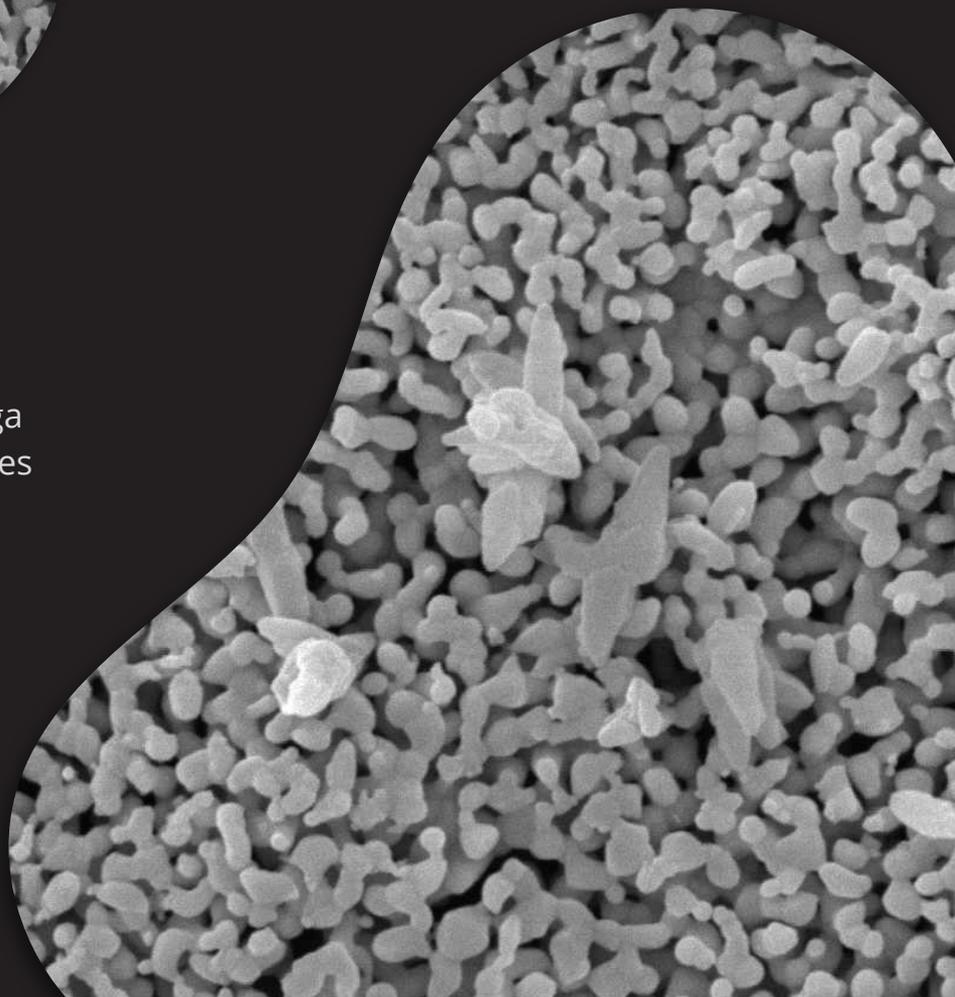
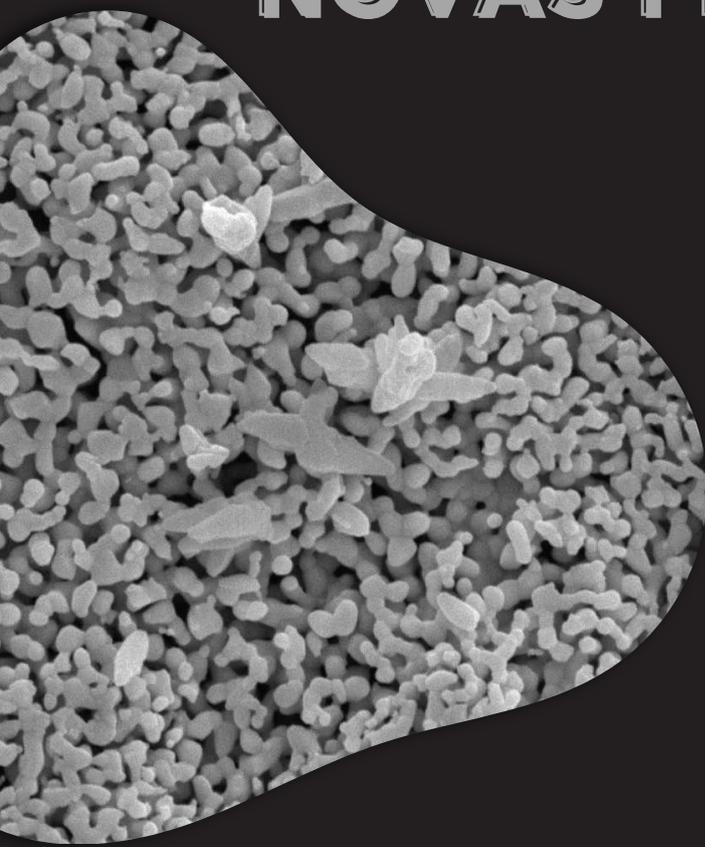


# ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS CERÂMICOS: NOVAS PERSPECTIVAS

**Volume 2**

## **Organizadores**

Aluska do Nascimento Simões Braga  
Elaine Ferreira dos Santos Fernandes  
Érica Karine Alves de Lima  
Geysivana Késsya Garcia Carvalho  
Hitalo de Jesus Bezerra da Silva  
José Rosa de Souza Farias  
Ketelly Estefane da Silva Alves  
Maysa Memória Martins  
Naiara de Oliveira Sobrinho  
Slanna Larissa Olimpio Costa  
Valdeci Bosco dos Santos  
Veruska do Nascimento Simões



# ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS CERÂMICOS: NOVAS PERSPECTIVAS

**Volume 2**

## **Organizadores**

Aluska do Nascimento Simões Braga  
Elaine Ferreira dos Santos Fernandes  
Érica Karine Alves de Lima  
Geysivana Késsya Garcia Carvalho  
Hitalo de Jesus Bezerra da Silva  
José Rosa de Souza Farias  
Ketelly Estefane da Silva Alves  
Maysa Memória Martins  
Naiara de Oliveira Sobrinho  
Slanna Larissa Olimpio Costa  
Valdeci Bosco dos Santos  
Veruska do Nascimento Simões

Editora Omnis Scientia

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

Volume 2

1ª Edição

TRIUNFO - PE

2023

## **Editor-Chefe**

Me. Daniel Luís Viana Cruz

## **Organizadores**

Aluska do Nascimento Simões Braga

Elaine Ferreira dos Santos Fernandes

Érica Karine Alves de Lima

Geysivana Késsya Garcia Carvalho

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva

José Rosa de Souza Farias

Ketelly Estefane da Silva Alves

Maysa Memória Martins

Naiara de Oliveira Sobrinho

Slanna Larissa Olimpio Costa

Valdeci Bosco dos Santos

Veruska do Nascimento Simões

## **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**

Freepik

## **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)  
Lumos Assessoria Editorial  
Bibliotecária: Priscila Pena Machado CRB-7/6971

A532 Análise e desenvolvimento de materiais cerâmicos : novas perspectivas : volume 2 [recurso eletrônico] / orgs. Aluska do Nascimento Simões Braga ... [et al.]. — 1. ed. — Triunfo : Omnis Scientia, 2023.  
Dados eletrônicos (pdf).

Inclui bibliografia.  
ISBN 978-65-5854-328-2  
DOI: 10.47094/978-65-5854-328-2

1. Material cerâmico - Análise. 2. Material cerâmico - Desenvolvimento. 3. Cerâmica (Tecnologia). 4. Engenharia de materiais. I. Braga, Aluska do Nascimento Simões. II. Título.

