

THE
GREAT
WORLD
OF

NANOTECHNOLOGY

Marcos Augusto de Lima Nobre
(Organizador)



**EDITORA
ARTEMIS**
2020

THE
GREAT
WORLD
OF
NANOTECHNOLOGY

Marcos Augusto de Lima Nobre
(Organizador)

 **EDITORA
ARTEMIS**
2020

2020 by Editora Artemis
Copyright © Editora Artemis
Copyright do Texto © 2020 Os autores
Copyright da Edição © 2020 Editora Artemis
Edição de Arte: Bruna Bejarano
Diagramação: Helber Pagani de Souza
Revisão: Os autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*.
Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Editora Chefe:

Prof^ª Dr^ª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora Executiva:

Viviane Carvalho Mocellin

Organizador:

Marcos Augusto de Lima Nobre

Bibliotecário:

Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

G786 The great world of nanotechnology / Organizador Marcos Augusto Lima Nobre. – Curitiba, PR: Artemis, 2020.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
Edição bilíngue
ISBN 978-65-87396-17-0
DOI: 10.37572/EdArt_170251020

1. Nanociência. 2. Nanotecnologia. I. Nobre, Marcos Augusto Lima.

CDD 620.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

APRESENTAÇÃO

O mundo em escala dos nanômetros tem-se mostrado cada vez mais presente no cotidiano. Em qualquer área encaixamos o nano, e muitas palavras têm sido criadas com o prefixo nano. Algo que exiba uma de suas dimensões na escala de um bilionésimo de metro pertence a este universo, que de forma gradual tem alcançado a ciência e a tecnologia. A nanociência e nanotecnologia têm modificado tintas, tecidos, metais, cerâmicas, polímeros a compreensão dos minérios e minerais, por fim criando a necessidade de cursos para otimizar a compreensão de seus conceitos aplicados a engenharia, a medicina e áreas correlatas. O mundo dos “nano” tem alcançado as ligas metálicas, os argilominerais, o ensino aplicado, a mecânicas dos fluidos e pós cerâmicos funcionais com partículas com tão baixa densidade que podem ser consideradas apenas casca. Cada um destes tópicos está sendo desenvolvido neste exato momento para ganharmos durabilidade, novos materiais mais fortes, mas com menos peso, novas técnicas de ensino para conceitos novos e inovadores, transporte mais eficiente de combustíveis e biocombustíveis em linhas e dutos cada vez menores e pós nanométricos funcionais capazes de acelerar reações químicas. Este livro traz um conjunto de textos abordando diversos aspectos dos conceitos materiais em escala dos nanômetros.

Desejo a todos uma excelente leitura!!

Marcos Augusto de Lima Nobre

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO INTERMETÁLICO TERMOELÉTRICO TINISN	
Ernest Pedroza Araujo Silva	
Daniela Menegon Triches	
DOI 10.37572/EdArt_1702510201	
CAPÍTULO 2	11
MICROSTRUCTURAL AND RHEOLOGICAL CHARACTERIZATIONS OF A CLAY MINERAL FROM THE SOUTHWEST REGION OF THE BRAZILIAN STATE OF SÃO PAULO FOR APPLICATION IN NANOCOMPOSITES	
Delia do Carmo Vieira	
Felipe Ferreira Lopes	
Rebeca Abreu Nascimento	
Alessandra Stevanato	
Elisângela Corradini	
Janksyn Bertozzi	
DOI 10.37572/EdArt_1702510202	
CAPÍTULO 3	28
ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF DISTANCED LEARNING STRATEGIES FOR NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY SUBJECTS APPLIED TO HEALTH SCIENCES	
Jackeline Neres Bellucci	
Felipe Silva Bellucci	
Gilberto Lacerda Santos	
DOI 10.37572/EdArt_1702510203	
CAPÍTULO 4	40
SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS NANOESTRUTURADAS OCAS	
Marcos Augusto Lima Nobre	
Felipe Silva Bellucci	
Silvania Lanfredi	
DOI 10.37572/EdArt_1702510204	
CAPÍTULO 5	48
EFEITOS DE NANOESTRUTURAS DE GRAFITE SOBRE A VISCOSIDADE DE BLENDA DIESEL-S10 E BIODIESEL	
Túlio Begena Araújo	
Marcos Augusto Lima Nobre	
DOI 10.37572/EdArt_1702510205	

