

# 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**

## INFLUÊNCIA DA RAZÃO ÁCIDO CÍTRICO/CÁTIONS METÁLICOS 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>

**Érica Karine Alves de Lima<sup>7</sup>;**

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

<http://lattes.cnpq.br/8186490901865658>

**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:** Mulita é um material cerâmico com grandes aplicações tecnológicas. Sua síntese vem sendo extensivamente estudada devido as suas excelentes propriedades. Desta forma, este trabalho propõe a obtenção de mulita pelo método Pechini. As amostras foram sintetizadas usando álcool etílico como solvente, e foram investigadas as quantidade de ácido cítrico/cátions metálicos em proporções de 3:1 e 1:1, de modo a entender a sua influência na obtenção da fase mulita. As amostras foram sintetizadas a 1200° C durante 2 horas e, posteriormente, caracterizadas por difração de raios X (DRX) e análise térmica (TG/DTG e ATD). Os resultados de DRX mostraram que a razão ácido cítrico/cátions metálicos influencia na formação da fase formada, sendo a mulita obtida como fase majoritária apenas na proporção 1:1. Com a elevação da proporção para 3:1 observou-se a formação da fase alumina, com formação discreta de mulita. Os eventos de perda de massa da amostra mulita ocorreram em duas etapas, referentes a perda de água residual do gel e do álcool, e referente a decomposição dos componentes do gel e queima do material orgânico. A amostra teve uma perda de massa total de aproximadamente 92%. E, os resultados de ATD evidenciaram o início da cristalização da mulita em aproximadamente 990° C.

**PALAVRAS-CHAVE:** Síntese. Mulita. Método Pechini.

#### INFLUENCE OF REASON CITRIC ACID/ METAL CATIONS IN THE SYNTHESIS OF MULLITE BY PECHINI METHOD

**ABSTRACT:** Mullite is a ceramic material with great technological applications. Its synthesis has been extensively studied due to its excellent properties. Thus, this work proposes to obtain mullite by the Pechini method. The samples were synthesized using ethyl alcohol as solvent, and the amounts of citric acid/metal cations in proportions of 3:1 and 1:1 were investigated, in order to understand its influence in obtaining the mullite phase. The samples were synthesized at 1200°C for 2 hours and later characterized by X-ray diffraction (XRD) and thermal analysis (TG/DTG and ATD). The XRD results showed that the citric acid/metal cations ratio influences the formation of the formed phase, with mullite being obtained as the majority phase only in a 1:1 ratio. With the increase of the ratio to 3:1 it was observed the formation of the alumina phase, with discrete formation of mullite. The mass loss events of the mullite sample occurred in two stages, referring to the loss of residual water from the gel and alcohol, and referring to the decomposition of the gel components and burning of the organic material. The sample had a total mass loss of approximately 92%. And, ATD results evidenced the onset of mullite crystallization at approximately 990°C.

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

## INTRODUÇÃO

Há um interesse considerável nas últimas décadas no estudo e aplicação da mulita, devido às suas propriedades, dentre elas: baixa expansão térmica ( $20/200^{\circ}\text{C} = 4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ), alta estabilidade térmica, baixa densidade ( $3,17 \text{ g/cm}^3$ ), baixa condutividade térmica ( $k = 2,0 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ), boa resistência mecânica e resistência à fluência, boa estabilidade em ambientes químicos severos, entre outras (DOKKO et al., 1977; JAYMES et al., 1996).

Por possuir essas propriedades mulita sintética é produzida por vários métodos, como sinterização reativa de pós de alumina e sílica (SACKS et al., 1997), processo sol-gel (AMUTHARANI e GNANAM, 1999), co-precipitação (CHAUDHURI e PATRA, 1997), processos hidrotérmicos (SOMIYA et al., 1990) e processos de deposição química de vapor (HIRATA et al., 1990).

