CAPÍTULO 1

OBTENÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE BETA FOSFATO TRICÁLCICO (β-TCP) POR DIFERENTES ROTAS: SÍNTESE VERDE E QUÍMICA.

Rebeca Alana Barros Brasileiro[1];

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba

http://lattes.cnpq.br/3969128938979474

Cauan Pablo Campos Lira[2];

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba

http://lattes.cnpq.br/9323865762071627

Érica Karine Alves de Lima[3];

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, São Paulo.

http://lattes.cnpq.br/8186490901865658

José Rosa de Souza Farias[4];

Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, Piauí

http://lattes.cnpq.br/9404467330103347

Veruska do Nascimento Simões[5];

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba

http://lattes.cnpq.br/1149592827133122

Valdeci Bosco dos Santos[6];

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

http://lattes.cnpq.br/2429557575387821

Aluska do Nascimento Simões Braga[7].

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba

http://lattes.cnpq.br/2429557575387821

RESUMO: O beta fosfato tricálcico (β-TCP) é uma biocerâmica amplamente estudada devido à sua excelente biocompatibilidade, osteocondutividade e potencial na regeneração óssea. Este trabalho teve como objetivo sintetizar β-TCP nanométrico por uma rota verde utilizando extrato de Aloe vera e por uma rota química convencional (método Pechini), realizando uma análise comparativa de suas características estruturais e morfológicas. As amostras foram calcinadas a 800 °C por 1 hora e caracterizadas por difração de raios X

(DRX), espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados de DRX confirmaram a formação de β-TCP em ambas as rotas, embora a rota verde também tenha gerado pirofosfato de cálcio. O FTIR evidenciou bandas características do grupo fosfato (PO_4^{3-}). A MEV revelou morfologias distintas entre as amostras. Ambas as rotas foram eficazes, apresentando diferenças estruturais e morfológicas.

PALAVRAS-CHAVE: Síntese Verde. *Aloe Vera*. β-TCP.

SYNTHESIS OF BETA TRICALCIUM PHOSPHATE (B-TCP) NANOPARTICLES VIA DIFFERENT ROUTES: GREEN AND CHEMICAL METHODS

ABSTRACT: Beta tricalcium phosphate (β-TCP) is a bioceramic widely studied for its excellent biocompatibility, osteoconductivity, and potential in bone regeneration. This study aimed to synthesize nanometric β-TCP via a green route using *Aloe vera* extract and a conventional chemical route (Pechini method), followed by a comparative analysis of their structural and morphological characteristics. The samples were calcined at 800 °C for 1 hour and characterized by X-ray diffraction (XRD), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and scanning electron microscopy (SEM). XRD results confirmed the formation of β-TCP in both methods, although the green route also produced calcium pyrophosphate. FTIR spectra showed characteristic phosphate group (PO_4^{3-}) bands in all samples. SEM analysis revealed distinct morphologies depending on the synthesis route. Both methods were effective for β-TCP synthesis, but differences in structural and morphological properties were observed.

KEY-WORDS: Green Synthesis. *Aloe vera*. β-TCP

INTRODUÇÃO

A engenharia tecidual tem se destacado na busca por recursos e rotas tecnológicas que ofereçam suporte à saúde humana, com o objetivo de minimizar danos causados pela perda ou falha de tecidos e órgãos, por meio da mimetização do microambiente fisiológico. Nesse contexto, o desenvolvimento de novos materiais substitutos ósseos, que apresentem osteocondutividade, funcionalidade biológica e propriedades mecânicas aprimoradas, torna-se altamente relevante.

Atualmente, as biocerâmicas à base de fosfatos de cálcio, como a hidroxiapatita (HAp) e o beta fosfato tricálcico (β-TCP), estão entre os materiais mais utilizados na engenharia tecidual e na regeneração óssea, devido à sua semelhança química com a fase inorgânica do osso, além de apresentarem elevada biocompatibilidade e osteocondutividade (Hossen *et al*., 2025). Entretanto, a HAp possui limitações associadas à sua baixa taxa de degradação

e às propriedades mecânicas insatisfatórias, o que restringe parte de suas aplicações (Jang *et al*., 2024; Liang *et al*., 2024).

