

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

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_p/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 DE DIFERENTES ÁLCOOIS COMO SOLVENTES NA SÍNTESE DE MULITA PELO MÉTODO SOL-GEL

José Rosa de Souza Farias¹;

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

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

Slanna Larissa Olimpio Costa²;

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

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

Adryann Millos Santos De Freitas³;

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

<http://lattes.cnpq.br/6569793350028717>

Ycaro Breno Alves de Almeida⁴;

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

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

Veruska do Nascimento Simões⁵;

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

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

Geysivana Késsya Garcia Carvalho⁶;

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

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

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva⁷;

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

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

Valdeci Bosco dos Santos⁸;

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 Braga¹⁰.

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

RESUMO: Na síntese de mulita pelo processamento sol-gel são obtidos dois tipos de géis: monofásicos e difásicos. Géis monofásicos são formados quando alumínio e silício são misturados em nível atômico. Géis difásicos são formados quando a escala de homogeneidade se encontra entre 1 e 100nm. Ademais, o tipo de gel formado depende dos parâmetros de síntese. Assim, o objetivo deste trabalho é estudar a influência do álcool etílico e do álcool isopropílico como solventes na síntese de mulita pelo método sol-gel. As amostras foram calcinadas nas temperaturas de 1100 e 1200 °C durante duas horas, e posteriormente, foram caracterizadas por difração de raios X (DRX) e análise térmica (TG/DTG e ATD). Os resultados de DRX mostraram que a mulita foi formada apenas usando o álcool isopropílico como solvente, e o uso do álcool etílico favoreceu a formação da alumina, para ambas as temperaturas de calcinação. A análise térmica mostrou que a decomposição da mulita ocorreu em duas etapas, correspondendo a perda de água e do álcool, e a combustão de matéria orgânica e da decomposição dos precursores metálicos. A amostra obtida apresentou uma perda de massa total de 60% e através da ATD foi evidenciado o início da cristalização da mulita em aproximadamente 985 °C.

PALAVRAS-CHAVE: Síntese. Sol-Gel. Mulita.

INFLUENCE OF DIFFERENT ALCOHOLS AS SOLVENTS IN THE MULLITE SYNTHESIS BY THE SOL-GEL METHOD

ABSTRACT: In the synthesis of mullite by sol-gel processing, two types of gels are obtained: monophasic and diphasic. Single-phase gels are formed when aluminum and silicon are mixed at the atomic level. Diphasic gels are formed when the homogeneity scale is between 1 and 100nm. Furthermore, the type of gel formed depends on the synthesis parameters. Thus, the objective of this work is to study the influence of ethyl alcohol and isopropyl alcohol as solvents in the synthesis of mullite by the sol-gel method. The samples were calcined at temperatures of 1100 and 1200 °C for two hours, and subsequently characterized by X-ray diffraction (XRD) and thermal analysis (TG/DTG and ATD). The XRD results showed that the mullite was formed only using isopropyl alcohol as a solvent, and the use of ethyl alcohol favored the formation of alumina, for both calcination temperatures. Thermal analysis showed that the decomposition of mullite occurred in two stages, corresponding to the loss of water and alcohol, and the combustion of organic matter and the decomposition of metallic precursors. The obtained sample presented a total mass loss of 60% and through the ATD it was evidenced the beginning of the mullite crystallization at approximately 985 °C.

KEY-WORDS: Synthesis. Sol-Gel. Mullite.

INTRODUÇÃO

Mulita é um aluminossilicato que alcançou extensa importância devido às suas excelentes propriedades, tendo uma vasta gama de aplicações. Assim, estudos voltados para a síntese de mulita a partir de misturas de Al_2O_3 e SiO_2 ou a partir de materiais que apresentem Al_2O_3 e SiO_2 tornam-se cada vez mais importantes tecnologicamente nas áreas de cerâmica tradicional e avançada (MAZDIYASNI e BROWN, 1972; TUAN e CHEN, 2001; KONG et al., 2004; LEE e RAINFORTH, 1994).

Desta maneira, como forma de atender a um mercado crescente 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 esses métodos, destaca-se o método sol-gel, que é o método químico mais utilizado na síntese de mulita (Chu et al., 1997). Sendo um método versátil na obtenção de materiais inorgânicos, que possui a vantagem de fornecer materiais com elevada pureza e homogeneidade química, além de boa reprodutibilidade.

A versatilidade deste método é uma de suas maiores vantagens, podendo obter os materiais através de diferentes soluções, sejam elas coloidais ou poliméricas (KAKIHANA, 1996).