Dentre os métodos químicos, destaca-se o método Pechini, em relação a outras técnicas, devido as suas vantagens, tais como: homogeneidade química dos multicomponentes em escala atômica, temperaturas de calcinações relativamente baixas, controle direto e preciso da estequiometria de sistemas complexos, pós-cerâmicos com partículas muito finas, simplicidade de processamento e maior reprodutibilidade (KAKIHANA e YOSHIMURA, 1999).

Devido as muitas vantagens deste método, o Pechini tem sido extensivamente utilizado para preparar uma variedade de pós multi-componentes. Porém, pouco se observou na literatura (BRAGA et al., 2014) estudos envolvendo a síntese de mulita utilizando o método Pechini.

Desta maneira, o objetivo deste trabalho é a produção de mulita pelo método Pechini, avaliando a influencia da razão ácido cítrico/cátions metálicos na obtenção da fase.

## METODOLOGIA

Para a preparação da mulita pelo método Pechini, primeiramente foi adicionado 100 ml de álcool etílico em um becker a uma temperatura de aproximadamente  $70^{\circ}\text{C}$  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. 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  $120^{\circ}\text{C}$ , formando o gel. O gel foi calcinado à  $450^{\circ}\text{C}/2$  horas, com taxa de aquecimento de  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Em seguida, o pó obtido foi desaglomerado em um almofariz e passados em peneira malha #200, e calcinado na temperatura de  $1200^{\circ}\text{C}$ , durante 2 horas, com taxa de aquecimento de  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , sendo as amostras denominadas P1/1200, quando a proporção ácido cítrico/cátions foi 1:1, e 32/1200 quando a proporção ácido cítrico/cátions foi de 3:1.

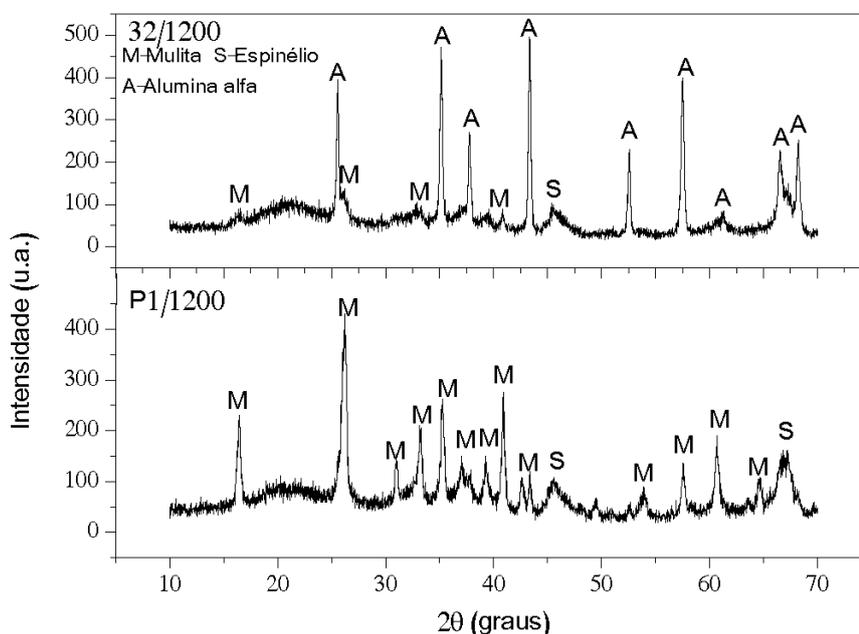
Os pós obtidos da calcinação foram então submetidos à análises de difração de raios X. A análise foi realizada em difratômetro de raios X modelo XRD-6000 da Shimadzu com radiação  $\text{CuK}\alpha$  do cobre e varredura de  $10$  a  $70^{\circ}$ . Também foi realizada a caracterização da amostra na forma de gel (antes da calcinação) e na forma de pó (após calcinação) por análise térmica. Essa análise foi realizada em um analisador térmico, modelo TA-60, da Shimadzu, com taxa de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}/$

min, em atmosfera de ar, usando um cadinho de platina e faixa de temperatura do ambiente (25°C) até a temperatura máxima de 1200°C.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Fig. 1 ilustra os difratogramas de raios X das amostras 32/1200 e P1/1200, sintetizadas pelo método Pechini, variando a proporção entre ácido cítrico e os cátions metálicos em 3:1 e 1:1, respectivamente.