Nas últimas décadas, diversas rotas químicas de síntese foram desenvolvidas para a obtenção dessas biocerâmicas (Alam *et al*., 2024). Dentre elas, destacam-se o método Pechini, uma rota derivada do processo sol-gel. Essa técnica baseia-se na formação de uma resina polimérica produzida pela poliesterificação entre um complexo metálico quelatado usando ácidos hidroxicarboxílicos e um álcool polihidróxi. O aquecimento dessa mistura resulta em uma resina polimérica homogênea que, após calcinação, origina óxidos cerâmicos com elevada pureza e alta homogeneidade composicional. O intermediário polimérico formado é constituído por uma rede tridimensional de complexos metal–orgânicos interligados por ligações de oxigênio, o que favorece a distribuição uniforme das espécies precursoras e a formação de fases cristalinas bem definidas (Nguyen *et al*., 2019). O método Pechini apresenta vantagens significativas, como controle do tamanho de grãos, homogeneidade química em escala atômica e menor temperatura de processamento, quando comparado a outras rotas convencionais (Alhaji *et al*., 2017).

Paralelamente às rotas convencionais de síntese, tem crescido o interesse por métodos baseados nos princípios da química verde, visando reduzir impactos ambientais, consumo energético e utilização de reagentes tóxicos durante a obtenção de biomateriais. As chamadas rotas de síntese verde empregam frequentemente extratos vegetais, resíduos biológicos, solventes menos agressivos e condições brandas de processamento, permitindo a produção de nanopartículas de fosfatos de cálcio com elevada biocompatibilidade e propriedades físico-químicas adequadas para aplicações biomédicas (Osman *et al*., 2024; Kharissova *et al*., 2024; Oladele *et al*., 2024). Além disso, essas abordagens podem favorecer o controle morfológico e a estabilidade das partículas devido à ação de compostos naturais como agentes redutores, quelantes ou estabilizantes (Alam *et al*., 2024). Estudos recentes demonstram que a síntese verde de fosfatos de cálcio e nanocompósitos bioativos apresenta potencial significativo para aplicações em regeneração óssea, engenharia tecidual e liberação controlada de fármacos, associando sustentabilidade ambiental e desempenho biológico aprimorado (Silveira *et al*., 2024).

A síntese verde mais popular para obtenção de nanopartículas é o método mediado por extrato vegetal (Baladi *et al*., 2023; Xiao *et al*., 2024; Naik *et al*., 2024; Wellia *et al*., 2024), pois leva a uma formação bem-sucedida de nanopartículas com menos tempo e recursos, resultando em um ambiente de síntese estável. Dentre as diversas espécies de plantas, a *Aloe vera*, uma planta medicinal bem conhecida, demonstrou notáveis capacidades de síntese verde. As propriedades antibacterianas, antifúngicas, antioxidantes, antinflamatórias e anticancerígenas inerentes da *Aloe vera*, atribuído à sua rica composição fitoquímica, a torna uma candidata ideal para a síntese controlada de nanopartículas (Rashid *et al*., 2024; Jose *et al*., 2021).

Porém, não foram encontrados estudos na literatura utilizando extrato de aloe vera para obtenção do β-TCP, e o método Pechini, também é pouquíssimo relatado na literatura para obtenção do β-TCP (Pena e Vallet-Regı, 2003).

Neste sentido, este trabalho tem por objetivo a síntese de β-TCP nanométrico pelo método da síntese verde usando extrato de *Aloe Vera*, e por uma rota química através do método Pechini, visando uma análise comparativa das características estruturais e morfológicas das amostras obtidas através das diferentes rotas de síntese.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os reagentes utilizados foram: água destilada, álcool etílico absoluto (99,5% P.A.), pó comercial de *Aloe vera*; ácido cítrico monoidratado, etileno glicol, nitrato de cálcio e fosfato de amônio dibásico.