CAPÍTULO 6	59
FENÔMENO DE CONTORNO DE NANOGRÃO EM MICROESTRUTURAS NANOMÉTRICAS CERÂMICAS	
Marcos Augusto Lima Nobre Silvania Lanfredi	
DOI 10.37572/EdArt_1702510206	
CAPÍTULO 7	71
SÍNTESE DE NANOCOMPÓSITO CERÂMICO DE ZIRCÔNIA-HIDROXIAPATITA	
Carolina Cury Lopes Fabiana Barbara Piveta Flores Fabíola Stahlke Prado Ana Júlia Machado Merino Alejandra Hortencia Miranda González	
DOI 10.37572/EdArt_1702510207	
SOBRE O ORGANIZADOR	80
ÍNDICE REMISSIVO	81

SÍNTESE DE NANOCOMPÓSITO CERÂMICO DE ZIRCÔNIA-HIDROXIAPATITA

Data de submissão: 23/10/2020

Data de aceite: 24/10/2020

Carolina Cury Lopes

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Odontologia, Universidade Pitágoras UNOPAR, Londrina, PR, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/9319783891046040>

Fabiana Barbara Piveta Flores

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Biotecnologia e Inovação em Saúde, Universidade Anhanguera de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
Graduação em Odontologia Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, SP, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/1770179034044751>

Fabiola Stahlke Prado

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Odontologia, Universidade Pitágoras UNOPAR, Londrina, PR, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/5945486708837985>

Ana Júlia Machado Merino

Graduação em Odontologia, Universidade Pitágoras UNOPAR, Londrina, PR, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/9270709918894342>

Alejandra Hortencia Miranda González

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Odontologia, Universidade Pitágoras UNOPAR, Londrina, PR, Brasil.
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Biotecnologia e Inovação em Saúde, Universidade Anhanguera de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/1059436387901853>

RESUMO: Com o advento da nanotecnologia, diversas técnicas têm sido aplicadas a fim de obter pós cerâmicos com dimensões nanométricas a partir de processos químicos. O método dos precursores poliméricos (MPP) consiste em uma rota química para produzir pós cerâmicos homogêneos e envolve etapas de baixo custo, que permitem melhor controle estequiométrico e menor temperatura de síntese. Assim, o objetivo deste estudo foi obter compósitos de zircônia-hidroxiapatita a partir da metodologia química pelo MPP e caracterizar as propriedades físico-químicas dos compósitos visando aplicações odontológicas. Na etapa de síntese foram preparados pós das cerâmicas de zircônia (ZrO_2) e hidroxiapatita (HA). A síntese do compósito de Zircônia/Hidroxiapatita foi realizada mediante a mistura dos pós cerâmicos na proporção de 50% de ZrO_2 e 50% de HA. O compósito resultante foi

caracterizado quanto à formação de fases cristalinas e determinação do tamanho de cristalito por meio de análises de DRX, assim como análises de morfologia por MEV. O tamanho de cristalito para o compósito de ZrO_2/HA calculado a partir do difratograma de DRX confirmou o tamanho nanométrico (39,32 nm) dos grãos. As caracterizações do compósito permitiram comprovar a potencialidade da metodologia usada a fim de se preparar o compósito com propriedades comparáveis às descritas por meio de outros processos de síntese.

PALAVRAS-CHAVE: Cerâmicas. Compósitos. Zircônia. Hidroxiapatita.

SYNTHESIS OF ZIRCONIA-HYDROXIAPATITE CERAMIC NANOCOMPOSITE

ABSTRACT: With the advent of nanotechnology, several techniques have been applied in order to obtain ceramic powders with nanometric dimensions from chemical processes. The polymeric precursor method (MPP) consists of a chemical route to produce homogeneous ceramic powders and involves low cost steps, which allow better stoichiometric control and lower synthesis temperature. Thus, the aim of this study was to obtain zirconia-hydroxyapatite composite from the chemical methodology by MPP and to characterize the physical-chemical properties of the composites for dental applications. In the synthesis stage, powders were prepared from zirconia (ZrO_2) and hydroxyapatite (HA) ceramics. Synthesis of the Zirconia / Hydroxyapatite composite was performed by mixing the ceramic powders in the ratio of 50% ZrO_2 and 50% HA. The resulting composite was characterized for the formation of crystalline phases and determination of the crystallite size by means of XRD analyzes, as well as morphology analyzes by SEM. The crystallite size for the ZrO_2 / HA composite calculated from the XRD diffractogram confirmed the nanometric size (39.32 nm) of the grains. The characterizations of the composite allowed to prove the potential of the methodology used in order to prepare the composite with properties comparable to those described by other synthesis processes.

KEYWORDS: Ceramics. Composites. Zirconia. Hydroxyapatite.

