

# ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS CERÂMICOS:

## NOVAS PERSPECTIVAS

### Organizadores:

Aluska do Nascimento Simões Braga

Geysivana Késsya Garcia Carvalho

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva

José Rosa de Souza Farias

Valdeci Bosco dos Santos

Veruska do Nascimento Simões

Ycaro Breno Alves de Almeida

**Volume 1**

# ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS CERÂMICOS:

## NOVAS PERSPECTIVAS

### **Organizadores:**

Aluska do Nascimento Simões Braga

Geysivana Késsya Garcia Carvalho

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva

José Rosa de Souza Farias

Valdeci Bosco dos Santos

Veruska do Nascimento Simões

Ycaro Breno Alves de Almeida

**Volume 1**

Editora Omnis Scientia

**ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS CERÂMICOS:  
NOVAS PERSPECTIVAS**

Volume 1

1ª Edição

TRIUNFO - PE

2022

**Editor-Chefe**

Me. Daniel Luís Viana Cruz

**Organizadores**

Aluska do Nascimento Simões Braga

Geysivana Késsya Garcia Carvalho

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva

José Rosa de Souza Farias

Valdeci Bosco dos Santos

Veruska do Nascimento Simões

Ycaro Breno Alves de Almeida

**Conselho Editorial**

Dr. Cássio Brancaleone

Dr. Marcelo Luiz Bezerra da Silva

Dra. Pauliana Valéria Machado Galvão

Dr. Plínio Pereira Gomes Júnior

Dr. Walter Santos Evangelista Júnior

Dr. Wendel José Teles Pontes

**Editores de Área - Engenharias**

Dra. Elba Gomes dos Santos Leal

Dr. Mauro de Paula Moreira

**Assistente Editorial**

Thialla Larangeira Amorim

**Imagem de Capa**

Os autores

**Edição de Arte**

Vileide Vitória Larangeira Amorim

**Revisão**

Os autores



**Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição-  
NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.**

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



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

A532 Análise e desenvolvimento de materiais cerâmicos [livro eletrônico] :  
novas perspectivas / Organizadores Aluska do Nascimento  
Simões Braga... [et al.]. – Triunfo, PE: Omnis Scientia, 2022.  
74 p. : il.

Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-88958-77-3  
DOI 10.47094/978-65-88958-77-3

1. Materiais cerâmicos. 2. Cerâmicas tradicionais. 3. Cerâmicas  
avançadas. 4. Engenharia de materiais. I. Braga, Aluska do  
Nascimento Simões. II. Carvalho, Geysivana Késsya Garcia. III. Silva,  
Hitalo de Jesus Bezerra da. IV. Farias, José Rosa de Souza.  
V. Santos, Valdeci Bosco dos. VI. Simões, Veruska do Nascimento.  
VII. Almeida, Ycaro Breno Alves de.

CDD 620.11

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

**Editora Omnis Scientia**

Triunfo – Pernambuco – Brasil

Telefone: +55 (87) 99656-3565

[editoraomnisscientia.com.br](http://editoraomnisscientia.com.br)

[contato@editoraomnisscientia.com.br](mailto:contato@editoraomnisscientia.com.br)



## PREFÁCIO

Materiais cerâmicos são uma classe de materiais que abrange uma grande variedade de substâncias naturais e sintéticas, tais como tijolos, revestimentos, pedras, concreto, abrasivos, vidrados para porcelana, isolantes, dielétricos, materiais magnéticos e não-metálicos, refratários para altas temperaturas e muitos outros. Popularmente, o termo cerâmica é utilizado para designar objetos de arte feitos a partir de massas plásticas cerâmicas. Usualmente, os materiais cerâmicos podem ser descritos como compostos inorgânicos formados por elementos metálicos e não metálicos. Visando melhor compreensão dos materiais cerâmicos, costuma-se dividi-los em dois grupos básicos: as cerâmicas tradicionais e as cerâmicas avançadas.

As cerâmicas tradicionais compreendem todos os materiais cerâmicos fabricados a partir de matérias-primas que são encontrados na natureza, como argilas, cerâmicas vermelhas, cerâmicas brancas, entre outros. Os produtos das cerâmicas tradicionais incluem: telhas, tijolos, cimento, revestimentos cerâmicos (pisos e azulejos), louças de mesa, vidros em geral, materiais refratários e isoladores elétricos.