A síntese do β-fosfato tricálcico (β-TCP) pelo método Pechini foi conduzida a partir da dissolução do ácido cítrico em 100 mL de água destilada a aproximadamente 70 °C, sob agitação magnética constante, adotando-se uma razão molar ácido cítrico/cátions metálicos (AC/CM) de 3:1. Após completa dissolução, os precursores nitrato de cálcio e fosfato de amônio dibásico foram adicionados de forma gradual, visando melhor homogeneização do sistema. Em seguida, foi adicionado o etilenoglicol como agente polimerizante, mantendo-se a agitação contínua. A temperatura foi elevada até cerca de 120 °C para promover as reações de esterificação e poliesterificação, resultando na formação de um gel polimérico homogêneo.

O gel obtido foi submetido a uma calcinação inicial a 400 °C por 1 hora, com taxa de aquecimento de 10 °C/min, para eliminação da matéria orgânica, formando um material poroso (puff). Esse material foi então desaglomerado em almofariz, peneirado em malha ABNT nº 200 (0,074 mm) e submetido à calcinação final a 800 °C por 1 hora, com taxa de aquecimento de 10 °C/min, visando a obtenção da fase cristalina β-TCP.

Para a rota de síntese verde, inicialmente foi preparado o extrato de *Aloe vera* pela dissolução de 20 g do pó em 100 ml de álcool etílico absoluto. A mistura foi submetida à extração em rotoevaporador a 60 °C e 120 rpm por 3 horas. Em seguida, o extrato obtido foi filtrado e armazenado para uso na síntese. Para obtenção do pó de b-TCP, o nitrato de cálcio foi dissolvido em água destilada (solução 1). Paralelamente, o fosfato de amônio dibásico foi dissolvido em uma mistura contendo o extrato alcóolico de Aloe vera e água destilada (solução 2), garantindo completa solubilização. Em seguida, as soluções foram combinadas sob agitação por aproximadamente 30 minutos, promovendo a formação de um sistema homogêneo. O material resultante foi seco em estufa a 60 °C por 48 horas, e posteriormente, foi realizada uma calcinação inicial a 200 °C por 2 horas para remoção de compostos orgânicos residuais. Após essa etapa, o material foi desaglomerado, peneirado (ABNT n° 300) e submetido à calcinação final a 800 °C por 1 hora. As amostras obtidas

foram nomeadas de β-TCP-800 e β-TCP-Verde 800, quando sintetizadas pelo método Pechini e por síntese verde, respectivamente.

As amostras foram caracterizadas por difração de raios X (DRX), para identificação das fases formadas, quantificação das fases, cristalinidade e tamanho de cristalito. O equipamento utilizado para essa análise foi o difratômetro de raios X modelo D2 PHASER da Bruker, com radiação kα do cobre e varredura de 10 a 60º. A interpretação foi efetuada por comparação com padrões JCPDS, 31 do International Centre for Diffraction (anteriormente conhecido como Joint Committee on Powder Diffraction Standards). A identificação e quantificação das fases foi realizada por meio do programa HighScore Plus. A cristalinidade foi determinada pela razão entre a área integrada referente à fase cristalina e a área total utilizando a Eq. (1) :

$$Xc(\%) = (\text{Área Cristalina}) / (\text{Área Total}) * 100 \quad (1)$$

O cálculo do tamanho de cristalito foi realizado a partir da deconvolução do pico de reflexão basal de maior intensidade conhecida como equação de Scherrer (Scherrer, 1918) utilizando a Eq. (2) :