CDD23: 666.3

**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

Desde os primórdios da civilização, a humanidade tem se preocupado em dar forma às coisas. Na antiguidade, o homem aprendeu que poderia moldar artefatos a partir da argila e endurecê-los com fogo para formar as mais diversas coisas que sua inventividade pudesse criar. Desta maneira, desde objetos comuns, de necessidade básica, como potes e jarros, até esculturas para expressão de sua religiosidade, ou simplesmente captar o mundo e suas ideias, o que chamamos arte.

Nesse sentido, além de proporcionar a confecção de ferramentas básicas para a sobrevivência, a cerâmica possibilitou à humanidade os meios para se expressar e construir sua identidade. Portanto, com o desenvolvimento das civilizações, a tecnologia aplicada ao processamento de materiais cerâmicos evoluiu consideravelmente.

As cerâmicas são uma classe de materiais complexa, formada por sólidos inorgânicos metálicos e não-metálicos e submetidos a altas temperaturas em seu processo de fabricação. Usualmente, os materiais cerâmicos são divididos em dois grandes grupos: cerâmica tradicional e cerâmica avançada. O primeiro grupo engloba os materiais cerâmicos estruturais, peças de olaria, objetos domésticos, dentre outros. Já o segundo, por sua vez, inclui materiais de elevado grau de pureza e que exibem propriedades de alto desempenho tecnológico, podendo ser aplicados em microeletrônica, biomedicina, indústria aeroespacial, etc.

Em casos específicos, quando deseja-se otimizar as propriedades dos materiais cerâmicos, seja a resistência mecânica, porosidade, capacidade de adesão, impermeabilidade, etc., é comum unir a cerâmica a um outro tipo de material cerâmico ou a outras classes de materiais (polímeros ou metais), visando adquirir um desempenho superior favorecido pelas propriedades desejadas inerentes a cada um, formando materiais compósitos.

Portanto, este livro tem o propósito de apresentar resultados de pesquisas recentes pertinentes à área da cerâmica, tradicional e avançada, através de revisões da literatura e de estudo original, com enfoque em biomaterial compósito, argila industrial e compósito argamassa-argila, bem como possíveis aplicações desta importante classe de materiais.

Por fim, desejamos a você uma ótima leitura.

Os organizadores.

# SUMÁRIO

## **CAPÍTULO 1.....09**

### **OS EFEITOS SINÉRGICOS DO COMPÓSITO $\beta$ -TCP + PCL: UMA BREVE REVISÃO**

Ycaro Breno Alves de Almeida

Diógenes de Moura Júnior

José Rosa de Souza Farias

Veruska do Nascimento Simões

Ketelly Estefane da Silva Alves

Geysivana Késsya Garcia Carvalho

Slanna Larissa Olimpio Costa

Victória Régia Alves Sales

Maysa Memória Martins

Gabriel Lima Bastos

Valdeci Bosco dos Santos

Aluska do Nascimento Simões Braga

**DOI: 10.47094/978-65-5854-328-2/09-27**

## **CAPÍTULO 2.....28**

### **RESÍDUOS (VIDRO E FIBRA NATURAL) COMO ADITIVOS COMBINADOS EM ARGAMASSA CIMENTÍCIA**

Elaine Ferreira dos Santos Fernandes

Érica Karine Alves de Lima

Eliana Silva Aguiar

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva

Agnelo Moraes

José Rosa de Souza Farias

Veruska do Nascimento Simões

Ketelly Estefane da Silva Alves

Maria Elayne Rodrigues Alves

Gabriel Lima Bastos

Aluska do Nascimento Simões Braga

Valdeci Bosco dos Santos

**DOI: 10.47094/978-65-5854-328-2/28-40**

**CAPÍTULO 3.....41**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DO REBOCO CONTENDO MINÉRIO DE  
VERMICULITA EXPANDIDA - UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE TERESINA-PI**

Maysa Memória Martins

Mariana Melo Meneses Carvalho

José Rosa de Souza Farias

Erica Ianne da Silva Sousa

Slanna Larissa Olimpio Costa

Naiara de Oliveira Sobrinho

Veruska do Nascimento Simões

Eliana Silva Aguiar

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva

Gabriel Lima Bastos

Valdeci Bosco dos Santos

Aluska do Nascimento Simões Braga

**DOI: 10.47094/978-65-5854-328-2/41-55**

## OS EFEITOS SINÉRGICOS DO COMPÓSITO $\beta$ -TCP + PCL: UMA BREVE REVISÃO

**Ycaro Breno Alves de Almeida<sup>1</sup>;**

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

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

**Diógenes de Moura Júnior<sup>2</sup>;**

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

<http://lattes.cnpq.br/5791161214413731>

**José Rosa de Souza Farias<sup>3</sup>;**

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

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

**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>

**Ketelly Estefane da Silva Alves<sup>5</sup>;**

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

<http://lattes.cnpq.br/0511638279355579>

**Geysivana Késsya Garcia Carvalho<sup>6</sup>;**

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

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

**Slanna Larissa Olimpio Costa<sup>7</sup>;**

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

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

**Victória Régia Alves Sales<sup>8</sup>;**

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

<http://lattes.cnpq.br/4380086092580232>

**Maysa Memória Martins<sup>9</sup>;**

Christus Faculdade do Piauí (CHRISFAPI), Piripiri, Piauí.

<http://lattes.cnpq.br/6769980781249691>

**Gabriel Lima Bastos<sup>10</sup>**;

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

<https://lattes.cnpq.br/2549357911573252>

**Valdeci Bosco dos Santos<sup>11</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>12</sup>**.

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

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

<http://lattes.cnpq.br/2429557575387821>

**RESUMO:** A confecção de compósitos é um caminho viável para a produção de materiais aprimorados. A combinação do beta fosfato tricálcico ( $\beta$ -TCP) e da policaprolactona (PCL) produz scaffolds que combinam vantagens da cerâmica e polímero, suprimindo as limitações de cada um. Assim, a carência mecânica do  $\beta$ -TCP é suprida pelo polímero PCL, enquanto a ausência de bioatividade do PCL é alcançada por meio do  $\beta$ -TCP. Tendo isso em mente, este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão dos efeitos sinérgicos do compósito  $\beta$ -TCP+PCL publicados nos últimos anos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compósitos. Beta Fosfato Tricálcico. Policaprolactona.

### THE SYNERGIC EFFECTS OF $\beta$ -TCP + PCL COMPOSITE: A BRIEF REVIEW

**ABSTRACT:** The manufacture of composites is a viable way to produce improved materials. Tricalcium phosphate ( $\beta$ -TCP) and polycaprolactone (PCL) scaffolds combine advantages of ceramic and polymer, supplying as produced from each. Thus, the mechanical load of  $\beta$ -TCP is supplied by the PCL polymer, while the absence of PCL bioactivity is achieved by the  $\beta$ -TCP medium. With this in mind, this work aims to review the synergistic effects of the  $\beta$ -TCP+PCL composite published in recent years.

**KEY-WORDS:** Composites. Beta Tricalcium Phosphate. Polycaprolactone.

## INTRODUÇÃO

Desde seus primórdios, o homem sempre trabalhou para melhorar e evoluir sua condição de vida. em relação ao uso de materiais para auxiliá-lo em questões de saúde, há mais de 2.000 anos, os romanos, chineses e astecas usavam o ouro como material de implante na odontologia. Em 1770, um fio metálico foi usado pela primeira vez para curar uma fratura. O século XVIII testemunhou o advento da antissepsia e da anestesia, bem como avanços na metalurgia, plásticos e raios-X (Thanigaivel et al.; 2022). Atualmente, definidos como “um material projetado para assumir uma forma que pode direcionar, por meio de interações com sistemas vivos, o curso de qualquer procedimento terapêutico ou diagnóstico” (Song et al.; 2022), os biomateriais emergem como um campo de grande interesse, a pesquisa em biomateriais vem crescendo e se desenvolvendo em um campo multidisciplinar e multifuncional que envolve, mas não se limita a materiais, ciências químicas, físicas, biológicas e médicas, bem como ciências de materiais, química, biomédica, engenharia mecânica e clínica (Zhang et al. ; 2022).