1 . INTRODUÇÃO

As cerâmicas dentárias, com uma série de características intrínsecas desejáveis, como biocompatibilidade, alta resistência à compressão, estabilidade de cor, radiopacidade, condutibilidade térmica semelhante aos tecidos dentais, estabilidade química e excelente potencial para simular a aparência dos dentes naturais, apresentam-se como um dos principais materiais na ciência e arte da reconstrução dentária (HENRIQUES et al., 2008). Além disso, estes materiais retêm menos biofilme e apresentam boa resistência à abrasão (REGO et al., 1997). O potencial estético e a biocompatibilidade das cerâmicas podem ser considerados únicos, dentre os materiais restauradores odontológicos (HOLLWEG, 1998).

O desenvolvimento de tecnologias em Materiais Dentários tem conduzido à aplicação de biocerâmicas baseadas em zircônia, ZrO_2 , como um material protético, devido às suas excelentes propriedades mecânicas (GUAZZATO et al., 2004) excelente biocompatibilidade, elevada dureza e propriedades estéticas superiores (MONACO et al., 2015). Por outro lado, a hidroxiapatita, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, é um dos materiais mais biocompatíveis com ossos humanos e dentes, mas as suas propriedades mecânicas são insuficientes para a constituição de tecidos duros (ZHOU et al., 2015). Estudos recentes têm demonstrado que esta cerâmica pode ser endurecida por meio da dispersão de partículas de zircônia, devido a mecanismos de endurecimento por transformação de fase e prevenção de microfissuras e/ou fissuras (BRZEZIŃSKA-MIECZNIK et al., 2016; YU et al., 2015).

Com o advento da nanotecnologia, diversas técnicas têm sido aplicadas a fim de obter pós cerâmicos com dimensões nanométricas a partir de processos químicos. O método dos precursores poliméricos (MPP) (MARTINS et al., 2014) consiste em uma rota química para produzir pós cerâmicos homogêneos e envolve etapas de baixo custo, que permitem melhor controle estequiométrico e menor temperatura de síntese.

Assim, a proposta deste estudo foi obter compósitos ultrafinos de zircônia-hidroxiapatita a partir da metodologia química pelo MPP e caracterizar as propriedades físico-químicas dos compósitos visando futuras aplicações odontológicas.

2 . MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparo da solução estoque de zircônio

A solução de zircônio foi preparada por intermédio do MPP. Butóxido de zircônio em butanol, $Zr(OC_4H_9)_4$ (Aldrich) foi adicionado, sob agitação, a etilenoglicol, $C_2H_6O_2$ (Synth), pré-aquecido a $60^\circ C$. Foi obtida uma solução homogênea cuja temperatura foi elevada até $90^\circ C$. Em seguida, ácido cítrico anidro, $C_6H_8O_7$ (Synth), foi adicionado aos poucos. Foi verificada a formação de precipitado branco de citrato de zircônio. A agitação e o aquecimento foram mantidos até a completa dissolução do precipitado.

Após preparada, a solução estoque de zircônio foi padronizada utilizando a técnica gravimétrica. Partiu-se de uma massa conhecida de solução estoque que foi colocada em um cadinho de alumina pré-tarado. A solução foi calcinada a $800^\circ C$ por 3 h para obtenção do ZrO_2 . Os resíduos do óxido foram pesados a fim de se calcular a concentração de metal por grama de solução. A padronização foi realizada em triplicata.

2.2 Obtenção do pó de ZrO_2

Parte da solução precursora de zircônio foi mantida sob aquecimento para volatilização parcial dos solventes. Assim, foi obtida uma resina polimérica de alta viscosidade e, em seguida, foi realizado o tratamento térmico em forno mufla a 350°C por 3 h.

2.3 Preparo da solução estoque de hidroxiapatita

A solução estoque de HA também foi preparada por intermédio do MPP.

Na síntese da solução foram utilizados como reagentes precursores nitrato de cálcio, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Dinâmica), e ácido fosfórico, H_3PO_4 (Neon Comercial), estabelecendo a relação estequiométrica $\text{Ca}:\text{P} = 1,67$. O nitrato de cálcio tetrahidratado foi pesado em frasco de vidro e solubilizado em água destilada sob agitação constante à temperatura ambiente. Em seguida, foi adicionada a massa correspondente de ácido fosfórico, a fim de obter a estequiometria desejada, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Foi obtida uma solução homogênea cuja temperatura foi elevada até 60°C . Em seguida, o ácido cítrico anidro, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ (Synth), foi adicionado aos poucos. A agitação e o aquecimento foram mantidos por 1 h para garantir a dissolução do ácido cítrico e complexação dos metais. Finalmente, a temperatura foi elevada até 90°C para adição do etilenoglicol, $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ (Synth). A agitação e o aquecimento foram mantidos por 1 h para promover a reação de esterificação, sendo obtida uma solução totalmente límpida.