$$D = (K.\lambda) / (\beta.\cos\theta) \quad (2)$$

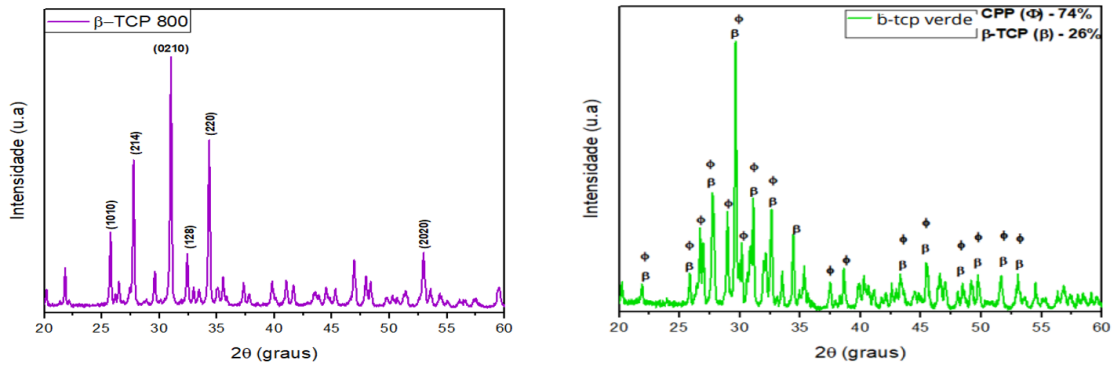
Na formulação, D corresponde ao tamanho médio do cristalito. K é uma constante que depende da configuração experimental utilizada e da geometria da amostra, que neste caso corresponde a 0,90. λ é o comprimento de onda da radiação incidente, que neste caso é 0,15 referente ao comprimento de onda do ânodo de cobre. β é a largura à meia altura dos picos de difração (FWHM – Largura Total à Meia Altura) e θ é o ângulo de difração do plano cristalino ou ângulo de Bragg.

Foram realizadas análises por espectrometria de infravermelho (FT-IR), usando um espectrômetro Bruker Vertex 70 ATR equipado com um módulo de refletância total atenuada (ATR), cobrindo a faixa espectral de 4000 a 400 cm^{-1}, com resolução de 4 cm^{-1} e 32 varreduras por espectro. Os aspectos morfológicos foram analisados por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) usando um equipamento Tescan VEGA3 SBH.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta os difratogramas de raios X das amostras obtidas pelo método Pechini (a) e por síntese verde (b), ambas calcinadas a 800 °C.

Figura 1. Difratogramas de raios X das amostras obtidas pelo método Pechini (a) e por síntese verde (b).



Os difratogramas de ambas as amostras exibem picos característicos da fase β-TCP, confirmando sua formação independentemente da rota de síntese. Os principais picos observados entre 2θ = 25° e 35° correspondem às reflexões típicas dessa fase cristalina, em concordância com o padrão JCPDS nº 09-0169 e para a determinação da fase pirofosfato foi usada a ficha de banco de dados da NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (U.S.), Monograph 25, 7, 95 (código referencial: 00-020-0024, para o pirofosfato)