As cerâmicas avançadas, também conhecidas como cerâmicas de alta tecnologia, diferem das tradicionais em virtude do controle mais rígido dos materiais empregados e nas etapas de processamento, o que influi nas propriedades e na microestrutura do material. São compostas por materiais sintéticos de alto grau de pureza, tais como o óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), carboneto de silício ( $SiC$ ), nitreto de silício ( $Si_3N_4$ ) e óxido de zircônio ( $ZrO_2$ ), entre outros, preparados por métodos mais sofisticados, envolvendo processos controlados, bem como melhor entendimento a nível microscópico. Os produtos das cerâmicas avançadas incluem: cerâmicas eletrônicas (isolantes e semicondutores), cerâmicas magnéticas (ferritas), cerâmicas ópticas (fibras ópticas, materiais para laser), elementos combustíveis (pastilhas de  $UO_2$ ), etc.

Neste sentido, este livro aborda diferentes pesquisas relacionados aos materiais cerâmicos, apresentando de maneira clara e objetiva resultados de estudos originais, bem como dados e informações pertinentes por meio de revisões bibliográficas acerca dessa área da ciência e engenharia de materiais.

# SUMÁRIO

## **CAPÍTULO 1.....10**

### **INFLUÊNCIA DA RAZÃO ÁCIDO CÍTRICO/CÁTIONS METÁLICOS NA SÍNTESE DE MULITA PELO MÉTODO PECHINI**

José Rosa de Souza Farias

Slanna Larissa Olimpio Costa

Ycaro Breno Alves de Almeida

Veruska do Nascimento Simões

Geysivana Késsya Garcia Carvalho

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva

Érica Karine Alves de Lima

Valdeci Bosco dos Santos

Aluska do Nascimento Simões Braga

**DOI: 10.47094/978-65-88958-77-3/10-17**

## **CAPÍTULO 2.....18**

### **EFEITO DO TETRAHIDROFURANO COMO SOLVENTE NA SÍNTESE DE MULITA PELO MÉTODO PECHINI**

José Rosa de Souza Farias

Slanna Larissa Olimpio Costa

Ycaro Breno Alves de Almeida

Veruska do Nascimento Simões

Geysivana Késsya Garcia Carvalho

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva

Wollia Nayane Araújo Vitoriano

Valdeci Bosco dos Santos

Aluska do Nascimento Simões Braga

**DOI: 10.47094/978-65-88958-77-3/18-25**

**CAPÍTULO 3.....26**

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ÁLCOOIS COMO SOLVENTES NA SÍNTESE DE MULITA PELO MÉTODO SOL-GEL**

José Rosa de Souza Farias

Slanna Larissa Olimpio Costa

Adryann Millos Santos De Freitas

Ycaro Breno Alves de Almeida

Veruska do Nascimento Simões

Geysivana Késsya Garcia Carvalho

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva

Valdeci Bosco dos Santos

Aluska do Nascimento Simões Braga

**DOI: 10.47094/978-65-88958-77-3/26-33**

**CAPÍTULO 4.....34**

**AVALIAÇÃO DA CITOTOXICIDADE DE CERÂMICAS BIFÁSICAS DE HA<sub>p</sub>/β-TCP**

Ycaro Breno Alves de Almeida

Slanna Larissa Olimpio Costa

José Rosa de Souza Farias

Diogenes de Moura Junior

Victoria Regia Alves Sales

Ketelly Estefane da Silva Alves

Genivaldo Melo da Rocha

Veruska do Nascimento Simões

Geysivana Késsya Garcia Carvalho

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva

Valdeci Bosco dos Santos

Aluska do Nascimento Simões Braga

**DOI: 10.47094/978-65-88958-77-3/34-43**



**CAPÍTULO 5.....44**

**SÍNTESE DE HIDROXIAPATITA VIA ROTA PECHINI: UMA BREVE REVISÃO**

Ycaro Breno Alves de Almeida

Slanna Larissa Olimpio Costa

José Rosa de Souza Farias

Diogenes de Moura Junior

Victoria Regia Alves Sales

Ketelly Estefane da Silva Alves

Genivaldo Melo da Rocha

Veruska do Nascimento Simões

Geysivana Késsya Garcia Carvalho

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva

Valdeci Bosco dos Santos

Aluska do Nascimento Simões Braga

**DOI: 10.47094/978-65-88958-77-3/44-59**

**CAPÍTULO 6.....60**

**NANOFIBRAS DE MANGANITA DE LANTÂNIO DOPADAS COM ESTRÔNCIO: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**

Érica Karine Alves de Lima

Wollia Nayane Araújo Vitoriano

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva

Maria Elayne Rodrigues Alves

Humberto Denys de Almeida Silva

Fernanda da Luz Barbosa

José Rosa de Souza Farias

Ycaro Breno Alves de Almeida

Veruska do Nascimento Simões

Geysivana Késsya Garcia Carvalho

Aluska do Nascimento Simões Braga

Valdeci Bosco dos Santos

**DOI: 10.47094/978-65-88958-77-3/60-71**

### EFEITO DO TETRAHIDROFURANO COMO SOLVENTE NA SÍNTESE DE MULITA PELO MÉTODO PECHINI

**José Rosa de Souza Farias<sup>1</sup>;**

Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, Piauí.