Sabe-se que na tecnologia sol-gel a escolha da rota e das variáveis de síntese afetam diretamente as propriedades do produto final obtido e que o tipo de solvente é outro fator de grande importância na obtenção de materiais através de síntese química, interferindo significativamente na homogeneidade química do sistema (PADMAJA et al., 2001; YOSHIDA et al., 2010; LIU et al., 2013; ROY et al., 2013). Apesar da relevância do método sol-gel e das inúmeras pesquisas envolvendo essa tecnologia na síntese de mulita, ainda existe a necessidade de mais estudos que analisem mais variáveis do processo, como a rota de síntese empregada e os tipos de solventes.

Assim, este trabalho tem por objetivo a produção de mulita através do método sol-gel, estudando o efeito de diferentes álcoois como solventes.

METODOLOGIA

Para a preparação da mulita por sol-gel foi estudado a influência dos solventes utilizados, sendo estes: álcool etílico e álcool isopropílico.

As soluções foram realizadas da seguinte maneira: 100 ml do solvente em um balão volumétrico de 3 bocas, a uma temperatura de 60°C (temperatura controlada por termômetro) sobre uma placa de aquecimento. Então foi adicionado à solução 5,21 ml de TEOS e 28,17g de nitrato de alumínio. Esse sistema foi mantido sob refluxo durante 5 dias com agitação constante e temperatura controlada em 60°C . Passados os 5 dias, a solução obtida foi então mantida em estufa por mais 4 dias, também com temperatura controlada em 60°C , formando um gel. Após os quatro dias na estufa, usando os diferentes solventes, os géis obtidos foram então calcinados a $450^\circ\text{C}/2$ horas, com taxa de aquecimento de $5^\circ\text{C}/\text{min}$, para eliminação da matéria orgânica. Em seguida, os pós obtidos foram desaglomerados em um almofariz, passados em peneira ABNT n°200 (0,074mm), e calcinados nas

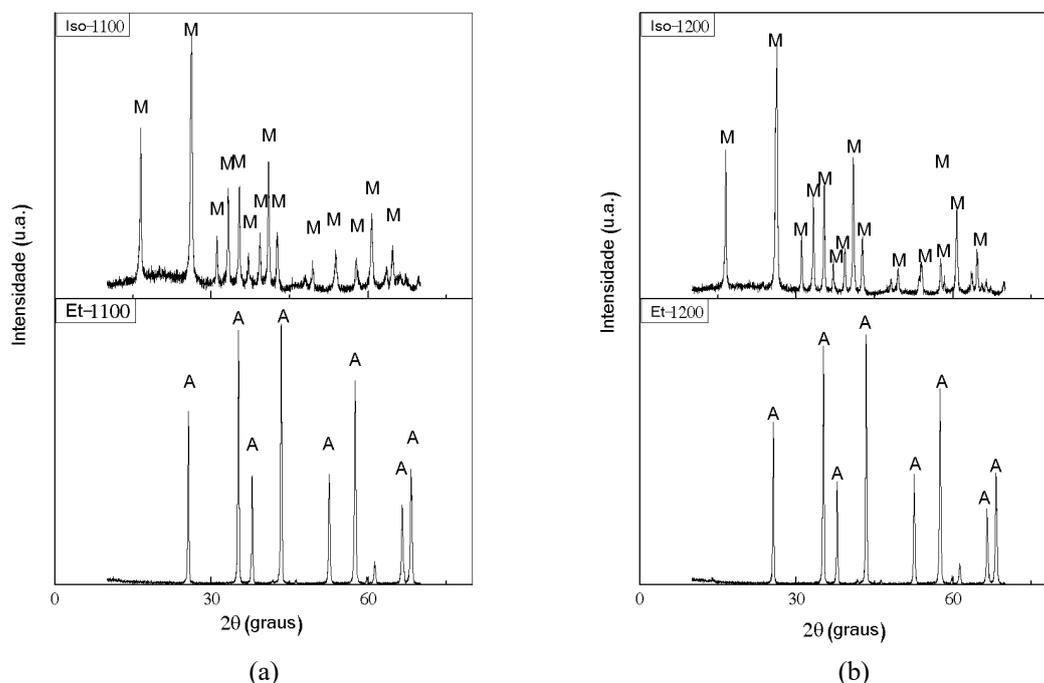
temperaturas de 1100°C e 1200°C, durante 2 horas, com taxa de aquecimento de 5°C/min, para obtenção da fase mulita. As amostras obtidas usando álcool etílico e isopropílico foram denominadas de amostras Et e Iso, respectivamente.

Os pós de mulita obtidos da calcinação foram então submetidos às análises de difração de raios X (DRX) e análise térmica (TG/DTG e ATD). A análise de DRX 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°. A análise térmica diferencial e gravimétrica 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.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 1(a) e 1(b) ilustram os difratogramas de raios X das amostras Et-1100, Et-1200, Iso-1100, Iso-1200, que foram sintetizadas utilizando como solventes o álcool etílico e álcool isopropílico, calcinadas em 1100°C/2h e 1200°C/2h, respectivamente.