Um scaffold ideal deve possuir as seguintes características: biocompatibilidade, osteocondutividade, biodegradabilidade controlável, porosidade e morfologia de superfície adequadas, propriedades físico-químicas adequadas e resistência mecânica suficiente (Shi et al.; 2018). Recentemente, a aplicação de um processo de manufatura aditiva para construir uma estrutura complexa semelhante à parte porosa e compacta do osso é possível usando a técnica de impressão 3D (Li et al.; 2021). Dessa forma, a bioimpressão 3D tem sido amplamente utilizada por sua eficiência sem precedentes para projetar arquitetura/composição hierárquica de scaffolds na engenharia de tecido ósseo (Yang et al.; 2022).

Dentre a gama de materiais direcionados para área biomédica, a policaprolactona (PCL), um polímero sintético amplamente estudado com degradabilidade, biocompatibilidade e capacidade de absorção satisfatórias, tem sido utilizada em aplicações de engenharia de tecidos ósseos, todavia que se encontra limitada em virtude da falta de bioatividade e propriedades hidrofóbicas intrínsecas do PCL (Liu et al.; 2022). Já o fosfato tricálcico (TCP,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), uma biocerâmica, que possui excelente biocompatibilidade, reabsorção e osteocondutividade, tem sido amplamente estudado e utilizado clinicamente como enxerto ósseo. No entanto, a fragilidade intrínseca dessas cerâmicas ainda limita seu uso potencial em ossos de suporte de carga ou grandes aplicações ósseas segmentares (Wu et al.; 2019). A combinação do  $\beta$ -TCP e PCL produz scaffolds que combinam vantagens da cerâmica e polímero, suprimindo as limitações de cada um e exibindo propriedades superiores do que as observadas pelo material trabalhando solo.

O uso combinado de ambos os tipos de materiais, biocerâmicas e biopolímeros, juntamente com o uso de técnicas de manufatura aditiva para fabricação de scaffolds são estratégias emergentes que vários autores estão utilizando para superar esses problemas (Paredes et al.; 2021). Dessa forma, este trabalho tem como objetivo revisar os atuais estudos e pesquisas relacionadas à fabricação do compósito  $\beta$ -TCP + PCL produzidos nos

últimos anos.

## REVISÃO DE LITERATURA

Os fosfatos de cálcio evidenciam-se hoje como os principais materiais estudados e empregados como biomaterial no campo da reposição e regeneração de tecido ósseo, já que os mesmos possuem como principais características: semelhanças com a fase mineral de ossos, dentes e tecidos calcificados; bioatividade; elevada biocompatibilidade; osteocondutividade; desprovida de toxicidade (Ghosh e Sarkar, 2016; Guastaldi e Aparecida, 2010). Entre os substitutos ósseos cerâmicos baseados em fosfato de cálcio (Ca/P) a Hidroxiapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) durante os últimos 20 anos foi o principal material de escolha para a reposição do tecido ósseo em aplicações médicas, ortopédicas e odontológicas, em virtude da sua similaridade química e estrutural com a fase mineral presente em ossos e dentes (Campbell, 2003). Contudo, o fosfato tricálcico ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , TCP), em específico sua fase beta ( $\beta$ -TCP), vem ganhando cada vez mais destaque na área das biocerâmicas uma vez que os mesmos são consideravelmente mais reabsorvíveis que a HA, possibilitando a substituição pelo novo tecido (Peres, 2011; Tadic e Epple, 2004). A velocidade de dissolução do  $\beta$ -TCP é de 3 a 12 vezes mais rápida comparada a da HA (Puzipe, 2016).

Com isso, vale destacar que o fosfato tricálcico pode ocorrer em 4 formas alotrópicas:  $\beta$ -TCP, encontrada estável em intervalos de temperaturas moderadas de 800 a 1125 °C;  $\alpha$ -TCP, mantendo-se equilibrada na faixa de 1125 a 1430 °C;  $\alpha'$ -TCP, detectada em temperaturas acima de 1430 °C e  $\gamma$ -TCP, detectada apenas em altas pressões (Ryu et al., 2002; Xie et al., 2016; Yashima e Sakai, 2003). A estrutura cristalina e os parâmetros de rede de cada fase são apresentados na Tabela 1. A estrutura cristalina da fase  $\alpha'$ -TCP não é conhecida em razão da dificuldade de preparação (Guastaldi e Aparecida, 2010).

**Tabela 1.** Estruturas cristalinas e parâmetros de rede das fases alotrópicas do fosfato tricálcico

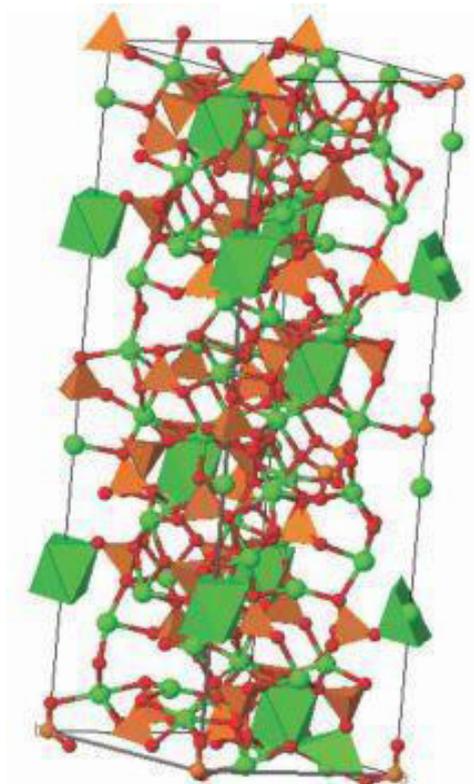
Fase Alotrópica	Sistema	a (nm)	b (nm)	c (nm)
$\alpha$ -TCP	Monoclínico	1,287	2,728	1,521
$\beta$ -TCP	Romboédrico	1,043	1,043	3,737
$\gamma$ -TCP	Romboédrico	0,524	-	1,867

Fonte: Guastaldi e Aparecida, 2010

O  $\beta$ -fosfato tricálcico ( $\beta$ -Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>), dentre as múltiplas formas alotrópicas do TCP, é a fase que tem despertado um maior interesse para a utilização em implantes biocerâmicos, visto que quando comparado com as demais é a que apresenta melhor estabilidade química, resistência mecânica e taxa de bioabsorção mais adequada para esse tipo de aplicação (Bohner, 2000; Elliot, 1994; Ryu et al., 2002). Apesar de sua outra fase vir ganhando destaque na área biomédica também no campo dos materiais injetáveis de reparo ósseo artificial, fase  $\alpha$  ( $\alpha$ -Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>), em virtude da sua excelente propriedade de autofixação, boa osteocondução e biocompatibilidade decente, sua lenta degradação, baixa resistência à compressão e fácil fragmentação limitam suas aplicações (Piazzolla et al., 2011; Verlaan et al., 1976; Wiltfang, 2002). Estudos comprovam que o biomaterial à base de  $\beta$ TCP apresenta não só um modo de degradação acelerado e uma ótima reatividade com os tecidos circundantes, bem como anteriormente apontado uma maior estabilidade do  $\beta$ -TCP em relação ao  $\alpha$ -TCP, em que o  $\beta$ -TCP com vacâncias de Ca uniformemente distribuídas é a estrutura mais estável (Valentim et al., 2018; Yin et al., 2003).