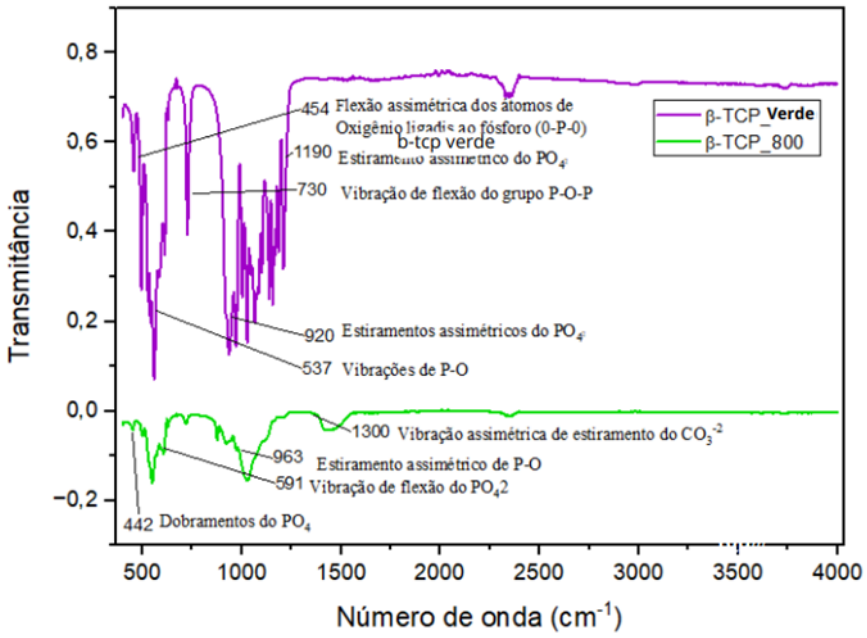
Porém, os difratogramas evidenciaram diferenças significativas entre as amostras sintetizadas por rota verde e pelo método Pechini. Na amostra β-TCP verde nota-se a formação de uma cerâmica bifásica, constituída de β-fosfato tricálcico (β-TCP) e pirofosfato de cálcio (CPP), sendo a fase predominante. A formação dessa fase de pirofosfato de cálcio pode estar relacionada ao desbalanceamento estequiométrico entre cálcio e fósforo, evidenciando que não ocorreu uma mistura homogênea entre os íons de forma tão eficiente, na síntese verde (Enderle *et al*., 2005). Outros estudos relatam a formação de compostos secundários, como o CPP, durante a síntese de β-TCP (Furko, 2025).

Por outro lado, a amostra β-TCP 800 sintetizada pelo método Pechini apresentou apenas picos característicos da fase β-TCP, indicando elevada pureza de fase e alta cristalinidade. Esse comportamento demonstra a eficiência do método Pechini na homogeneização dos íons precursores, favorecendo a formação de uma única fase cristalina após a calcinação.

Os resultados do tamanho de cristalito mostraram valores de 67,34 nm para a amostra β-TCP 800°C e 71,73 nm para a β-TCP-verde, confirmando o caráter nanométrico das partículas. O maior grau de cristalinidade foi observado na amostra sintetizada via Pechini, com 81%, indicando melhor organização estrutural quando comparada à rota verde, com 74% de cristalinidade.

A Figura 2 mostra os espectros infravermelhos (FTIR) das amostras sintetizadas pela rota verde e pela rota Pechini.

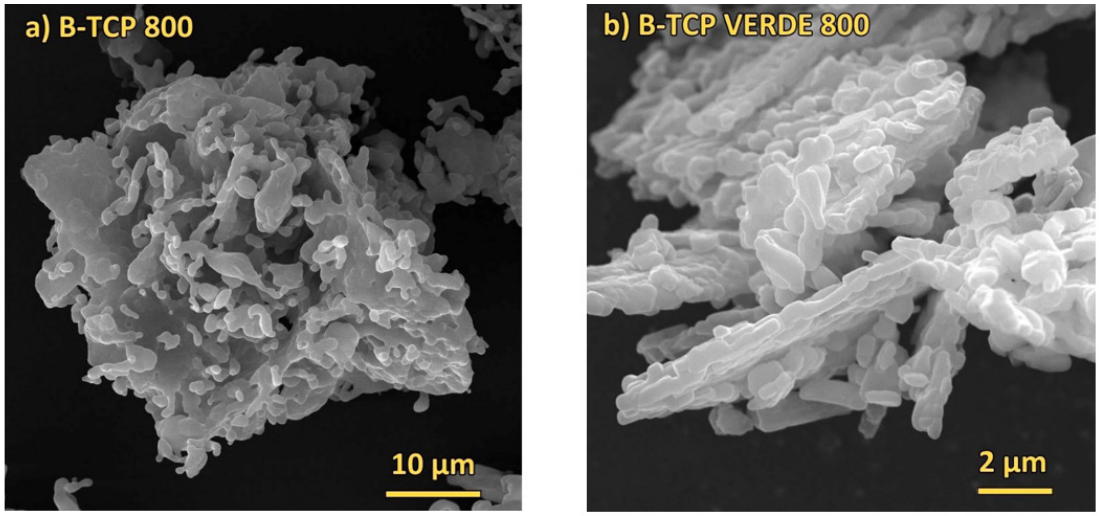
Figura 2. Espectros infravermelhos da amostra via Pechini (B-TCP-800) e pela rota verde (B-TCP-verde-800).