A solução estoque de HA foi padronizada por gravimetria nas mesmas condições descritas para a solução de ZrO_2 .

2.4 Obtenção do pó de HA

Parte da solução estoque de HA foi mantida sob aquecimento para volatilização parcial dos solventes e, em seguida, tratada termicamente a 350°C por 3 h em forno mufla.

2.5 Síntese do compósito ZrO_2/HA

A síntese do compósito foi realizada mediante a mistura dos pós cerâmicos obtidos do aquecimento a 350°C por 3 h na proporção de 50% de ZrO_2 e 50% de HA em peso. Os pós previamente sintetizados foram misturados mecanicamente em um almofariz com auxílio de um pistilo e levados para tratamento térmico em forno mufla a 600°C por 3 h. O compósito resultante foi caracterizado quanto à formação de fases cristalinas por meio de análises de difração de raios X (DRX), determinação do tamanho de cristalito, assim como análises de morfologia por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

2.6 Caracterizações

As análises de DRX foram realizadas em um difratômetro de raios X Rigaku DMAX Ultima+ (Faculdade de Ciências – UNESP/Bauru). As condições experimentais foram: intervalo de 10° a 80° com incremento $\Delta 2\theta = 0,02^\circ$, velocidade de varredura de $2^\circ/\text{min}$, radiação de $\text{CuK}\alpha$, comprimento de onda $1,54 \text{ \AA}$, potência 40 kV , 20 mA . A análise qualitativa das fases foi realizada usando os bancos de dados do *Joint Committee on Powder Diffraction – International Center for Diffraction Data (JCPDS–ICDD)*. O tamanho médio de cristalito foi determinado a partir dos dados de DRX usando a equação de Scherrer (ZSIGMONDY & SCHERRER, 1912).

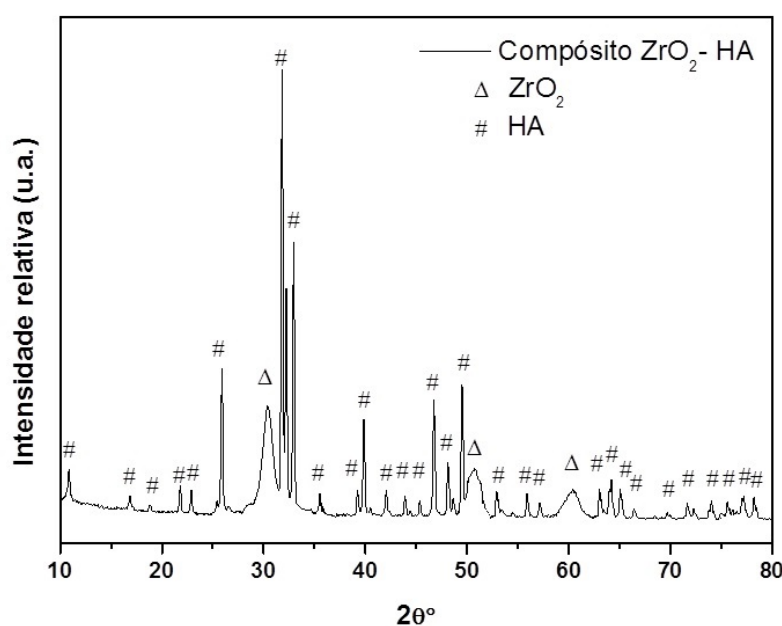
Para as análises de MEV, a morfologia do compósito foi avaliada utilizando-se elétrons secundários, por meio de um microscópio eletrônico de varredura Zeiss modelo EVO LS15 (Faculdade de Ciências – UNESP/Bauru).

3 . RESULTADOS E DISCUSSÃO

O compósito ZrO_2/HA obtido pela mistura dos pós cerâmicos na proporção de 50% de ZrO_2 e 50% de HA foi caracterizado quanto à estrutura cristalina por meio de análises de difração de raios X.

Para a amostra estudada, a caracterização por DRX (Figura 1) possibilitou acompanhar a evolução e identificação das fases formadas. O difratograma indica a coexistência de picos referentes à zircônia tetragonal e hidroxiapatita hexagonal. Além destes, nenhum outro pico referente a uma nova fase cristalina formada foi observado. Portanto, a presença dos picos individuais de ZrO_2 e HA demonstra que nenhuma reação química ocorreu entre as duas biocerâmicas.