Figura 1: Difratogramas de raios X das amostras que foram sintetizadas utilizando como solventes o álcool etílico e álcool isopropílico, respectivamente, calcinadas em 1100°C/2h (a) e 1200°C/2h (b).



Fonte: Autoria própria, 2021.

De acordo com os difratogramas da Figura 1, analisando primeiramente as amostras Et-1100

e Et-1200, que foram sintetizadas usando álcool etílico como solvente, percebe-se que para ambas as temperaturas de calcinação, 1100°C e 1200°C, ocorreu a formação apenas da alumina. Provavelmente isso se deu devido a elevada constante dielétrica do etanol (24,3), favorecendo uma maior dissolução dos íons, evitando a formação de núcleos de mulita, impedindo sua cristalização.

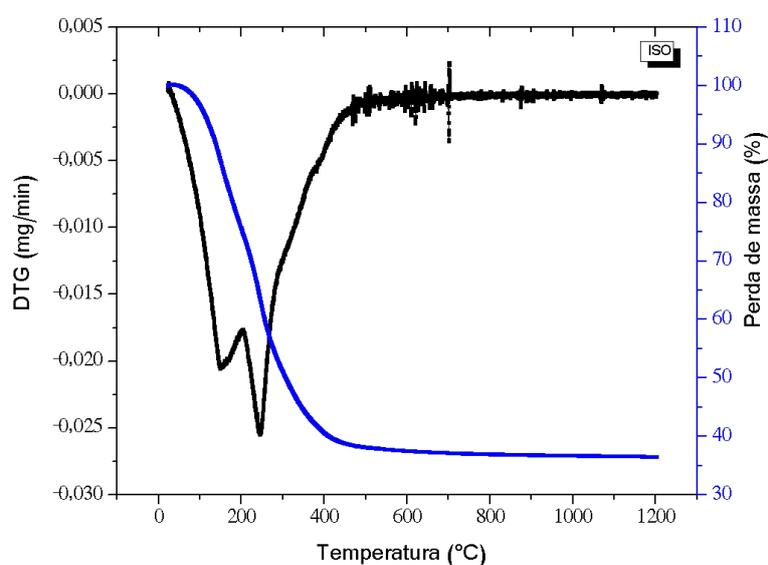
Ao se usar o álcool isopropílico (Amostra Iso) ocorre a formação da mulita para ambas as temperaturas de calcinação, sem a formação de espinélio, com cristalinidade de 72,0% e 81,6% para as temperaturas 1100°C e 1200°C, respectivamente, constatando alta homogeneidade do sistema. Apesar dos alcoóis etílico e isopropílico terem moléculas muito parecidas, apresentaram padrões de difração totalmente diferentes. Essa diferença nas fases obtidas pode ser explicada pelos diferentes valores da constante dielétrica dos alcoóis. Onde o álcool isopropílico apresenta um valor de constante dielétrica (18,3) menor do que a do álcool etílico, o que propicia a formação de pequenos núcleos de mulita ou mesmo dos precursores (nanométricos), que durante a secagem serviram como pontos para nucleação heterogênea e crescimento da mulita.

Outros pesquisadores(6) também sintetizaram mulita pelo processo sol-gel, utilizando álcool isopropílico como solvente, e nitrato de alumínio e TEOS como precursores. Foram obtidos resultados em consonância parcial com os obtidos neste trabalho, observando-se a presença de mulita após calcinação a 1100 °C.

De acordo com os difratogramas de raios X, apenas as amostras que cristalizaram a fase mulita serão analisadas quanto ao seu comportamento térmico, por TG/DTG e ATD. Assim, apenas a amostra Iso será analisada termicamente.

A Figura 2 apresenta as curvas de TG/DTG da amostra Iso.

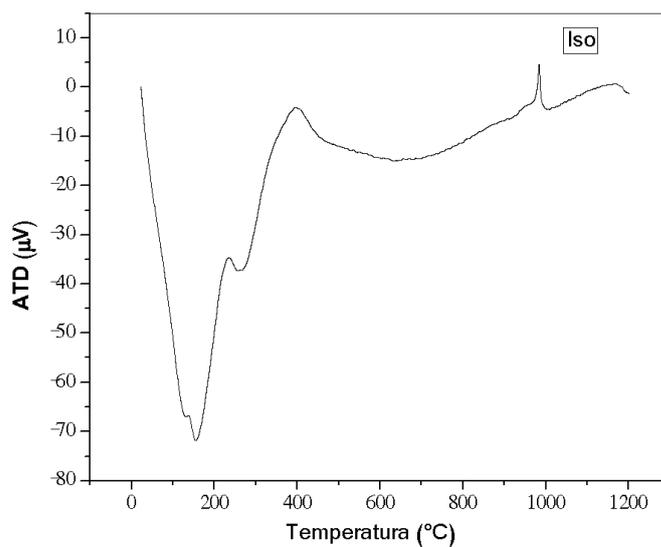
Figura 2: Curvas de TG/DTG da amostra Iso.