A análise por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) revelou a presença de bandas características dos grupos fosfato (PO_4^{3-}) em ambas as amostras, indicando a formação do β-fosfato tricálcico (β-TCP). De acordo com a literatura, o β-TCP apresenta bandas de estiramento (v_1 e v_3) na região de 900–1200 cm^{-1} e bandas de flexão (v_2 e v_4) entre 400–650 cm^{-1}, o que foi observado nos espectros analisados (Pereira *et al*., 2024). Na amostra obtida por síntese verde, foram identificadas bandas em aproximadamente 1190 e 920 cm^{-1}, atribuídas às vibrações de estiramento do grupo PO_4^{3-}. As bandas em ~537 e ~454 cm^{-1} correspondem às vibrações de flexão do grupo fosfato (O–P–O). Além disso, a presença de uma banda em torno de 730 cm^{-1}, associada a ligações P–O–P, indica a formação de pirofosfato de cálcio ($Ca_2P_2O_7$). Para a amostra sintetizada pelo método Pechini, observaram-se bandas em ~963 cm^{-1} (estiramento assimétrico P–O), ~591 cm^{-1} e ~442 cm^{-1} (modos de flexão do grupo fosfato), confirmando também a formação de β-TCP. No entanto, a presença de uma banda intensa em ~1300 cm^{-1}, atribuída ao estiramento assimétrico do grupo carbonato (CO_3^{2-}), indica incorporação de carbonatos na estrutura. Essa carbonatação pode estar relacionada à decomposição incompleta dos precursores orgânicos ou à absorção de CO_2 durante o tratamento térmico (Eknapakul *et al*., 2024). Dessa forma, os resultados de FTIR corroboram com os dados da difração de raios X (Figura 1).

A Figura 3 exibe as morfologias obtidas por microscopia eletrônica de varredura das amostras via Pechini (a) e síntese verde (b), com ampliação de 20 kx.

Figura 3. Microscopia eletrônica de varredura das amostras via Pechini (a) e via síntese verde (b), com ampliação de 20 kx.



A análise morfológica das amostras de β-fosfato tricálcico (β-TCP) calcinadas a 800 °C revelou diferenças significativas relacionadas ao método de síntese empregado. A amostra sintetizada pelo método Pechini (a) apresentou partículas mais aglomeradas e de formato irregular. Essas diferenças indicam que o método de síntese exerce influência direta sobre a morfologia do β-TCP, podendo afetar suas propriedades físico-químicas e biológicas em aplicações de regeneração óssea. Por outro lado, A amostra obtida por síntese verde (a) apresentou partículas alongadas com aspecto lamelar, organizadas na forma de placas sobrepostas.

CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que o β-fosfato tricálcico pode ser eficientemente obtido tanto pela rota tradicional (Pechini) quanto pela rota verde. Porém, na rota verde foi formada uma cerâmica bifásica, com B-TCP e pirofosfato de cálcio, enquanto pela rota Pechini o b-TCP foi obtido como fase única. Por ambos os métodos, as amostras apresentaram cristalitos na ordem de nanômetros e elevadas cristalinidades. A análise de FTIR confirmou a presença dos grupos fosfato característicos do β-TCP em ambas as amostras. O uso dos diferentes métodos influenciou na morfologia das amostras, onde a amostra verde formou partículas alongadas com aspecto lamelar, organizadas na forma de placas sobrepostas. Por outro lado, a amostra sintetizada pelo método Pechini apresentou partículas mais aglomeradas e de formato irregular

DECLARAÇÃO DE INTERESSES

Os autores do artigo declaram que não possuem conflitos de interesses de ordem financeira, comercial, política, acadêmica e pessoal.