Figura 1- Padrão de difração de raios X do compósito ZrO_2/HA .



Fonte: Elaborada pelos autores.

Resultados semelhantes foram obtidos por Gerlegy e colaboradores (GERGELY et al., 2013) em compósitos ZrO₂/HA preparados a partir da mistura mecânica de 60 mol% de HA e 40 mol% de ZrO₂, e tratados termicamente a 825°C. O padrão de DRX para esta composição indicou a presença de picos referentes à fase HA (JCPDS-PDF74-0565) e ZrO₂ (JCPDS-PDF01-089-9069). Porém, além destas duas fases cristalinas picos adicionais referentes à fase CaCO₃ foram identificados.

Por outro lado, do estudo realizado por Matsumoto e colaboradores (MATSUMOTO et al., 2011) em compósito com razão em mol% ZrO₂/HA = 70/30 sinterizado a 1500°C por 5h, os resultados de DRX indicaram a presença das fases zircônia monoclínica, zircônia tetragonal, α-TCP e β-TCP, bem como CaZrO₃. É evidente que a presença de CaZrO₃ indica a reação química entre as biocerâmicas de ZrO₂ e HA favorecida pela elevada temperatura de sinterização.

Dessa forma, verificou-se que o compósito sintetizado no presente estudo a partir do MPP apresentou resultados satisfatórios quanto à estrutura cristalina. Os resultados demonstram a possível interação química entre as biocerâmicas do compósito uma vez que o tratamento térmico seja realizado em temperaturas mais elevadas.

A partir do difratograma do compósito ZrO₂/HA foi possível quantificar o tamanho dos cristalitos aplicando a Equação de Scherrer, descrita pela Equação 1, e que considera as medidas da largura média dos picos de difração:

$$d_{hkl} = \frac{k\lambda}{\beta_{hkl}\cos\theta_{hkl}} \quad (1)$$

Na equação acima d é o diâmetro médio do cristalito, k é a constante de proporcionalidade que depende da forma das partículas, assumida como sendo esférica (0,9), λ é o comprimento de onda da radiação do Cu (1,5406 Å), β é a largura à meia altura do pico de difração (rad) e θ o ângulo em graus correspondente ao mesmo pico utilizado para β.

O pico em 2θ = 31,8° que corresponde ao plano (211) da fase hexagonal de HA foi usado para os cálculos, por ser o pico de maior intensidade. A Tabela 1 apresenta os valores de β e θ, bem como o valor de diâmetro médio do cristalito, d, calculado a partir da Equação de Scherrer para o sistema estudado.

Tabela 1- Tamanho de cristalito para o compósito ZrO₂/HA.

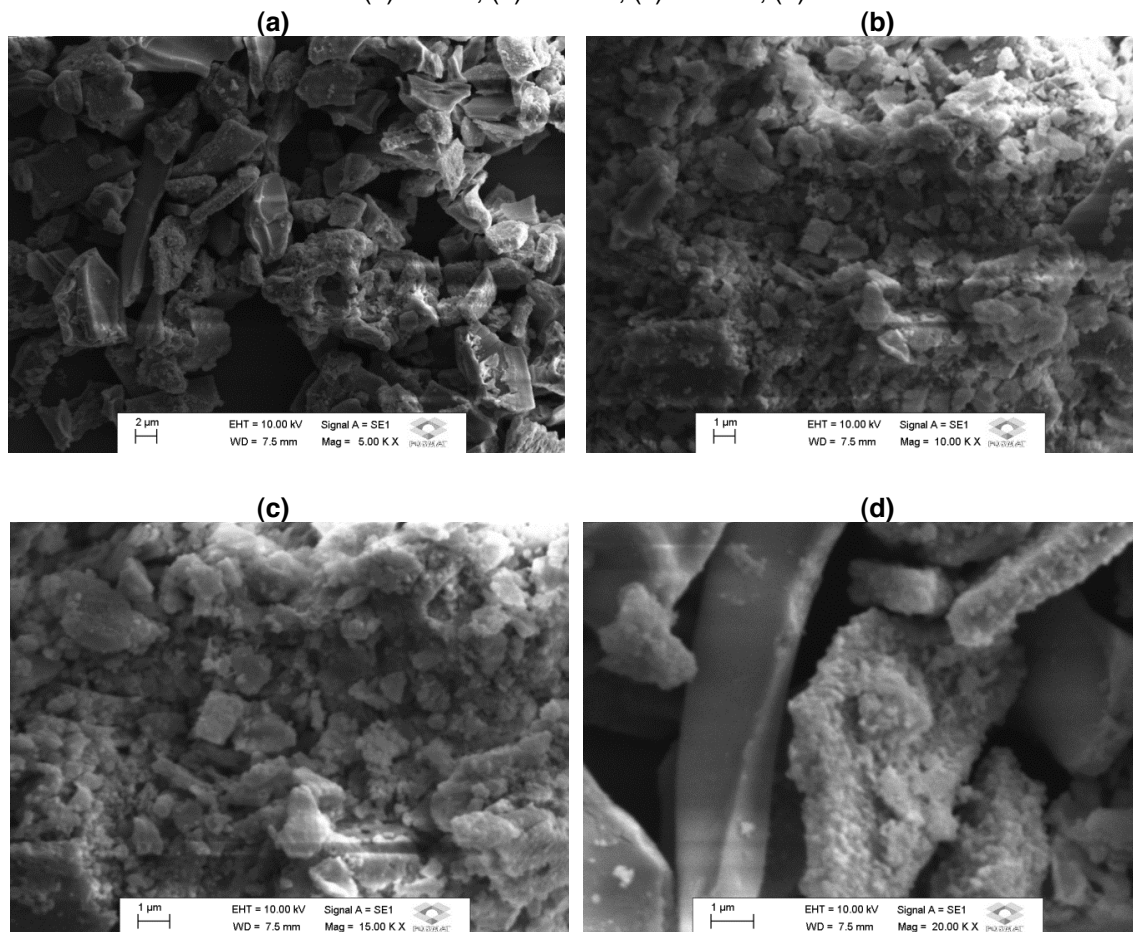
Amostra	ZrO ₂ /HA
β (rad)	0,00366519142
θ (°)	15,87
d (nm)	39,32