**Figura 1:** Difratogramas de raios X das amostras 32/1200 e P1/1200 sintetizadas pelo método Pechini, variando a razão ácido cítrico/cátions em 3:1 e 1:1, respectivamente.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Analisando o difratograma de raios X da amostra 32/1200, que usou a relação ácido cítrico/cátions metálicos de 3:1, percebe-se a formação predominante da  $\alpha$ -alumina (ficha padrão JCPDS 46-1212), com discretíssimos picos de mulita (ficha padrão JCPDS 15-0776) e espinélio (ficha padrão JCPDS 37-1483). Esse fato é explicado, provavelmente, pelo fato de que, os íons metálicos em solução interagem com o ácido cítrico em maior ou menor grau. Onde o alumínio apresenta alta interação com o ácido cítrico, enquanto o silício apresenta baixa interação com o ácido cítrico. Dessa forma, o que possivelmente pode estar ocorrendo nesta reação é que o íon alumínio formou o quelante com o ácido cítrico, enquanto o íon silício permaneceu na solução, com isso os íons de silício e alumínio foram separados durante a síntese, quando da adição do etileno glicol e formação da rede polimérica tridimensional, características do método Pechini, ao invés de serem unidos (em um nível atômico), dificultando a formação da mulita.

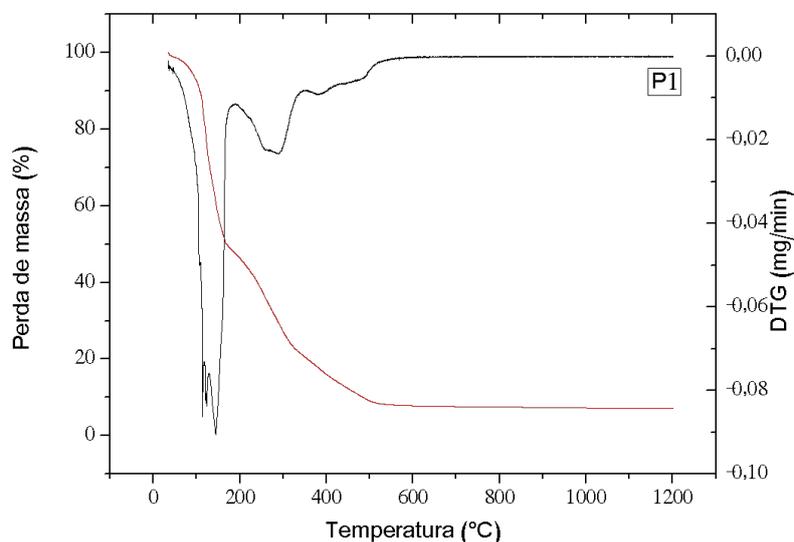
Outro fator, que provavelmente colaborou para tais resultados, foi o fato da relação entre o ácido cítrico e os cátions metálicos ser de 3:1, o que favoreceu o aumento da rede polimérica em relação aos íons metálicos, com isso, foi aumentada ainda mais a distância entre os íons Si e Al. Assim, os íons alumínio ficam totalmente envolvidos pelo ácido, impossibilitando sua interação com os íons silício que estão em solução, favorecendo a formação da alumina em detrimento da mulita.

Por outro lado, verifica-se que ao se alterar a proporção ácido/cátions para 1:1, amostra P1/1200, ocorreu a cristalização da mulita, com formação de discretos picos de espinélio em aproximadamente 45° e 67°. Provavelmente isto ocorre, pois ao se diminuir a proporção ácido cítrico/cátions metálicos, os íons alumínio continuam formando o quelante com o ácido cítrico, porém como a quantidade de ácido foi diminuída, o alumínio não foi totalmente quelatado, possuindo sítios reativos que reagiram com os íons silício em solução, formando a mulita. Diante disto, supõem-se que a proporção ácido cítrico/cátions metálicos igual a 1:1 é a adequada para a síntese de mulita pelo método Pechini.