<http://lattes.cnpq.br/9404467330103347>

**Slanna Larissa Olimpio Costa<sup>2</sup>;**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Teresina, Piauí.

<http://lattes.cnpq.br/5896223773412182>

**Ycaro Breno Alves de Almeida<sup>3</sup>;**

Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, Piauí.

<http://lattes.cnpq.br/4070307554924095>

**Veruska do Nascimento Simões<sup>4</sup>;**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Rio Grande do Norte.

<http://lattes.cnpq.br/1149592827133122>

**Geysivana Késsya Garcia Carvalho<sup>5</sup>;**

Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, Piauí.

<http://lattes.cnpq.br/0242153749540840>

**Hitalo de Jesus Bezerra da Silva<sup>6</sup>;**

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/4510351692039237>

**Wollia Nayane Araújo Vitoriano<sup>7</sup>;**

Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, Piauí.

<http://lattes.cnpq.br/3479562872784671>

**Valdeci Bosco dos Santos<sup>8</sup>;**

Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, Piauí.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Teresina, Piauí.

<http://lattes.cnpq.br/0011700686113389>

**Aluska do Nascimento Simões Braga<sup>9</sup>.**

Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, Piauí.

**RESUMO:** Mullita tem sido considerada interessante nas últimas décadas, devido às suas propriedades, tais como: baixa expansão térmica, alta estabilidade térmica, baixa densidade, baixa condutividade térmica, boa resistência mecânica, resistência à fluência e boa estabilidade em ambientes químicos severos. Os mecanismos de reação na formação de mullita podem variar de acordo com os precursores e os métodos empregados. Com o objetivo de obter mullita por uma síntese química promissora e pouco estudada em sua produção, o presente trabalho se propõe a sintetizar mullita pelo método Pechini. Investigou-se a cinética de cristalização da mullita a partir do uso do tetrahidrofurano como solvente, e a proporção usada entre o ácido cítrico e os cátions metálicos foi de 1:1. As amostras foram calcinadas à 1100 e 1200°C durante 2 horas, e posteriormente, foram caracterizadas por difração de raios-X (DRX), análise térmica (TG/DTG e ATD) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados de DRX mostraram a formação da fase mullita, porém em conjunto com a fase alfa-alumina, para todas as temperaturas de calcinação. A análise térmica confirmou a ruptura da cadeia polimérica antes da formação das fases cristalinas, apresentando uma perda de massa total de 97%. O MEV evidenciou uma morfologia formada por grandes agregados, prejudicando as propriedades de refratariedade e desempenho do material.

**PALAVRAS-CHAVE:** Síntese. Mullita. Tetrahidrofurano. Método Pechini.

### **EFFECT TETRAHYDROFURAN AS SOLVENT IN THE SYNTHESIS OF MULLITE BY THE PECHINI**

**ABSTRACT:** Mullite has been considered interesting in recent decades due to its properties such as: low thermal expansion, high thermal stability, low density, low thermal conductivity, good mechanical strength, creep resistance and good stability in harsh chemical environments. The reaction mechanisms in the formation of mullite can vary according to the precursors and the methods used. Aiming to obtain mullite by a promising chemical synthesis and little studied in its production, the present work proposes to synthesize mullite by the Pechini method. The kinetics of mullite crystallization from the use of tetrahydrofuran as solvent was investigated, and the ratio used between citric acid and metallic cations was 1:1. The samples were calcined at 1100 and 1200°C for 2 hours, and later, they were characterized by X-ray diffraction (XRD), thermal analysis (TG/DTG and ATD) and scanning electron microscopy (SEM). The XRD results showed the formation of the mullite phase, but together with the alpha-alumina phase, for all calcination temperatures. Thermal analysis confirmed the breakage of the polymer chain before the formation of crystalline phases, showing a total mass loss of 97%. The SEM showed a morphology formed by large aggregates, impairing the refractoriness and performance properties of the material.