Fonte: Elaborada pelos autores.

Assim, diante do exposto na Tabela 1 pode-se verificar que o sistema estudado apresenta tamanho de cristalito da ordem de nanômetros.

O compósito de Zircônia/Hidroxiapatita foi também caracterizado quanto à morfologia por meio de análises de microscopia eletrônica de varredura. A Figura 2 ilustra as caracterizações morfológicas por MEV, em diferentes aumentos, para o compósito ZrO_2/HA .

Figura 2- Caracterizações morfológicas por MEV em diferentes aumentos para o compósito de ZrO_2/HA : (a) 5000x; (b) 10000x; (c) 15000x; (d) 20000x.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Nas quatro imagens da Figura 2 observa-se que o compósito apresenta uma morfologia de aglomerados micrométricos, possivelmente referentes às partículas de HA, sobre os quais estão depositadas partículas nanométricas da cerâmica de ZrO_2 (região em destaque da Figura 2d).

Resultados semelhantes foram descritos por Gerlegy e colaboradores (GERGELY et al., 2013). As análises de MEV da morfologia dos compósitos com composição 60 mol% de HA e 40 mol% de ZrO_2 , e tratados termicamente a $825^\circ C$ revelaram uma estrutura composta por hastes hexagonais de HA com dimensões entre 100-1000 nm e grãos pequenos e uniformes de ZrO_2 .

Uma vez mais foi verificado que o compósito de ZrO_2/HA preparado neste estudo e baseado em uma rota química que apresentou propriedades morfológicas totalmente comparáveis às descritas por meio de outros processos de síntese descritos na literatura.

4 . CONCLUSÕES

Da caracterização do compósito por DRX constatou-se a cristalização da fase tetragonal de zircônia dispersa em uma matriz hexagonal de hidroxiapatita. O tamanho de cristalito determinado foi de 39,32 nm. A caracterização morfológica do compósito revelou uma estrutura de aglomerados micrométricos, possivelmente referentes às partículas de HA, sobre os quais estão depositadas partículas nanométricas da cerâmica de ZrO_2 .

Da análise dos dados obtidos pode-se concluir que a metodologia de síntese baseada no método de precursores poliméricos possibilitou preparar com êxito nanopartículas do compósito zircônia-hidroxiapatita.