Como apenas a amostra P1/1200 obteve mulita cristalina e como fase majoritária, somente esta amostra será analisada quanto ao seu comportamento térmico, por TG/DTG e ATD.

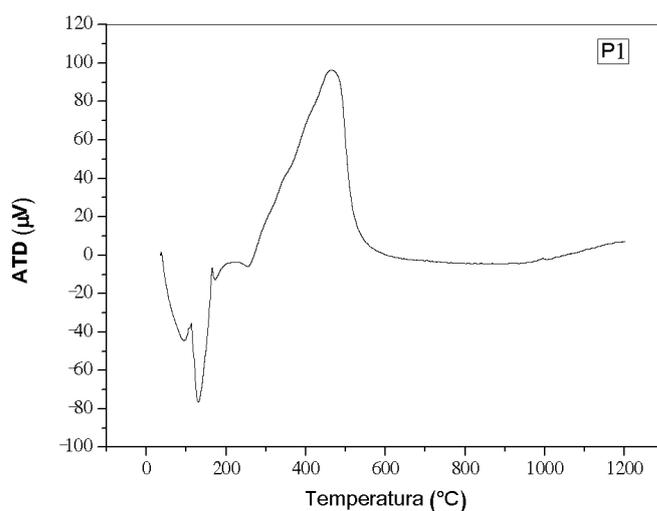
As Figs. 2 e 3 apresentam as curvas TG/DTG e ATD, respectivamente, da amostra P1, em função da temperatura.

**Figura 2:** Curvas de TG/DTG da amostra P1, sintetizada pelo método Pechini.



**Fonte:** Autoria própria, 2021.

**Figura 3:** Curva de ATD da amostra P1, sintetizada pelo método Pechini.



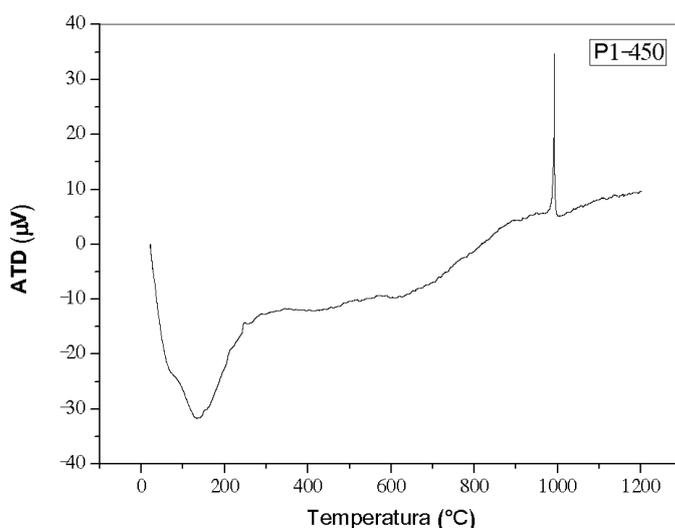
**Fonte:** Autoria própria, 2021.

Pode-se observar por meio da Fig. 2, que a curva referente à TG da amostra P1, apresenta dois eventos de perda de massa. O primeiro que ocorre aproximadamente na faixa de 100°C à 190°C corresponde a perda de água residual do gel e do álcool ainda presente no material. O segundo, ocorre na faixa de 190°C à 580°C, a qual se observa a maior perda de massa, 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 esta relacionada ao ácido cítrico e ao etileno glicol adicionados ao sistema, além do material advindo do TEOS). A partir de 580°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 (Fig. 3) apresenta dois picos endotérmicos de maior intensidade e outro menor, em faixas associadas a perdas de massa. Há um grande pico exotérmico em aproximadamente 450°C, relacionado a queima do material orgânico, aja vista o ensaio foi realizado em atmosfera de ar sintético. O que evidencia que a grande perda de material ocorre até aproximadamente 450°C. Dessa forma, o gel sintetizado foi calcinado na temperatura de 450°C, visando a eliminação da matéria orgânica antes da queima a 1200°C.