**KEY-WORDS:** Synthesis. Mullite. Tetrahydrofuran. Pechini method.

## INTRODUÇÃO

Mulita é um aluminossilicato com vastas aplicações tecnológicas, devido suas excelentes propriedades químicas e físicas. A literatura reporta vários métodos para a obtenção de mulita (SCHNEIDER et al., 1994), porém o método sol-gel tem sido um dos mais estudados por gerar produtos com elevada pureza e homogeneidade, além de sua versatilidade e boa reprodutibilidade (BRINKER e SCHERER, 1990). A técnica sol-gel pode ser executada através de diferentes soluções, sejam elas coloidais ou poliméricas, ou através de diferentes rotas, como por exemplo, pela metodologia Pechini (NEIVA et al., 2012; RICHARD et al., 2013; ILIC et al., 2014).

O método Pechini, também conhecido como método dos precursores poliméricos, foi desenvolvido em 1967 (PECHINI, 1967). Resumidamente esta rota consiste na quelatação de cátions metálicos, formando complexos metálicos estáveis ao reagir com o ácido cítrico. Na sequência ocorre, uma reação de poliesterificação, a partir do etileno glicol, resultando numa rede rígida de um polímero orgânico altamente ramificado (KAKIHANA e YOSHIMURA, 1999). A idéia principal da rota é manter a estequiometria dos íons metálicos na resina polimérica, ou seja, que os íons metálicos estejam distribuídos atomisticamente por toda a estrutura polimérica (KAKIHANA, 1996).

Devido as muitas vantagens desta rota, o método Pechini tem sido extensivamente utilizado para preparar uma variedade de pós multicomponentes (HSIEH et al., 2012; HE et al., 2008; CHEN et al., 2011). Porém, deve-se destacar que pouco se observa na literatura estudos envolvendo a síntese de mulita utilizando a rota Pechini (BRAGA et al., 2014; BRAGA et al., 2014). Além do fato que, a escolha do tipo de solvente afeta diretamente as propriedades do produto final obtido, interferindo significativamente na homogeneidade química do sistema e nas características microestruturais do material obtido

Desta maneira, o objetivo deste trabalho é a produção de mulita pelo método Pechini, avaliando a influência do THF como solvente na obtenção da fase.

## METODOLOGIA

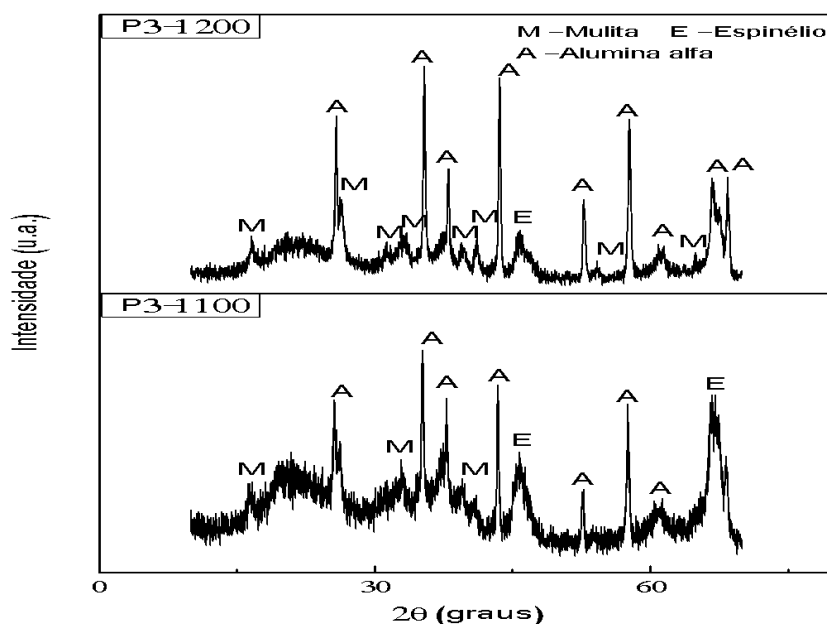
Para a preparação da mulita pelo método Pechini, primeiramente foi adicionado 100 ml de THF em um becker a uma temperatura de aproximadamente 70°C em uma placa de aquecimento. Então, o ácido cítrico foi adicionado de forma fracionada para que o mesmo se dissolvesse totalmente, sob agitação. Posteriormente, os precursores, nitrato de alumínio e TEOS, foram adicionados. A proporção usada entre o ácido cítrico e os cátions metálicos foi de 1:1. Essa mistura prévia permaneceu sob agitação constante e temperatura controlada durante oito horas. Após esse tempo, o etileno glicol foi então adicionado ao sistema, e então foi aumentada a temperatura da placa até 120°C, formando o gel. O gel foi calcinado à 450°C/2 horas, com taxa de aquecimento de 5°C/min. Em seguida, o pó obtido foi desaglomerado em um almofariz e passado em peneira malha #200, e calcinado nas temperaturas de 1100 e 1200°C, durante 2 horas, com taxa de aquecimento de 5°C/min. Desta forma, as amostras foram denominadas, em função da temperatura de calcinação, de P3/1100 e P3/1200, quando calcinadas a 1100 e 1200°C, respectivamente.