REFERÊNCIAS

Alam, M. K.; Hossain, M. S.; Kawsar, M.; Bahadur, N. M.; Ahmed, S. Synthesis of nano-hydroxyapatite using emulsion, pyrolysis, combustion, and sonochemical methods and biogenic sources: a review. **RSC Advance**s, v. 14, p. 3548–3559, 2024.

Alhaji, A.; Razavi, R. S.; Ghasemi, A.; Loghman-Estarki, M. R. Modification of Pechini sol–gel process for the synthesis of MgO-Y2O3 composite nanopowder using sucrose-mediated technique. **Ceramics International**, v. 43, n. 2, p. 2541-2548, 2017.

Baladi, M.; Amiri, M.; Mohammadi, P.; Mahdi, K. S.; Golshani, Z.; Razavi, R.; Salavati-Niasari , M. Green sol–gel synthesis of hydroxyapatite nanoparticles using lemon extract as capping agent and investigation of its anticancer activity against human cancer cell lines (T98, and SHSY5). **Arabian Journal of Chemistry**, v. 16, 2023.

Eknapakul, T.; Jiamprasertboon, A.; Amonpattaratkit, P.; Pimsawat, A.; Daengsakul, S.; Tanapongpisit, N.; Saenrang, W.; Bootchanont, A.; Wannapraphai, P.; Phetrattanarangsi, T.; Boonchuduang, T.; Khamkongkaeo, A.; Yimnirun, R. Unraveling the structural complexity of and the effect of calcination temperature on calcium phosphates derived from Oreochromis niloticus bones. **Heliyon**, v. 10, n. 8, 2024.

Enderle, R.; Götz-Neunhoeffer, F.; Göbbels, M.; Müller, F. A.; Greil, P. Influence of magnesium doping on the phase transformation temperature of β-TCP ceramics examined by Rietveld refinement. **Biomaterials**, v. 26, n. 17, p. 3379-3384, 2005.

Furko, M. Bioglasses Versus Bioactive Calcium Phosphate Derivatives as Advanced Ceramics in Tissue Engineering: Comparative and Comprehensive Study, Current Trends, and Innovative Solutions. **Journal of Functional Biomaterials**, v. 16, 2025.

Galea, L.; Bohner, M.; Thuering, J.; Doebelin, N.; Ring, T. A.; Aneziris, C. G.; Graule, T. Growth kinetics of hexagonal sub-micrometric β-tricalcium phosphate particles in ethylene glycol. **Acta Biomaterialia**, v. 10, n. 9, p. 3922-3930, 2014.

Hossen, S. M. M.; Khaleque, M. A.; Lim, M.; Kang, J.; Kim, D.; Lee, W.; Kim, Y. Biomimetic Strategies for Bone Regeneration: Smart *Scaffolds* and Multiscale Cues. **Biomimetics**, v. 11, 2026.

Jang, W. Y.; Pyun, J. C.; Chang, J. H. Comparative In Vitro Dissolution Assessment of Calcined and Uncalcined Hydroxyapatite Using Differences in Bioresorbability and Biomineralization. **Molecular Sciences**, v. 25, 2024.

Jose, L. M.; Raj, R. S. A.; Sajan, D.; Aravind, A. Adsorption and photocatalytic activity of biosynthesised ZnO nanoparticles using Aloe Vera leaf extract. **Nano Express**, v. 2, n. 1, 2021.

Kharissova, O. V.; Nikolaev, A. L.; Kharisov, B. I.; Dorozhkin, S. V.; López, I.; Méndez, Y. P.; Fuente, I. G. Enzymatic synthesis of calcium phosphates: A review. **Nano-Structures & Nano-Objects**, v. 39, n. 101214, 2024.