A Fig. 4 apresenta a curva de ATD da amostra P1 pirolisada a 450°C.

**Figura 4:** Curva de ATD da amostra P1 pirolisada a 450°C, sintetizada pelo método Pechini.



**Fonte:** Autoria própria, 2021.

Através da Fig. 4, percebe-se uma inflexão em 990°C, ficando nítido o início da cristalização da mulita nesta temperatura. A curva de ATD também apresenta uma banda endotérmica em 130°C, referentes à perda de água, devido à umidade que amostra provavelmente absorveu, e a resquícios de matéria orgânica.

## CONCLUSÃO

O método Pechini é eficaz na obtenção de mulita. No entanto, a variação da razão ácido cítrico/cátions metálicos influencia na formação das fases formadas, onde ao se usar a proporção ácido/cátions igual a 3:1 a cristalização da alumina é favorecida, enquanto ao se usar a proporção ácido/cátions igual a 1:1 a mulita é obtida como fase majoritária, apenas com formação de discretos picos de espinélio. Concluindo-se que a proporção ácido cítrico/cátions metálicos igual a 1:1 é a adequada para a obtenção de mulita pelo método Pechini.

## DECLARAÇÃO DE INTERESSES

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

## REFERÊNCIAS

- AMUTHARANI, D.; GNANAM, F. D. **Low temperature pressure less sintering of sol-gel derived mullite**. Materials Science and Engineering, v.264, p.254-261,1999.
- 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**. Anais do 58º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Brasil, 2014.
- CHAUDHURI, S.P.; PATRA, S.K. **Preparation e characterization of transition metal ion doped mullite**. Transactions and Journal of the British Ceramic Society, v.97, p.105-111, 1997.
- DOKKO, P. C.; PASK, J. A.; MAZDIYASNI, K. S. **High-temperature mechanical properties of mullite under compression**. Journal American Ceramic Society, v.60, p.150-155, 1977.
- HIRATA, Y.; AKSAY, I.A.; KURITA, HORI, S.; KAJI, H. **Processing of mullite powders processed by Chemical Vapor Deposition**. In Mullite and Mullite Matrix Composites, Ceram. Trans., Vol. 6, edited by Somiya, S., Davis, R. F., Pask, J. A. American Ceramic Society, Westerville, Ohio, p.323-38, 1990.
- JAYMES, I.; DOUY, A.; MASSIOT, D.; COUTURES, J.P. **Characterization of mono and diphasic mullite precursor powders prepared by aqueous routes, Al and Si MAS-NMR spectroscopy investigations**. Journal of Materials Science, v.31, p.4581-4589, 1996.
- KAKIHANA, M.; YOSHIMURA, M. **Synthesis and Characteristic of Complex Multicomponent Oxides Prepared by Polimer Complex Method**. Bulletin of the Chemical Society, v.72, p.1427-1443, 1999.
- SACKS, M. D.; WANG, K.; SCHEIFFLE, G.W.; BOZKURT, N. **Effect of composition on mullitisation behavior of  $\alpha$ -alumina/silica micro composite powders**. Journal of the American Ceramic Society, v.80, p.663-672, 1997.
- SOMIYA, S., YOSHIMURA, M., SUZUKI, M., YANAGUCHI, T. **Mullite powder from hidrothermal processing**. In Mullite and Mullite Matrix Composites, Ceram. Trans., Vol. 6, edited by Somiya, S., Davis, R. F., Pask, J. A. American Ceramic Society, Westerville, Ohio, 287-297, 1990.

## 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.instagram.com/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 