Os pós obtidos da calcinação foram submetidos à análise de difração de raios X. A análise foi realizada em difratômetro de raios X modelo XRD-6000 da Shimadzu com radiação  $\text{K}\alpha$  do cobre e varredura de 10 a 70°. Paralelamente a calcinação do gel, foi realizada a caracterização do gel obtido através de análise térmica, a fim de avaliar as perdas de massa ocorridas durante o aquecimento do material. Essa análise foi realizada em um analisador térmico, modelo TA-60, da Shimadzu, com taxa de aquecimento de 10°C/min, em atmosfera de ar, usando um cadinho de platina e faixa de temperatura da ambiente (25°C) até a temperatura máxima de 1200°C. Os aspectos morfológicos foram analisados por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Para esta finalidade utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura da Shimadzu, modelo SSX-550.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 exibe os difratogramas de raios X das amostras P3/1100 e P3/1200, sintetizadas usando THF como solvente e calcinadas nas temperaturas de 1100°C e 1200°C, respectivamente.

**Figura 1:** Difratogramas de raios X das amostras P3/1100 e P3/1200 calcinadas nas temperaturas de 1100°C e 1200°C, respectivamente.



Fonte: Autoria própria, 2021.

De acordo com os difratogramas da Figura 1, percebe-se que a amostra P3 calcinada a 1100°C possui bandas amorfas, formação de espinélio e picos referente a cristalização da mulita, mas também da fase  $\alpha$ -alumina, com 40,3% de cristalinidade. Com a elevação da temperatura para 1200°C ocorreu a diminuição das bandas amorfas e da fase espinélio, com um maior desenvolvimento de mulita, apresentando um aumento da cristalinidade para 50,8%, mas ainda com a existência da  $\alpha$ -alumina



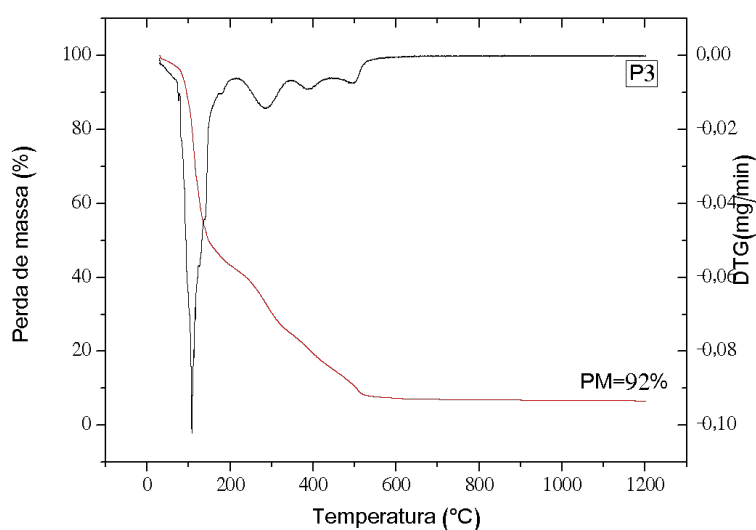
como fase cristalina predominante.

Nesta reação, verifica-se que ocorreu a cristalização da  $\alpha$ -alumina como fase majoritária, em detrimento da fase mulita. Isto, possivelmente, aconteceu, pois a molécula do THF é formada por um anel benzeno, tendo, assim, um grupo bem volumoso apresentando um caráter básico muito fraco e conseqüentemente, uma baixa solubilidade para o ácido cítrico, o que provocou segregações dos íons Al e Si, dificultando o processo de difusão e reação.

Outro fator que provavelmente colaborou para estes resultados foi o fato do THF possuir uma baixa temperatura de ebulição ( $66^{\circ}\text{C}$ ), com isto a solução rapidamente aumentou sua viscosidade, devido a evaporação do solvente, dificultando ainda mais a interação dos íons de Al e Si, acentuando as heterogeneidades do sistema.