AGRADECIMENTOS

Este estudo teve apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e Fundação Nacional de Desenvolvimento do Ensino Superior Particular (FUNADESP). Os autores também agradecem aos Professores Dayse Iara dos Santos e Luís A. Sousa Marques da Rocha da Faculdade de Ciências – UNESP/Bauru, pelo suporte nas análises de DRX e MEV, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- BRZEZIŃSKA-MIECZNIK, J.; HABERKO, K.; SITARZ, M.; BUĆKO, M. M.; MACHERZYŃSKA, B.; LACH, R. **Natural and synthetic hydroxyapatite/zirconia composites: A comparative study**. *Ceramics International*, v. 42, p. 11126-11135, 2016.
- GERGELY, G.; SAHIN, F. C.; GÖLLER, G.; YÜCEL, O.; BALÁZSI, C. **Microstructural and mechanical investigation of hydroxyapatite-zirconia nanocomposites prepared by spark plasma sintering**. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 33, p. 2313–2319, 2013.
- GUZZATO, M.; ALBAKRY, M., RINGER, S. P.; SWAIN, M. V. **Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Dental Materials**, v. 20, p. 449-456, 2004.
- HENRIQUES, A. C. G.; COSTA, D. P. T. S.; BARROS, K. M. A.; BEATRICE, L. C. S.; MENEZES FILHO, P. F. **Cerâmicas odontológicas: aspectos atuais, propriedades e indicações**. *Odontologia Clínica Científica*, v. 7, n. 4, p. 289-294, 2008.
- HOLLWEG, H. **Sistema InCeram: uma alternativa para a otimização estética em prótese dentária**. *Odonto Pope*, v. 2, n. 2, p. 379-89, 1998.
- MARTINS, M. L.; FLORENTINO, A. O.; CAVALHEIRO, A. A.; SILVA, R. I. V., SANTOS, D., SAEKI, M. J. **Mechanisms of phase formation along the synthesis of Mn-Zn ferrites by polymeric precursor method**. *Ceramics International*, v. 40, p. 16023-16031, 2014.
- MATSUMOTO, T. J.; AN, S.H.; ISHIMOTO, T.; NAKANO, T.; MATSUMOTO, T.; IMAZATO, S. **Zirconia-hydroxyapatite composite material with micro porous structure**. *Dental Materials*, v. 27, p. e205–e212, 2011.

MONACO, C.; PRETE, F.; LEONELLI, C.; ESPOSITO, L.; TUCCI, A. **Microstructural study of microwave sintered zirconia for dental applications.** *Ceramics International*, v. 41, p. 1255-1261, 2015.

REGO, M. A.; SILVA, R. C.; ARAÚJO, M. A. **Restaurações de porcelana “inlay-onlay” - caso clínico.** *Jornal Brasileiro de Odontologia Clínica*, v. 1, p. 45-49, 1997.

YU, W.; WANG, X.; ZHAO, J.; TANG, Q.; WANG, M.; NING, X. **Preparation and mechanical properties of reinforced hydroxyapatite bone cement with nano-ZrO₂.** *Ceramics International*, v. 41, p. 10600-10606, 2015.

ZHOU, C.; DENG, C.; CHEN, X.; ZHAO, X.; CHEN, Y.; FAN, Y.; ZHANG, X. **Mechanical and biological properties of the micro-/nano grain functionally graded hydroxyapatite bioceramics for bone tissue engineering.** *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, v. 48, p. 1-11, 2015.

ZSIGMONDY, R.; SCHERRER, P. **Bestimmung der inneren Struktur und der Größe von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen.** *Kolloidchemie Ein Lehrbuch*, v. 277, p. 387-409, 1912.