A transformação de  $\beta$ -TCP para  $\alpha$ -TCP é caracterizada por ter seu início em temperaturas médias de 1125 °C. Contudo, tais temperaturas são facilmente manipuláveis por uma gama de fatores, tais como o processo de obtenção do TCP onde não é estabelecido os aditivos ou impurezas introduzidas no mesmo, dificultando cada vez mais o processo de padronização de temperaturas específicas de obtenção das fases, bem como a uniformização de propriedades do mesmo (Cardoso, 2010). Exemplificando, um biocompósito constituído por  $\beta$ TCP e policaprolactona ((C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>2</sub>)<sub>n</sub>, PCL) possui suas propriedades mecânicas variáveis, aumentando constantemente à medida que a porção de  $\beta$ -TCP diminui nas proporções do biocompósito (Huang et al, 2017). Nesse ponto de vista, vale destacar que o beta-fosfato tricálcico se cristaliza num sistema romboédrico, segundo o grupo espacial R3c, com célula unitária a=b=1,0439 nm e c= 3,7375 nm. Para cada célula unitária hexagonal, há 21 fórmulas unitárias e 42 tetraedros (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) (Bonadio, 2014).

**Figura 1.** Representação esquemática da estrutura cristalina do  $\beta$ -TCP. As esferas em vermelho, verde e laranja representam os átomos de oxigênio, cálcio e fósforo, respectivamente.



Fonte: Bonadio, 2014.

Em virtude das suas notáveis propriedades físico químicas, muitos estudos têm sido realizados em volta dos fosfatos tricálcicos, abordando diversas perspectivas do mesmo, de alterações químicas a modelos estruturais. Em suma, boa parte das pesquisas apontam como finalidade dos seus trabalhos aprimorar não só as propriedades mecânicas do material, mas também sua biocompatibilidade e reatividade. Visando, assim, elevar cada vez a gama de aplicações disponíveis deste material (Cardoso, 2010; Phromyoo, 2018).

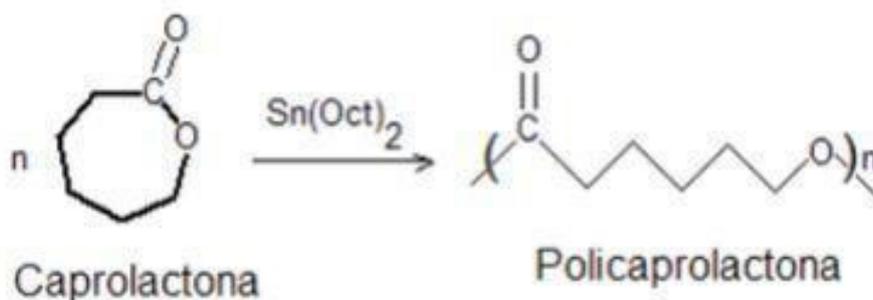
### $\beta$ -TCP/PCL

Os substitutos ósseos cerâmicos baseados em fosfatos de cálcio, em específico o  $\beta$ -TCP, apesar de possuir diversas propriedades desejáveis para aplicação como biomaterial, como excelente biocompatibilidade, osteocondutividade e biodegradabilidade, o mesmo apresenta desvantagens (Chen et al., 2014; Gan et al., 2008). Degrada-se levemente mais rápido que a regeneração óssea (Kwon et al., 2004; Lin e Lun, 2012). Além disso, a resistência mecânica dos biomateriais compostos por  $\beta$ -TCP é relativamente baixa, principalmente por conta da sua alta porosidade (Bose et al., 2003; Young et al., 2009). Para superar tais deficiências, muitas pesquisas têm sido feitas para melhorar as propriedades mecânicas e osteocondutividade do scaffold utilizando polímeros, especialmente biopolímeros, como ácido polilático (PLA), colágeno, quitosana, ácido poliglicólico (PGA), polihidroxilbutirato

(PHB), polipropilenofumarato (PPF), poli- $\epsilon$ -caprolactona (PCL) entre outros (Solomão et al., 2011).

No entanto os polímeros naturais por apresentarem propriedades mecânicas insuficientes têm perdido relevância, e a fim de evitar as suas desvantagens os polímeros sintéticos vem ganhando cada vez mais destaque no campo da engenharia de tecidos, entre eles o PCL tem sido o que vem ganhando cada vez mais destaque (Park et al., 2014). O PCL em sua composição química  $(C_6H_{10}O_2)_n$ , Figura 2, é caracterizado por se tratar de um poliéster alifático linear semicristalino com alto grau de cristalinidade e hidrofobicidade que se destaca por conta da sua biocompatibilidade, biodegradabilidade e propriedades mecânicas (Lopes, 2019). No entanto, PCL também sofre de baixa molhabilidade, e baixa taxa de degradação, limitando seu uso na área biomédica (Bosworth e Downes, 2010). Como forma de melhorar as propriedades tanto do  $\beta$ -TCP quanto do PCL é a realizado a incorporação de ambos, em que os íons cálcio e fosfato de  $\beta$ -TCP integram-se com PCL por ligações químicas, melhorando tanto as propriedades mecânicas do compósito quanto às propriedades bioativas (Zhang et al., 2006). Portanto, espera-se que o compósito  $\beta$ -TCP/PCL tenha propriedades mecânicas, físico-químicas e biológicas adequadas como um scaffold para engenharia de tecidos (Shi et al., 2018).

**Figura 2.** Representação da estrutura química da cadeia polimérica de PCL



**Fonte:** Lopes, 2019

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia seguida para a elaboração desta revisão de literatura, foi a busca nos bancos de dados do Scienedirect e Scopus. Sendo buscado trabalhos que discutiam a produção do compósito  $\beta$ -TCP + PCL. Sendo realizada a busca de artigos de pesquisa da última década, de 2020 até os dias atuais.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 3 apresenta o resultado das buscas por trabalhos acerca do compósito  $\beta$ -TCP + PCL.

**Figura 3.** Número de artigos encontrados por ano.



Fonte: Os autores, 2023.

Como resultados das buscas nos bancos de dados, foi encontrado 48 trabalhos no decorrer dos anos mencionados, o ano de 2021 apresentou maior quantidade de resultados, todavia, uma vez que nos encontramos ainda na metade do ano de 2022, acredita-se que o comportamento da linha de tendência seja obedecido, aumentando o número de pesquisa deste ano, em virtude ao grande interesse na produção do compósito  $\beta$ -TCP + PCL. A seguir, serão mencionados os principais resultados de alguns dos estudos encontrados, onde o efeito sinérgico da união  $\beta$ -TCP + PCL foi mais evidenciado.

Liu et al. (2020) prepararam um scaffold nanofibroso híbrido PCL/TCP sol por meio de sol-gel combinado com eletrofiação para acelerar a regeneração do tecido ósseo. E para fins de comparação, foi preparado um arcabouço nanofibroso composto de nanopartículas PCL/TCP com o mesmo conteúdo inorgânico. Foi evidenciado que o sistema híbrido solucionou os problemas de baixa uniformidade e fraca interação bifásica causada por nanopartículas TCP tradicionais. Quanto a comparação entre os scaffolds, o novo tipo de scaffold híbrido melhorou muito a hidrofiliabilidade, a biodegradabilidade e as propriedades mecânicas. Além disso, facilitou em grande parte a formação da apatita, semelhante a osso. Mais importante, o scaffold sol PCL/TCP teve um desempenho excepcional na adesão e proliferação de rBMSCs.

Moukbil et al. (2020) fabricaram scaffolds PCL/BHA/TCP usando impressão 3d de deposição fundida. As quantidades de PCL e TCP foram mantidas constantes em 10%, 10% (p/p), respectivamente, enquanto a concentração de BHA variou em 7,5%, 12,5% e 15% (p/p). usando impressão 3D de deposição fundida. As análises FTIR, XRD e SEM mostraram que os scaffolds foram fabricados com sucesso. No aspecto da proliferação celular, as células HOB foram usadas para ver o comportamento potencial de formação óssea. Scaffolds que incluíram 15% em peso BHA demonstraram muito mais bioatividade

do que outros exemplares.

Jeong et al. (2020) propuseram e fabricaram um novo andaime híbrido impresso composto por uma estrutura de policaprolactona (PCL) impressa tridimensionalmente (3D) e materiais cerâmicos osteocondutores, como hidroxiapatita (HA) e  $\beta$ -tricálcio fosfato ( $\beta$ -TCP) para reduzir o tempo cirúrgico e minimizar os custos do tratamento. O scaffold híbrido fabricado apresentou excelente molhabilidade, o que pode ser interpretado como capacidade de adesão celular, devido à exposição de partículas de HA e  $\beta$ -TCP. Além disso, os ensaios de cultura celular *in vitro* Fonte: Os autores, 2023 utilizando células Soas-2 demonstraram excelentes características de cultura celular. Os resultados do ALP verificaram a capacidade de regeneração óssea com e sem partículas cerâmicas osteocondutoras.