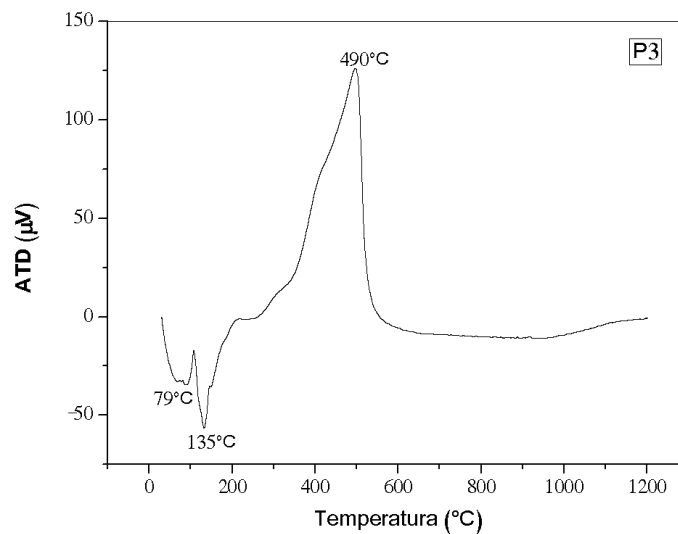
As Figuras 2 e 3 apresentam as curvas de TG/DTG e ATD, respectivamente, da amostra P3.

**Figura 2:** Curvas de TG/DTG da amostra P3.



Fonte: Autoria própria, 2021.

**Figura 3:** Curva de ATD da amostra P3.



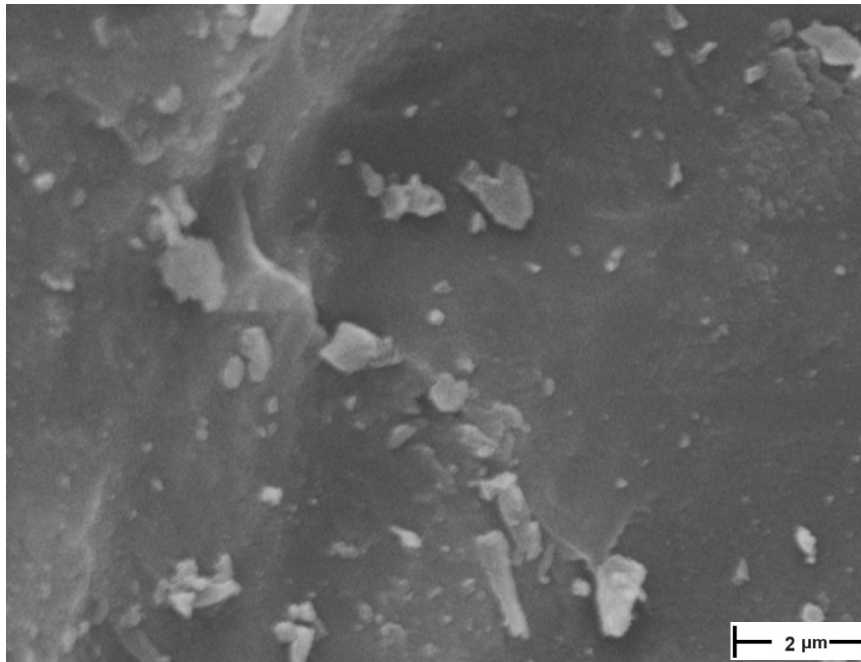
**Fonte:** Autoria própria, 2021.

Pode-se observar por meio da Figura 2, que a curva referente à TG da amostra P3, apresenta três eventos de perda de massa. O primeiro que ocorre aproximadamente na faixa de 52°C à 151°C e o segundo ocorre na faixa de 151°C à 308°C, ambos correspondem a perda de água residual do gel e do THF ainda presente no material. O terceiro, ocorre na faixa de 308°C à 550°C, referente a decomposição dos componentes do gel e queima do material orgânico liberando óxidos de carbono e nitrogênio na forma de gás (a matéria orgânica presente no material está relacionada ao ácido cítrico e ao etileno glicol adicionados ao sistema, além do material advindo do TEOS). A partir de 550°C, a perda de massa permanece constante. Com isso, o material teve uma perda de massa total de aproximadamente 92%.

A curva de ATD do gel, Figura 3, apresenta dois picos endotérmicos em 79°C e 135°C, referentes a perda de água residual do gel e do THF. Observa-se ainda um intenso pico exotérmico em aproximadamente 490°C, relacionado a decomposição dos componentes do gel e queima do material orgânico, evidenciando que a grande perda de material ocorre nesta temperatura.

A Figura 4 exhibe a morfologia da amostra P3/1200 obtida por microscopia eletrônica de varredura.