Liang, Q.; Dong, J.; Ren, J.; Xiao, C.; Deng, C. Intensified cross-linking dramatically improved the mechanical properties of hydroxyapatite and cellulose composites for repairing bone segmental defects. **Materials Advances**, v. 5, p. 2556–2569, 2024.

Naik, R.; Kumar, A. N.; Naik, Y. V.; Basavaraju, N.; Reddy, G. V. A.; Nagaswarupa, H. P.; Al-Asbahi, B. A.; Roy, N.; Joo, S. W. Green combustion synthesis of multifunctional inorganic ZnO: Co2+ (1–11 mol%) nanoparticles: Electrochemical and photocatalytic applications. **Inorganica Chimica Acta**, v. 563, 2024.

Nguyen, D. K.; Bach, Q.; Kim, B.; Lee, H.; Kang, C.; Kim, I. Synthesis of Cr-doped Al2O3 by Pechini sol-gel method and its application for reversible thermochromic sensors. **Materials Chemistry and Physics**, v. 223, p.708-714, 2019.

Oladele, I. O.; Adekola, S. A.; Agbeboh, N. I.; Isola-Makinde, B. A.; Adewuyi, B. O. Synthesis and Application of Sustainable Tricalcium Phosphate Based Biomaterials From Agro-Based Materials: A Review. **Biomedical Engineering and Computational Biology**, v. 15, 2024.

Osman, A. I.; Zhang, Y.; Farghali, M.; Rashwan, A. K.; Eltaweil, A. S.; Abd El-Monaem, E. M.; Mohamed, I. M. A.; Badr, M. M.; Ihara, I.; Rooney, D. W.; Yap, P. S. Synthesis of green nanoparticles for energy, biomedical, environmental, agricultural, and food applications: A review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 22. p. 841–887, 2024.

Peña, J.; Vallet-Regi, M. Hydroxyapatite, tricalcium phosphate and biphasic materials prepared by a liquid mix technique. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 23, n. 10, 2003.

Pereira, A. C.; Tovar, N.; Nayak, V. V.; Mijares, D. Q.; Smay, J. E.; Torroni, A.; Flores, R. L.; Witek, L. Direct inkjet writing type 1 bovine collagen/β-tricalcium phosphate scaffolds for bone regeneration. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**, v. 112, 2024.

Rashid, M. H.; Sujoy, S. I.; Rahman, M. S.; Haque, M. J. Aloe vera assisted green synthesis of Ag and Cu co-doped ZnO nanoparticles and a comprehensive analysis of their structural, morphological, optical, electrical and antibacterial properties. **Heliyon**, v. 10, n. 3, 2024.

Scherrer, P. Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Gottingen. **Mathematisch-Physikalische Klasse**, vol. 2, p. 98-100, 1918.

Silveira, P. H. P. M.; Lopes, I. J. V. R.; Ribeiro, S. B. N.; Le Sénéchal, N. V.; dos Santos, J. L.; da Rocha, D. N.; da Silva, M. H. P. Synthesis and characterization of lithium fluoride-doped hydroxyapatite by aqueous precipitation. **Revista contribuciones a las ciencias sociales**, v. 17, n. 7, 2024.

Wellia, D. V.; Syuadi, A. F.; Rahma, R. M.; Syafawi, A.; Habibillah, M. R.; Arief, S.; Kurnia, K. A.; Saepurahman, Kusumawati, Y.; Saefumillah, A. Rind of Aloe vera (L.) Burm. f extract for the synthesis of titanium dioxide nanoparticles: Properties and application in model dye pollutant degradation. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 9,

2024.

Xiao, S.; Lao, Y.; Liu, H.; Li, D.; Wei, Q.; Ye, L.; Lu, S. A nanocomposite hydrogel loaded with Ag nanoparticles reduced by aloe vera polysaccharides as an antimicrobial multifunctional sensor. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 267, 2024.