Mellor et al. (2020) investigaram o uso de um única fonte celular, células-tronco derivadas do tecido adiposo humano, dentro de um scaffold 3D trifásico multimaterial e multiescala integrado, criado usando uma combinação de biplotagem 3D e eletrofição para alcançar a geração completa de tecido osteocondral. O scaffold 3D integrado inclui uma camada profunda 3D biplotada de um composto de policaprolactona (PCL) e fosfato  $\beta$ -tricálcico (TCP), uma camada de superfície PCL biplotada 3D combinada com hidrogel de ECM de cartilagem articular descelularizada (dECM) e uma camada intermediária de PCL eletrofiada. Foi confirmado que scaffolds contendo 20% de TCP desencadeiam células para diferenciar a linhagem osteogênica, demonstrando que os marcadores osteogênicos são regulados positivamente e o acréscimo de cálcio do produto final é aumentado na presença de TCP. Quando comparado aos scaffolds eletrofiados relatados anteriormente contendo TCP, o cálcio foi liberado a uma taxa muito mais lenta do que scaffolds PCL-TCP biplotados 3D. A incorporação de uma camada eletrofiada pode inibir a migração celular entre as camadas do scaffold, o que pode ser altamente vantajoso *in vivo*, impedindo que os vasos sanguíneos invadam a porção condrogênica do scaffold.

Kang et al. (2020) avaliaram o efeito da esterilização por feixe de elétrons (feixe E) na degradação de filamentos compostos de  $\beta$ -tricálcio/policaprolactona ( $\beta$ -TCP/PCL) de várias proporções (0:100, 20:80, 40:60 e 60:40 TCP:PCL em massa) em um modelo subcutâneo de rato por 24 semanas. Foi observado que a incorporação de TCP em PCL aumentou significativamente a degradação do compósito, mas o aumento do conteúdo de TCP no compósito não acelerou a degradação a degradação mais rápida ocorreu nas primeiras quatro semanas e diminuiu gradualmente depois. A esterilização por feixe E também acelerou a degradação, devido à diminuição da cristalinidade e cadeias moleculares PCL mais baixas após a irradiação por feixe E. Para filamentos TCP/PCL, a química da amostra desempenha um papel maior do que o método de esterilização na biodegradação. A esterilização por E-beam não afetou a biocompatibilidade dos implantes na implantação subcutânea.

Wang et al. (2021) projetaram um scaffold com uma estrutura de escala cruzada de PCL/ $\beta$ -TCP, que contém fibras grossas com diâmetro de 500  $\mu$ m impressas por FDM. E nos

poros da fibra grossa, a grade de fibra fina de altíssima precisão com um diâmetro de cerca de 10  $\mu\text{m}$  é preenchida pelo modo MEW. Como resultado, nos experimentos com células, em comparação com os scaffolds de fibras grossas tradicionais, os scaffolds de escala cruzada não apenas permitem que as células cresçam na superfície das fibras grossas, mas a grade de fibras finas preenchidas nos poros das fibras grossas pode guiar as células para crescer através das pontes e cobrir o poros. No experimento de diferenciação osteogênica, o  $\beta$ -TCP no material compósito fornece  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  ao scaffold, o que pode efetivamente promover a diferenciação osteogênica de células BMSC no andaime. Ao mesmo tempo, ao contrário dos scaffolds tradicionais que só podem formar osteogênese na superfície da fibra, scaffolds de escala cruzada melhoram muito o desempenho osteogênico das células no scaffold. Como resultado, o PCL/ $\beta$ -TCP pode não apenas formar osso na superfície do scaffold, mas também ter expressão óbvia de ALP e precipitação efetiva de cálcio nos poros do scaffold. Isso pode acelerar o reparo de defeitos ósseos.

Liu et al. (2021) utilizaram a co-eletrofiliação em poli( $\epsilon$ -caprolactona) (PCL) com fosfato  $\beta$ -tricalcico ( $\beta$ -TCP) para simular a estrutura fibrosa orgânica/inorgânica da MEC óssea natural, onde o método de auto-cristalização induzida foi implementada para gerar dois tamanhos de estruturas de shish-kebab na superfície da fibra para ajustar a rugosidade da superfície dos scaffolds. Foi demonstrado que esta dupla pista pode melhorar muito a hidrofiliabilidade, propriedades mecânicas, biomineralização e adsorção de proteínas dos scaffolds, e a resposta celular (proliferação e diferenciação) a esses scaffolds foi significativamente regulado positivamente, no qual o PT10-SK1.0 apresentou desempenhos mais satisfatórios nos aspectos físico-químicos e biológicos e é considerado de grande potencial na promoção da regeneração do tecido ósseo.

Chaojing et al. (2021) relataram um método de preparação de scaffold que pode regular a morfologia de nanofibras e controlar a distribuição e o comportamento de liberação de nanopartículas de fosfato de cálcio (CaPs). O método de co-eletrofiliação preparou scaffold de PCL carregado com  $\beta$ -TCP com diferentes tamanhos de grânulo foi preparado ajustando a concentração (15% em peso, 7,5% em peso e 4,5% em peso) apenas da solução de eletrofiliação. Os resultados demonstraram mostraram que a microestrutura composta pode promover grandemente a deposição de apatita semelhante ao osso e a adsorção de proteínas. O andaime PT4.5 projetado permitiu a liberação sustentada de componentes bioativos inorgânicos. Além disso, a formação de tubos de HUVECs e a diferenciação osteogênica de rBMSCs podem ser bastante promovidas.

Tunthasen et al. (2021) fabricaram um novo sistema de barreira de concha semi-rígida composto por uma concha semi-rígida e uma membrana semi reabsorvível usando um compósito de policaprolactona e fosfato de cálcio bifásico como material base. A proporção de PCL para BCP em 70:30, e a proporção de HA para  $\beta$ -TCP em BCP em 30:70. Foi observado que a casca e as membranas semi-reabsorvíveis demonstraram propriedades físicas e mecânicas adequadas, e biocompatibilidade, e podem ser montadas como um novo sistema de barreira para regeneração óssea.

Pinto et al. (2021) avaliaram a eficácia de telas compostas por policaprolactona/beta-trifosfato de cálcio (PCL/ $\beta$ -TCP) desenvolvidas com diferentes composições utilizando a técnica RJS. Scaffolds com  $\beta$ -TCP foram produzidos com 5 e 10% em peso de biocerâmicas. Foi reportado que o diâmetro das fibras de menor variação em PCL/ $\beta$ -TCP 10% em peso, tanto da parte interna quanto externa, atrelado à maior formação de grânulos do referido scaffold jetspinner, demonstra que o aumento na quantidade de  $\beta$ -TCP fez a fabricação do scaffold compósitos ser mais difícil, e isso pode estar associado à viscosidade da solução. Outra característica relevante dos scaffolds compósitos com  $\beta$ -TCP foram o tamanho e o arranjo das fibras, o que permitiram a formação de scaffolds estruturalmente viáveis para adesão e crescimento celular. A presença da biocerâmica  $\beta$ TCP satura as amostras quando submersas em SBF, ocorrendo precipitação de apatita, sendo observado que as células foram capazes de aderir às fibras e proliferar sobre elas. Todos os scaffolds foram classificados como não tóxicos.