**Figura 4:** Microscopia eletrônica de varredura da amostra P3/1200.



**Fonte:** A autoria própria, 2021.

Analisando a micrografia da Figura 4, percebe-se que a amostra P3 é formada por agregados, sendo estes de formato irregular. Os agregados formados possuem um tamanho aparentemente grande, provavelmente devido às heterogeneidades que ocorrem no gel quando do uso do THF como solvente, o que favorece a segregação das fases, e conseqüentemente, a formação desses grandes agregados. Através dos resultados de cristalinidade foi visto a formação de uma significativa quantidade de material amorfo, isso possivelmente também contribuiu para agregar as partículas por capilaridade.

## CONCLUSÃO

Foi possível perceber a forte influência dos solventes na obtenção da fase, onde o uso do THF como solvente proporcionou a cristalização da mulita pelo método Pechini, em ambas as temperaturas de calcinação, porém a fase  $\alpha$ -alumina foi a fase majoritária. As amostras obtidas também apresentaram um elevado teor de fase amorfa, conseqüência das características do solvente utilizado, que dificultou o processo de difusão e reação. As amostras apresentaram uma perda de massa de 92%, possuindo uma morfologia formada por grandes agregados.

## DECLARAÇÃO DE INTERESSES

Nós, autores deste artigo, declaramos que não possuímos conflitos de interesses de ordem financeira, comercial, político, acadêmico e pessoal.

## REFERÊNCIAS

- BRAGA, A. N. S.; COSTA, D. L.; FARIAS, R. M. C.; NEVES, G. A.; LIRA, H.L.; MENEZES, R.R. **Influência da razão ácido cítrico/cátions metálicos na síntese de mulita pelo método Pechini.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2014, Cuiabá. Anais do 21° Congresso Brasileiro de Ciência e Engenharia de Materiais, 2014, p.175-182.
- BRAGA, A.N.S.; FARIAS, R. M. C.; CORDEIRO, V.V.; NEVES, G.A.; LIRA, H.L.; MENEZES, R.R. **Síntese de mulita pelo método Pechini.** In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, Bento Gonçalves, 2014. Anais do 58° Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2014. v. 58. p. 644-654.
- BRINKER, C. J.; SCHERER, G. W. **Sol Gel Science: The Physics and Chemistry of sol-gel processing.** San Diego: Academic Press, 1990.
- CHEN, X. Y.; LI, Z.; BAO, S. P.; JI, P. T. **Porous MAI<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> (Eu<sup>3+</sup>), Dy<sup>3+</sup> (M = Sr, Ca, Ba) phosphors prepared by Pechini-type sol-gel method: The effect of solvents.** Opt. Mater., v.34, p. 48-55, 2011.
- HE, G.; CAI, J. H.; NI, G. **ZnO thin films prepared by a modified water-based Pechini method.** Mater. Chem. Phys., v.110, p.110-114, 2008.
- HSIEH, T. H.; YEN, S. C.; RAY, D. T. **A study on the synthesis of (Ba,Ca)(Ti,Zr)O<sub>3</sub> nano powders using Pechini polymeric precursor method.** Ceram. Int., v. 38, p. 755-759, 2012.
- ILIC, S.; ZEC, S.; MILJKOVIC, M.; POLETI, D.; POŠARAC-MARKOVIC, M.; JANAC'KOVIC, DJ.; MATOVIC, B. **Sol-gel synthesis and characterization of iron doped mullite.** J. Alloy. Compd. v.612, p.259-264, 2014. KAKIHANA, M. **Invited review "sol-gel" preparation of high temperature superconducting oxides.** J. Sol-Gel Sci. Techn., v. 6, p. 7-55, 1996.
- KAKIHANA, M.; YOSHIMURA, M. **Synthesis and characteristic of complex multicomponent oxides prepared by polimer complex method,** B. Chem. Soc. Jpn., v. 72, p.1427-1443, 1999.
- NEIVA, L. S.; SIMÕES, A. N.; OLIVEIRA, M. J.C.; RIBEIRO, M. A.; LEAL, E.; GAMA, L. **Influence of Preparation Method of the CeO<sub>2</sub> over their Structural Characteristics.** Mater. Sci. Forum (Online) v.727-728, p.1256-1259, 2012.
- PECHINI, M. P., **Method of preparing lead and alkaline earth titanates and niobates and coating method using the same to form a capacitor,** U.S. Patent 3.330.697, 1967. RICHARD, H. J.; JULIE, B., TSIGE, G.; BRIAN, J. I.; CARTER, J. D. **Synthesis of the p-type semiconducting ternary oxide CuAlO<sub>2</sub> using the Pechini method.** Mater. Res. Bull, v.48, p.3916-3918, 2013.
- SCHNEIDER, H.; OKADA, K.; PASK, J. **Mullite and mullite ceramics.** New York: John Wiley & Sons, 1994.