Fonte: Autoria própria, 2021.

A decomposição da amostra Iso ocorre em duas etapas. A primeira etapa inicia-se em aproximadamente 50°C até 200°C, correspondendo a perda de água e do álcool. A segunda etapa que ocorre em aproximadamente 200°C até 500°C, é referente a combustão de matéria orgânica e da decomposição dos precursores metálicos (TEOS e nitrato). Essa amostra apresentou uma perda de massa de 60%. A Figura 3 apresenta a curva de ATD da amostra Iso.

Figura 3: Curva de ATD da amostra Iso.



Fonte: Autoria própria, 2021.

A curva de DTA da amostra Iso apresenta um grande pico endotérmico em 161°C e outro de menor intensidade em 262°C, referentes às perdas de massa. Com uma pequena banda exotérmica em aproximadamente 400°C, referente à formação dos óxidos de alumínio e de silício. Apresenta também outro pico exotérmico em 985°C, que corresponde ao início da cristalização da mulita.

CONCLUSÃO

Foi possível concluir que o método sol-gel é eficaz na obtenção de mulita com boa homogeneidade química e que o tipo de solvente tem forte influência na formação das fases. Dos dois álcoois estudados como solventes apenas o álcool isopropílico favoreceu a cristalização da mulita, tendo seu início em 985 °C, com cristalinidade elevada e sem formação de segunda fase, em todas as temperaturas de calcinação. Enquanto o uso do álcool etílico como solvente proporcionou a formação apenas da alumina.

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.

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.

CHU, L.; TEJEDOR-TEJEDOR, M.I.; ANDERSON, M.A. **Particulate sol-gel route for microporous silica gels,** Microporous mater., v.8, p.207-213, 1997.

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.

KAKIHANA, M. **Invited review “sol-gel” preparation of high temperature superconducting oxides.** J. Sol-Gel Sci. Technol., v. 6, p. 7-55, 1996.

KONG, L. B.; ZHANG, T. S.; CHEN, Y. Z.; MA, J.; BOEY, F.; HUANG, H. **Microstructural composite mullite derived from oxides via high-energy ball milling process.** Ceram. Inter., v. 30, p. 1313-1317, 2004.

LEE, W.E.; RAINFORTH, W. M. **Structural oxides I: Al₂O₃ and mullite.** In: Ceramic microstructure property control by processing, Chapman & Hall, London, UK, 1994.

LIU, P.; ZHU, Y.; MA, J.; YANG, S.; GONG, J.; Xu, J. **Effect of boehmite sol on the crystallization behavior and densification of mullite formed from a sol-gel precursor.** Pro. Nat. Sci. Mater., v.23, p.145-151, 2013.

MAZDIYASNI, K. S.; BROWN, L. M. **Synthesis and mechanical properties of stoichiometric aluminum silicate.** J. Am. Ceram. Soc., v.55, p.548-552, 1972.

PADMAJA, P.; ANILKUMAR, G.M.; MUKUNDAN, P.; ARULDHAS, G.; WARRIER, K.G.K. **Characterization of stoichiometric sol-gel mullite by fourier transform infrared spectroscopy.** Int. J. Inorg. Mater., v.3. p.693-698, 2001.

ROY, D.; BAGCHI, B.; DAS, S.; NANDY, P. **Electrical and dielectric properties of sol-gel derived mullite doped with transition metals.** Mater. Chem. Phys., v.138, p.375-383, 2013.

SACKS, M. D.; WANG, K.; SCHEIFFLE, G.W.; BOZKURT, N. **Effect of composition on mullitisation behavior of α -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 hydrothermal 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.

TUAN, W.H., CHEN, C.Y. **The processing of kaolin powder compact.** Ceram. Inter., v.27, p.795-800, 2001.

YOSHIDA, K.; HYUGA, H.; KONDO, N.; KITA, H. **Synthesis of precursor for fibrous mullite powder by alkoxide hydrolysis method.** Mater. Sci. Eng. B, v.173, p.66-71, 2010.

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 (β -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 

<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 

EDITORIA



OMNIS SCIENTIA

editoraomnisscientia@gmail.com 

https://editoraomnisscientia.com.br/ 

@editora_omnis_scientia 

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

+55 (87) 9656-3565 