Han et al. (2021) usaram a tecnologia de impressão 3D de modelagem por deposição fundida para fabricar gaiolas de fusão com diferentes razões PCL –  $\beta$ -TCP com um módulo de elasticidade próximo ao do osso esponjoso humano. PCL e  $\beta$ -TCP foram misturados em três proporções diferentes (60:40, 55:45 e 50:50). Foi verificado que tanto a degradação in vitro quanto os experimentos com células provaram que todas as gaiolas com as diferentes proporções PCL: $\beta$ -TCP atenderam às propriedades mecânicas do osso esponjoso humano, mantendo sua integridade estrutural. A atividade biológica das gaiolas melhorou com maiores quantidades de  $\beta$ TCP.

Yun et al. (2021) investigaram três tratamentos usando dois materiais diferentes, um descelularizado derivado de osso matriz extracelular (bdECM) e fosfato  $\beta$ -tricálcico ( $\beta$ -TCP), individualmente e em combinação, como promotor osteogênico entre osso e suporte de policaprolactona impresso em 3D em defeitos calvários de ratos. Foi verificado que o efeito osteogênico do tratamento combinado bdECM+ $\beta$ TCP com scaffold PCL foi melhor do que quando cada um foi usado separadamente. No modelo de defeito de calvária em ratos, o efeito osteogênico foi terapêutico quando combinado com um suporte de PCL. Quando o scaffold PCL apoiou estruturalmente o tecido ósseo defeituoso, bdECM e  $\beta$ -TCP deram origem para células progenitoras endógenas, que migraram para a área do defeito e se diferenciaram. Além disso, a inflamação foi menor no grupo de combinação, in vivo.

Chen et al. (2021) avaliaram o uso de 25% de PCL como aditivo para melhorar as propriedades mecânicas e osteocondutoras do  $\beta$ -TCP em termos de análise físico-química; teste de compressão estática, estudo in vivo e histomorfométrica óssea foram realizadas. Foi constatado que a incorporação de 25% de PCL com  $\beta$ -TCP leva a um tamanho de poro e porosidade relativamente menores em scaffolds e maior carga de compressão com boas características de modelagem, o que também contribui para a eficácia clínica do modelo in vivo.

López-González et al. (2021) fabricaram novos scaffolds híbridos de compósitos poliméricocerâmicos porosos impressos em 3D à base de micropartículas de poli( $\epsilon$ -caprolactona) (PCL) e  $\beta$ tricálcio ( $\beta$ -TCP) e avaliaram sua influência na adesão, proliferação e diferenciação osteoblástica de células-tronco mesenquimais da medula óssea humana adulta multipotentes (ah-BM-MSCs). Foi revelado que a diferenciação osteogênica de ah-BM-MSCs aumentou na presença de scaffolds de PCL/ $\beta$ TCP impressos em 3D quando comparados ao grupo controle e scaffolds de PCL nativos, o que demonstra as interações efetivas entre micropartículas e células de  $\beta$ -TCP. Os íons de cálcio liberados são provavelmente a principal responsável pela atividade metabólica e diferenciação celular.

Beatrice et al. (2021) entenderam o impacto do TCP no peso molecular do PCL, cristalinidade, comportamento reológico, resistência térmica e propriedades mecânicas após o processo de composição do fundido. Além disso, demonstramos a viabilidade de scaffolds PCL/TCP impressos em 3D para ação de regeneração óssea. Foi verificado que os compósitos PCL5TCP e PCL10TCP exibiram boa dispersão de TCP após fusão do filamento e composição de extrusão e mantiveram estabilidade térmica, peso molecular, cristalinidade e viscosidade pura da matriz PCL. Concluindo que compósitos com baixa concentração de TCP mostraram alto potencial para serem usados como filamentos para impressão 3D. Helaehil et al. (2022) usaram a tecnologia de manufatura aditiva combinada com biocerâmica sintética para produzir scaffolds compostos (PCL com HA; e PCL com  $\beta$ -TCP) porosos 3D para imitar o osso nativo. O desempenho in vivo dos scaffolds produzidos, com/sem ES (estimulação elétrica), foi amplamente avaliado por meio de histomorfometria, imuno-histoquímica e expressão gênica. Foi observado que o uso de scaffolds de 20% em peso de  $\beta$ -TCP fornece forte evidência de aplicação aprimorada a longo prazo em relação ao processo regenerativo ósseo de defeitos ósseos de tamanho crítico quando comparado aos scaffolds de PCL/HA 20% em peso. Além disso, o uso da estimulação elétrica como terapia não invasiva e complementar potencializou o efeito de regeneração óssea dos scaffolds de PCL/ $\beta$ -TCP proporcionando uma alteração de duas a três vezes na expressão gênica angiogênica e osteogênica, resultando em maior formação de tecido mineralizado após 60 d. Além da osteogênese, o PCL com scaffolds compostos de  $\beta$ TCP e o ES também modularam a remodelação óssea, proporcionando o equilíbrio esperado entre formação (estágios iniciais, 30 d a 60 d) e maturação (estágios posteriores, 60 d a 120 d) durante o processo fisiológico.

Joo et al. (2022) relataram a fabricação e avaliação de uma membrana dupla de policaprolactonagelatina- $\beta$ -fosfato tricálcico de alginato fundido foi fabricada por processos de eletrofiação e fundição para melhorar a formação de osso novo sob um processo de GBR. Foi visto que as camadas individuais apresentaram bons resultados de citotoxicidade e adesão celular, representando viabilidade e proliferação celular estimuladas na membrana eletrofiada e fixação celular restrita na folha de alginato. O efeito da membrana dupla no osso foi evidenciado por lâminas de tecido coradas com H&E, induzindo a formação de novo osso no local do defeito e impedindo a adesão ou crescimento celular em direção à

membrana a partir do exterior.

Mueller et al. (2022) complementaram um trabalho anterior, desenvolvendo scaffolds com alta relação  $\beta$ TCP (65/35%) de tamanho maior (38 × 20 × 8 mm), usando moldes solúvel impressos em 3D, realizando uma caracterização completa dos scaffolds de 50/50% e 65/35% de  $\beta$ -TCP/PCL para avaliar o crescimento celular e diferenciação osteogênica de ambos os grupos semeados com pBMSCs sob cultura dinâmica in vitro. Foi ratificado que as propriedades mecânicas dos scaffolds 65/35% desenvolvidos estavam dentro da faixa do osso trabecular natural. Além disso, os scaffolds de 65/35% apresentaram vantagens biológicas, como maior crescimento celular e maior atividade de ALP. Van et al. (2022) desenvolveram uma membrana biodegradável multicamada para aplicações GBR. A membrana multicamada é composta principalmente de fosfato  $\beta$ -tricálcico (TCP), policaprolactona (PCL) e ácido hialurônico (HA), preparados pelo método de spin-coating. O sistema de camada tripla tem uma camada composta PCL-TCP na parte superior, uma camada PCL no meio e PCL-HA na camada inferior. Foi concluído que a membrana composta multicamada apresentou excelentes parâmetros físicos; pH neutro, alta hidrofiliabilidade, alta taxa de inchaço, baixa taxa de degradação e alta formação de apatita após imersão em fluido corporal simulado (SBF) por 14 dias. A membrana multicamada também exibiu biocompatibilidade que é evidente pelo ensaio MTT e imagens confocais.

Zhang et al. (2022) prepararam membranas nanofibras de policaprolactona (PCL)/ $\beta$ -tricálcio ( $\beta$ -TCP) shish-kebab por eletrospinning e cristalização induzida por solvente. Foi verificado que a estrutura shish-kebab foi induzida com sucesso em nanofibras PCL/ $\beta$ -TCP, as membranas duplamente modificadas por shish-kebab e polidopamina apresentaram a melhor molhabilidade superficial e excelente capacidade de adsorção de proteínas.

Por meio desta revisão, verifica-se o forte impacto da composição  $\beta$ -TCP+PCL, propiciando melhorias nas propriedades dos constituintes quando tomado de maneira separada, o que justifica as intensas buscas a este compósito.

## CONCLUSÃO

O compósito  $\beta$ -TCP + PCL apresentou-se como uma boa alternativa para aplicação biológicas, que une as boas propriedades bioativas e osteocondutoras do  $\beta$ TCP com as propriedades mecânicas amplificadas do PCL. Tal união está cada vez mais requerida, uma vez que nas pesquisas realizadas observa-se um padrão crescente de busca deste compósito.

