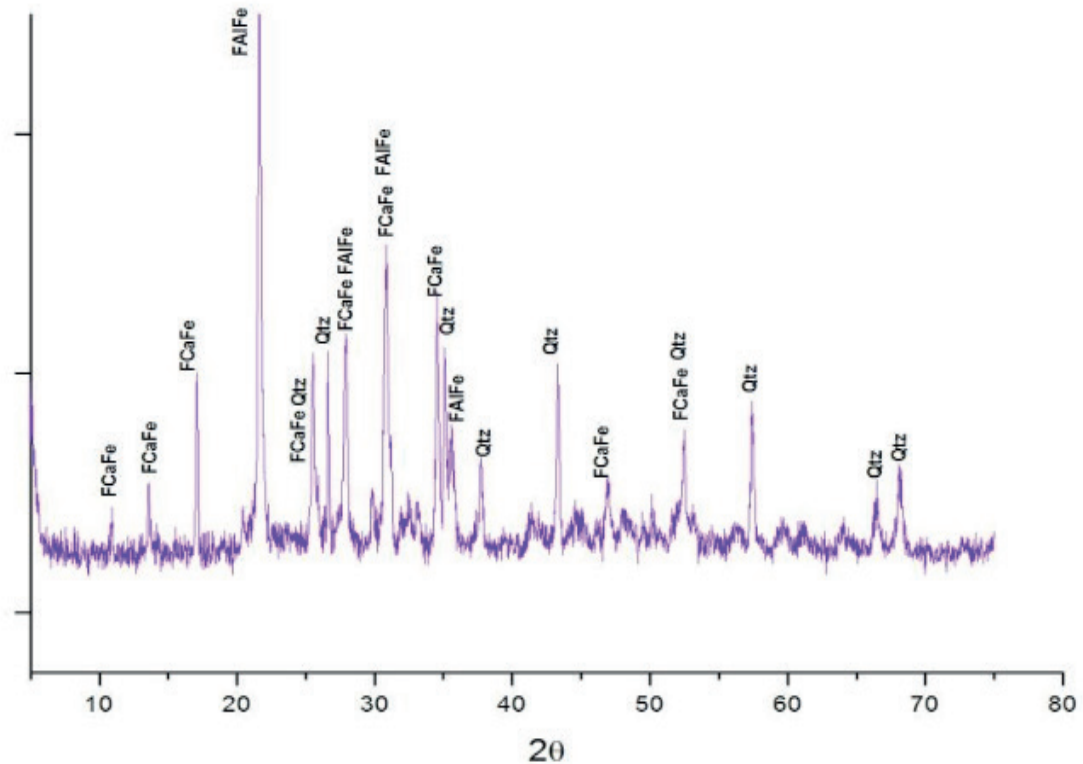


Figura 8. Difratoograma de raios-X da amostra do Termofosfato de Alumínio com a adição de escória, após calcinação a 1100 °C. FAIFe: Fosfato de Alumínio e Ferro; FCaFe : Fosfato de Cálcio e Ferro; Qtz: quartzo.

## 4 | CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que:

1. Em termos percentuais, não houve diferença significativa na perda de massa durante a secagem em relação ao material *in natura*, porém, na calcinação estes percentuais tiveram um aumento relevante. Perdas em massa, durante a secagem são atribuídas à perda da água fisicamente adsorvida e, na calcinação está relacionado com a perda de água estrutural da matriz (desidroxilação) principalmente da crandalita.
2. Mineralogicamente o fosfato de alumínio está constituído principalmente pela fase crandallita ( $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), que são minerais considerados como uma das principais fontes de P em solos. Alguns traços de woodhouseita ( $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$ ), minerais encontrados em veios de quartzo, também estão presentes no mineral fosfático. A escória apresenta substâncias amorfas.
3. A calcinação da amostra na temperatura de 700 °C, resultou no desaparecimento quase total das estruturas cristalinas presentes no fosfato *in natura*, restando apenas traços de quartzo. Com o aumento da temperatura para 1100 °C é observada a recristalização do material, onde novas estruturas cristalinas como fosfatos de alumínio, fosfatos de alumínio e cálcio, fosfatos de alumínio ferro e cálcio e quartzo foram identificados.
4. Diante dos resultado acima expostos, pode-se concluir que a calcinação à 700 °C apresenta solubilidade necessária para ser utilizada como fertilizante, ou seja, nesta temperatura os nutrientes estão disponíveis para serem absorvidos pelos vegetais, porém faz-se necessário estudos de eficiência agronômica desses materiais, para determinar seu uso na agricultura.

## 5 | AGRADECIMENTOS

À EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, pelo fornecimento das amostras de fosfato de alumínio e escória.

Ao GMGA – Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada (GMGA) da UFPA, pelo auxílio nas análises por Difração de Raios-X e instalação laboratorial.

## REFERÊNCIAS

BRASIL, E.C. et al. **Thermophosphates obtained of the combination of Aluminum Phosphate and Slag**. Proceedings 16th World Fertilizer Congress of CIEC Rio de Janeiro. 2014.

\_\_\_\_\_. **Eficiência de Termofosfatos de Alumínio com diferentes Temperaturas de Calcinação na Produção de Matéria Seca de Milho**. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Belém, PA, 2017.

CARVALHO, C.E. et al. **Avaliação completa dos recursos para produção de termofosfato: uma aplicação do PIR**. An. 3. Enc. Energ. Meio Rural. 2003.

LEONEL, C.M.L. **Estudo do processo de calcinação como operação unitária adicional na pelletização de minérios de ferro com altos valores de PPC.** Tese de doutorado, UFMG, Junho, 2011.

PRADO, R. M. et al. **Liberção de micronutrientes de uma escória aplicada em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com mudas de goiabeira (*Psidiumguajava* L.).** Revista Brasileira de Fruticultura, v.24, p.536-542, 2002.

PRADO, F. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. **Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.287-296, 2003.

SILVA, J. N. S. **Siderurgia.** Escola Técnica Aberta do Brasil, Cadernos E-TEC. Belém: IFPA: Santa Maria: UFSM, 2011. Disponível: [http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifpa/tecnico\\_metalurgica/siderurgia.pdf](http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifpa/tecnico_metalurgica/siderurgia.pdf).

## **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

H<sub>2</sub>S 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

LaNiO<sub>3</sub> 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