SOBRE O ORGANIZADOR

Professor Doutor **MARCOS AUGUSTO DE LIMA NOBRE**: Graduado em Licenciatura Plena em Física (1993), Mestre em Química (subárea Físico-química) (1995) e Doutor em Ciências (subárea Físico-química) (1999), Universidade Federal de São Carlos-UFSCar. Pós-Doutor pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2000), Departamento de Metalurgia e Engenharia de Materiais. Bolsista do programa Jovem Pesquisador em Centros Emergentes JP-FAPESP (2002-2006). Professor Assistente Doutor, concurso RDIDP: MS-3.1 em 2006, nível atual MS-3.2, com mais de 4000 horas/aula ministradas (2003-atual), e Pesquisador da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, FCT, Departamento de Física (2006); orienta 1 Doutorado. Fundador (2002) e Coordenador do Laboratório de Compósitos e Cerâmicas Funcionais - LaCCeF, Grupo de Compósitos e Cerâmicas Funcionais, certificado PROPE-UNESP/CNPq. Membro permanente (2010-atual) e Orientador de M/D do Programa de Pós-Graduação em Química, IBILCE/UNESP-SP, com mais de 2600 horas/aula ministradas (2010-atual). Bolsista de Produtividade em Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Pesquisador PQ-2 CNPq CA: QU (Química), 2010-2012. Bolsista de Produtividade em Pesquisa, pesquisador PQ-2 CNPq/CA: QU (Química), 2019-2021. Editor Associado do Micro & Nano Letters IET (2019-atual). Membro do Conselho Editorial da Editora Artemis (2020-atual). Recebeu mais de 75 Prêmios e Honrarias. Publication-Ethical Editor do Applied Mathematical Sciences -m-Hikari Ltd Ruse Bulgary (2015-presente); Membro do corpo Editorial do MAYFEB Journal of Materials Science, Toronto-Ontario Canada (2016-presente) e Modern Research in Catalysis, Irvine-CA, USA (2017-presente). Possui 02 Patentes. Publicou 80 artigos, em 40 periódicos diferentes, indexados e indexados no sistema QUALIS/CAPES, de editoras: IET, IEEE, MDPI, North-Holand, Royal Society of Chemistry (RSC), Academic Press Inc./ Els. Sci - USA, American Ceramic Society - USA, American Institute of Physics - USA, American Scientific Publishers - USA, Chapman & Hall, IOP Publishing Ltd - UK, Kluwer Academic Publishers - Netherlands, WILEY (John Wiley & Sons), Pergamon/Els. Sci. Ltd - UK e Springer - USA, outras. Atua como Referee em 30 periódicos distintos. Conta com 76 artigos indexados no ex-sistema Research ID, atual Publons, 47 deles com 1292 citações, Fator de Impacto H INDEX = 22 e 96 revisões, em 08/10/2020. Publicou mais de 580 trabalhos em Congressos, sendo mais de 150, trabalhos completos em anais. É autor/coautor de 2 livros e 17 outros capítulos envolvendo divulgação de Ciências e Ensino de Física e Química sendo a estratégia principal a divulgação de Nanociência, Nanotecnologia e Nanobiotecnologia, 28 produtos tecnológicos e três processos ou técnicas. Tem experiência na área de Processamento Avançado de Materiais Cerâmicos: Matérias primas, cerâmicas vermelha, estruturais e avançadas, Física dos Materiais Dielétricos Lineares, não Lineares, Química do Estado Sólido: Difração de Raios X, Espectroscopia de Impedância e Infravermelho FTIR, Transições de fase: Estruturais e não estruturais. Interações Moleculares em Biocombustíveis. Atua nos temas: Síntese Novos-Materiais e Química de Nanopartículas aplicada ao desenvolvimento de: ferroelétricos, catalisadores e fotocatalisadores. Caracterização de eletrocerâmicas em altas temperaturas com ênfase em fenômenos de contorno de grão e interfaces, Caracterização dielétrica e térmica (condutividade e resistividade térmica): nanopartículas, nanofluidos e blendas biocombustíveis à base de biodiesel e aditivos anti-congelantes. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4843-3975>; <http://lattes.cnpq.br/7201928600704530>

ÍNDICE REMISSIVO

B

Biodiesel 41, 42, 47, 48, 49, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 80

Blendas 48, 54, 55, 56, 57, 80

Blends 48, 49, 58

C

Cerâmica de $\text{KSr}_2\text{Nb}_5\text{O}_{15}$ 59, 60, 65, 67

Ciências da Saúde 29

Clay 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27

Clay minerals 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27

D

Diesel 41, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58

Distance Education 28, 30, 31, 39

E

Educação a Distância 29, 39

Estratégias Metodológicas 29

G

Graphite nanostructures 49

H

Half-Heusler 1, 10

Health Sciences 28, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 38, 39

High energy ball milling 1, 2, 3

Hollow nanoparticles 40

I

Intermetálico 1

Intermetallic 1, 2

K

$\text{KSr}_2\text{Nb}_5\text{O}_{15}$ ceramic 59

M

Mechanical alloying 1, 4, 9, 10

Methodological Strategies 28

Moagem de alta energia 1
Montmorillonite - nontronite species 12, 82

N

Nanociência e Nanotecnologia 29
Nanoestruturas 40, 48, 56, 57, 59
Nanoestruturas de grafite 48
Nanograins 59
Nanogrão 59, 66
Nanopartículas nanoestruturadas 40
Nanopartículas ocas 40
Nanoscience and Nanotechnology 28, 30, 31, 32, 33, 38, 39
Nanostructured nanoparticles 40
Nanostructures 10, 40, 47, 48, 49, 59
Nanotechnology 27, 28, 30, 31, 32, 33, 38, 39, 40, 48, 59, 72
Nanotecnologia 29, 40, 46, 48, 49, 59, 71, 73, 80

S

SEM images 11, 12, 23, 24

T

TErmoelétrico 1
Thermal analysis 11, 12, 14, 19, 20
Thermoelectric 1, 2, 5, 10
Thixotropic behavior 12, 23

V

Viscosidade 48, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 74
Viscosity 21, 22, 26, 48, 49, 57, 58