## DECLARAÇÃO DE INTERESSES

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

## REFERÊNCIAS

- Beatrice, C. A. G; Shimomura, K. M. B; BackeS, E. H; Harb, S. V; Costa, L. C; Passador, F. R; Pessan, L. A. **Engineering printable composites of poly ( $\epsilon$ -polycaprolactone) /  $\beta$ -tricalcium phosphate for biomedical applications.** *Polymer Composites*, vol.42, p.1198-1213, 2021.
- Bohner, M. **Calcium Orthophosphates in Medicine: from Ceramics to Calcium Phosphate Cements.** *Injury*, vol.31, p.37-47, 2000.
- Bonadio, T. G. M. **Biocompósitos de pentóxido de nióbio, hidroxiapatita e  $\beta$ -fosfato tricálcico: produção, caracterização e estudos in vivo como suportes ósseos denso e poroso.** 2014. 140 f. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Estadual de Maringá, 2014.
- Bose, S.; Darsell, J.; Kintner, M.; Hosick, H.; Bandyopadhyay, A. **Pore size and pore volume effects on alumina and TCP ceramic scaffolds.** *Materials Science and Engineering: C*, vol. 23, n. 4, p. 479–486, 2003.
- Bosworth, L. A.; Downes, S. **Physicochemical characterisation of degrading polycaprolactone scaffolds.** *Polymer Degradation and Stability*, vol. 95, n. 12, p. 2269–2276, 2010.
- Campbell, A. A. **Bioceramics for implant coatings.** *Materials Today*, vol. 6, n. 11, p.26–30, 2003.
- Cardoso, H. A. I. **Cimento de Alfa-TCP com Diferentes Aditivos: Cinética da Reação de Cura, Propriedades Mecânicas e Avaliação da Citotoxicidade.** 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- Chaojing, L; Laijun, L; Tiantian, Z; Fujun, W; Lu, W.  **$\beta$ -Tricalcium phosphate contained beaded-fiber scaffolds characterized by high early osteoinductive activity for vascularized bone regeneration.** *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 201, p.111639, 2021.
- Chen, C. M; Chen, S. M; Lin, S. F; Liang, H. C; Wu, C. C. **Clinical Efficacy of Polycaprolactone  $\beta$ -Calcium Triphosphate Composite for Osteoconduction in Rabbit Bone Defect Model.** *Polymers*, vol. 13, n.15, p.2552, 2021.
- Chen, W.; Chen, C.; Lee, J.; Lee, Y.; Ju, C.; Lin, J. C. **Structure, properties and animal study of a calcium phosphate/calcium sulfate composite cement.** *Materials Science and Engineering: C*, vol. 37, p. 60–67, 2014.
- Elliot, J. C. **Structure and chemistry of the apatites and other calcium orthophosphates.** *Studies in Inorganic Chemistry.* Elsevier Science B.v., Amsterdam, 1994.

Gan, Y.; Dai, K.; Zhang, P.; Tang, T.; Zhu, Z.; Lu, J. **The clinical use of enriched bone marrow stem cells combined with porous beta-tricalcium phosphate in posterior spinal fusion.** *Biomaterials*, v. 29, n. 29, p. 3973–3982, 2008.

Ghosh, R.; Sarkar, R. **Synthesis and characterization of sintered beta-tricalcium phosphate: A comparative study on the effect of preparation route.** *Materials Science and Engineering: C*, vol. 67, p. 345–352, 2016.

Guastaldi, A. C.; Aparecida, A. H. **Fosfatos de cálcio de interesse biológico: importância como biomateriais, propriedades e métodos de obtenção de recobrimentos.** *Química Nova*, v. 33, n. 6, p. 1352–1358, 2010.

Han, X; Gao, Y; Ding, Y; Wang, W; Liu, L; Zhao, A; Yang, P. **In vitro performance of 3D printed PCL - b-TCP degradable spinal fusion cage.** *Journal of Biomaterials Applications*, vol.35, n.10, p.1304-1314, 2021.

Helaehil, J. V; Lourenço, C. B; Huang, B; Helaehil, L. V; Camargo, I. X; Chiarotto, G. B; Santamaria-jr, M; Bartolo, P; Caetano, G. F. **In Vivo Investigation of Polymer-Ceramic PCL/HA and PCL/ $\beta$ -TCP 3D Composite Scaffolds and Electrical Stimulation for Bone Regeneration.** *Polymers*, vol.14, n.1, p.65, 2022.

Huang, S.; Hsu, T.; Huang, T.; Lin, C.; Shie, M. **Fabrication and characterization of polycaprolactone and tricalcium phosphate composites for tissue engineering applications,** *Journal of Dental Sciences*, vol. 12, n. 1, p. 33–43, 2017.

Jeong, H. J; Gwak, S. J; Seo, K. D; Lee, S; Yun, J. H; Cho, Y.S; Lee, S.J. **Fabrication of Three Dimensional Composite Scaffold for Simultaneous Alveolar Bone Regeneration in Dental Implant Installation,** *International Journal of Molecular Sciences*, vol.21, p.1863, 2020.

Joo, G; Park, M; Park, S. S; Tripathi, G; Lee, B. T. **Tailored alginate/PCL-gelatin- $\beta$ -TCP membrane for guided bone regeneration.** *Biomed Mater*, vol.17, n.4, 2022.

Kang, J. H; Kaneda, J; Jang, J. G; Sakthiabirami, K; Lui, E; Kim, C; Wang, A; Park, S. W; Yang, Y. P. **The Influence of Electron Beam Sterilization on In Vivo Degradation of  $\beta$ TCP/PCL of Different Composite Ratios for Bone Tissue Engineering.** *Micromachines*, vol.11, n.3, p.273, 2020.

Kwon, S.; Jun, Y.; Hong, S.; Lee, I.; Kim, H.; Won, Y. Y. **Calcium Phosphate Bioceramics with Various Porosities and Dissolution Rates.** *Journal of the American Ceramic Society*, v. 85, n. 12, p. 3129–3131, 2004.

Li, X; Saeed, S. S; Beni, M. H; Morovvati, M. R; Angili, S. N; Toghraie, D; Khandan, A; Khan, A. **Experimental measurement and simulation of mechanical strength and biological behavior of porous bony scaffold coated with alginate-hydroxyapatite for femoral applications.** *Composites Science and Technology*, vol.214, p. 108973, 2021.

Liu, B.; Lun, D. **Current Application of  $\beta$ tricalcium Phosphate Composites in Orthopaedics**. Orthopaedic Surgery, v. 4, n. 3, p. 139–144, 2012.

Liu, K; Sun, X. J; Zhu, Q; Jin, X; Zhang, Z; Zhao, Z; Chen, G; Wang, C; Jiang, H; Zhang, P. **Microstructures and properties of polycaprolactone/tricalcium phosphate scaffolds containing polyethylene glycol fabricated by 3D printing**. Ceramics International, vol.48, n.16, p.24032-24043, 2022.

Liu, L; Li, C; Jiao, Y; Jiang, G; Mao, J; Wang, F; Wang, L. **Homogeneous organic/inorganic hybrid scaffolds with high osteoinductive activity for bone tissue engineering**. Polymer Testing, vol.91, p.106798, 2020.

Liu, L; Zhang, T; Li, C; Jiang, G; Wang, F; Wang, L. **Regulating surface roughness of electrospun poly( $\epsilon$ -caprolactone)/ $\beta$ -tricalcium phosphate fibers for enhancing bone tissue regeneration**. European Polymer Journal, vol.143, n.15, p.110201, 2021.