## Índice Remissivo

### A

Ácido cítrico 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 22, 23, 25, 35, 37, 39, 41, 45, 51, 52, 53  
Ácido cítrico/cátions metálicos 11, 12, 13, 14, 16, 25, 35, 37, 45, 52, 53  
Água residual 11, 15, 23  
Álcool etílico 11, 12, 27, 28, 29, 30, 31, 53  
Álcool isopropílico 27, 28, 30, 31  
Alumínio 12, 13, 14, 20, 27, 28, 30, 31  
Ambiente fisiológicos 45  
Ambientes químicos 12, 19  
Análise térmica 11, 12, 19, 21, 27, 29  
Aplicações tecnológicas 11, 20, 68  
Assistência à saúde humana 35

### B

Beta fosfato tricálcico ( $\beta$ -tcp) 35, 39  
Bioatividade 35, 45, 47, 49  
Biocerâmicas 35, 45, 46, 47  
Biocompatibilidade 37, 45, 46, 47, 49  
Biomateriais 45, 46, 47, 50  
Biomaterial cerâmico 35

### C

Calcinação 12, 19, 20, 21, 24, 27, 29, 30, 31, 37, 51  
Cátions metálicos 11, 13, 14, 16, 19, 20, 35, 39, 41, 52  
Cerâmicas perovskitas 61  
Ciência/indústria 61, 63  
Condutividade térmica 12, 19  
Cristalização da mulita 11, 14, 16, 19, 21, 24, 27, 31

### D

Decomposição dos componentes 11, 15, 23  
Densidade 12, 19, 48, 63  
Difração de raios x (drx) 11, 27, 29, 35, 38

### E

Engenharia de tecidos 35, 36  
Escala de homogeneidade 27  
Estabilidade 12, 19, 35, 46, 50, 53, 62  
Estabilidade térmica 12, 19, 46, 53  
Estrôncio 49, 61, 62, 63, 65, 66, 67, 68, 70  
Expansão térmica 12, 19

### F



Fase alfa-alumina 19  
Fase alumina 11  
Fase mulita 11, 19, 22, 29, 30  
Fases cristalinas 19  
Fases de fosfatos de cálcio 35  
Fosfato de cálcio bifásico 35

G

Géis difásicos 27  
Géis monofásicos 27

H

Hidroxiapatita (hap) 35  
Hipertermia magnética 61, 63

L

Liberador de fármacos 61, 63

M

Manganita de lantânio 61, 62, 63, 70  
Material cerâmico 11  
Material orgânico 11, 15, 23  
Mecanismos de reação 19  
Método pechini 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 24, 25, 37, 39, 41, 45, 47, 51, 52, 53  
Método sol-gel 20, 27, 28, 31, 37  
Microambiente fisiológico 35  
Microscopia eletrônica de varredura (mev) 19, 21, 35, 38  
Mulita 11, 19, 20, 27, 28

N

Nanofibras 61  
Nano/micrométricos e monólitos 61  
Nanotecnologia 61, 63  
Nível atômico 13, 27

O

Organismo humano 45  
Osseointegração 35, 37

P

Perda ou falha de tecidos ou órgãos 35  
Processamento sol-gel 27

R

Refratariedade e desempenho do material 19  
Resistência mecânica 12, 19, 46

Ressonância magnética 61, 63

S

Silício 13, 14, 27, 31

Síntese 11, 12, 13, 14, 19, 20, 25, 27, 28, 37, 39, 45, 47, 50, 51, 52, 53, 63

Solvente 11, 19, 20, 21, 22, 24, 27, 28, 30, 31, 45, 53

T

Tetrahidrofurano 19


Tipos de géis 27


Toxicidade 37, 38, 40, 41, 42, 45, 47

EDITORA  
OMNIS SCIENTIA



[editoraomnisscientia@gmail.com](mailto:editoraomnisscientia@gmail.com) 

<https://editoraomnisscientia.com.br/> 

@editora\_omnis\_scientia 

<https://www.facebook.com/omnis.scientia.9> 

+55 (87) 9656-3565 



EDITORA

OMNIS SCIENTIA



[editoraomnisscientia@gmail.com](mailto:editoraomnisscientia@gmail.com) 

<https://editoraomnisscientia.com.br/> 

@editora\_omnis\_scientia 

<https://www.facebook.com/omnis.scientia.9> 

+55 (87) 9656-3565 