Lopes, B. S. B. **Efeito osteogênico do compósito produzido com cerâmica de beta tricálcio fosfato, polímeros [PCL e PLGA] e  $\beta$ -ciclodextrina, associado à doxiciclina, no modelo de reparo ósseo alveolar em ratos**. 2019. 124f. Dissertação (Mestrado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

Lopez-Gonzales, I; Zamora-Ledezman, C; Sanchez-Lorencio, M. I; Barrenechea, E. T; Gabaldonhernanadez, J. A; Meseguer-Olmo, L. **Modifications in Gene Expression in the Process of Osteoblastic Differentiation of Multipotent Bone Marrow-Derived Human Mesenchymal Stem Cells Induced by a Novel Osteoinductive Porous MedicalGrade 3D-Printed Poly( $\epsilon$ -caprolactone)/  $\beta$ -tricalcium Phosphate Composite**. International Journal of Molecular Sciences, vol.22, p.11216, 2021.

Mellor, L. F; Nordberg, R. C; Huebner, P; Mohiti-Asli, M; Taylor, M. A; Efirid, W; Oxford, J. T; Spang, J. T; Shirwaiker, R. A; Lobo, E. G. **Investigation of multiphasic 3Dbioploted scaffolds for site-specific chondrogenic and osteogenic differentiation of human adipose derived stem cells for osteochondral tissue engineering applications**. International Journal of Molecular Sciences, vol.108B, p.2017-2030, 2020.

Moukbil, Y; Isindag, B; Gayir, V; Ozbek, B; Haskoylu, M. E; Oner, E. T; Oktar, F. N; Ikram, F; Sengor, M; Gunduz, O. **3D printed bioactive composite scaffolds for bone tissue engineering**. Bioprinting, vol.17, p.e00064, 2020.

Mueller, M. L; Ottensmeyer, M. P; Thamm, J. R; Schmelzeisen, R; Troulis, M. J; Guastaldi, F. P. S. **Increased Osteogenic Activity of Dynamic Cultured Composite Bone Scaffolds: Characterization and In Vitro Study**. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, vol.80, n.2, p.303-312, 2022.

Paredes, C; Martínez-Vázquez, F. J; Elsayed, H; Colombo, P; Pajares, A; Miranda, P.

**Using ductile cores for enhancing the mechanical performance of hollow strut  $\beta$ -TCP scaffolds fabricated by digital light processing.** *Ceramics International*, vol.47, n.7, p.10163-10173, 2021.

Park, C.; Kim, E.; Tijing, L. D.; Amarjargal, A.; Pant, H. R.; Kim, C. S.; Shon, H. K. **Preparation and characterization of LA/PCL composite fibers containing beta tricalcium phosphate ( $\beta$ -TCP) particles.** *Ceramics International*, v. 40, n. 3, p. 5049–5054, 2014.

PERES M. F. S. **Avaliação clínica do uso das proteínas derivadas da matriz do esmalte e do  $\beta$ tricálcio fosfato associado à hidroxiapatita em lesões de bifurcações interproximais classe II.** 2011. 99f. Dissertação (Mestrado em clínica odontológica - Periodontia). Universidade Estadual de Campinas, Piracicaba, 2011.

Phromyoo, S.; Lertcumfu, N.; Jaita, P.; Jarupoom, P.; Pengpat, K.; Rujijanagu, G. **Effects of barium zirconium titanate on the properties of  $\beta$ -tricalcium phosphate bioceramics.** *Ceramics International*, v.44, p.2661- 2667, 2018.

Piazzolla, A.; De Giorgi, G.; Solarino, G. **Vertebral body recollapse without trauma after kyphoplasty with calcium phosphate cement.** *Musculoskeletal Surgery*, v. 95, n. 2, p. 141–145, 2011.

Pinto, S. A. A; Dias, F. J. N; Cardoso, G. B. C; Santos Junior, A. R; Aro, A. A; Pino, D. S; Meneghetti, D. H; Vitti, R. P; Santos, G. M. T; Zavaglia, C. A. C. **Polycaprolactone/ BetaTricalcium Phosphate Scaffolds Obtained via Rotary Jet-Spinning: in vitro and in vivo Evaluation.** *Cells Tissues Organs*, v.10, p.1-15, 2021.

Puzipe, K. T. P. **Reparação óssea com o uso do beta fosfato tricálcico (B-tcp) na calota craniana de ratos submetidos ao alcoolismo experimental: análises histomorfológica e histomorfométrica.** 2016. Dissertação (Mestrado em Estomatologia e Biologia Oral) - Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, Bauru, 2016.

Ryu, H. S.; Youn, H. J.; Hong, K. S.; Chang, B.S. **An improvement in sintering property of  $\beta$ tricalcium phosphate by addition of calcium pyrophosphate.** *Biomaterials*, v. 23, n. 3, p. 909–914, 2002.

Shi, Y.; Liu, J.; Yu, L.; Zhong, L. Z.; Jiang, H. B.  **$\beta$ -TCP scaffold coated with PCL as biodegradable materials for dental applications.** *Ceramics International*, v. 44, n. 13, p. 15086–15091, 2018.

Shi, Y; Liu, J; Yu, L; Zhong, L. Z; Jiang, H. B.  **$\beta$ -TCP scaffold coated with PCL as biodegradable materials for dental applications.** *Ceramics International*, v.44, n.13, p.15086-15091, 2018.

Solomão, Z.; Dias, C. G. B. T.; Zavaglia, C. A. C. **Avaliação de um biotecido de PCL e  $\beta$ -TCP.** Congresso brasileiro de polímeros, Anais do 11º Congresso Brasileiro de Polímeros. Anais Campos do Jordão (SP) UNICAMP, 2011.

Song, X; Tang, Z; Liu, W; Chen, K; Liang, J; Yuan, B; Lin, H; Zhu, X; Fan, Y; Shi, X; Zhao, P; Yang, L; Zhang, K; Mikos, A. G; Zhang, X. **Biomaterials and regulatory science**. Journal of Materials Science & Technology, v.128, p.221-227, 2022.

Tadic, D.; Eppele, M. **A thorough physicochemical characterisation of 14 calcium phosphate-based bone substitution materials in comparison to natural bone**. Biomaterials, v. 25, n. 6, p. 987–994, 2004.

Thanigaivel, S; Priya, A. K; Balakrishnan, D; Dutta, K; Rajendran, S; Soto-Moscoso, M. **Insight on recent development in metallic biomaterials: Strategies involving synthesis, types and surface modification for advanced therapeutic and biomedical applications**. Biochemical Engineering Journal, v.187, p.108522, 2022.

Tunthasen, R; Pripatnanont, P; Meesane, J. **Fabrication and characterization of a semi-rigid shell barrier system made of polycaprolactone and biphasic calcium phosphate: A novel barrier system for bone regeneration**. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, v.124, p.104841, 2021.

Valentim, R. M. B; Andrade, S. M. C; Dos Santos, M. E. M; Santos, A. C; Pereira, V. S; Dos Santos, I. P; Dias, C. G. B. T; Dos Reis, M. A. L. **Composite Based on Biphasic Calcium Phosphate (HA/ $\beta$ -TCP) and Nanocellulose from the Açai Tegument**. Materials, v. 11, n. 11, p. 2213, 2018.

Van, T. T. T; Makkar, P; Farwa, U; Lee, B. T. **Development of a novel polycaprolactone based composite membrane for periodontal regeneration using spin coating technique**. Journal of Biomaterials Science, v.33, n.6, p.783-800, 2022.

Verlaan, J. J.; Van Helden, W. H.; Oner, F. C.; Verbout, A. J.; Dhert, W. J. A. **Balloon Vertebroplasty with Calcium Phosphate Cement Augmentation for Direct Restoration of Traumatic Thoracolumbar Vertebral Fractures**. Spine, v. 27, n. 5, p. 543–548, 1976.

Wang, Q; Ye, W; Ma, Z; Xie, W; Zhong, L; Wang, Y; Rong, Q. **3D printed PCL/ $\beta$ -TCP crossscale scaffold with high-precision fiber for providing cell growth and forming bones in the pores**. Materials Science and Engineering: C, v.127, p.112197, 2021.

Wiltfang, J.; Merten, H. A.; Schlegel, K. A.; Schultze-Mosgau, S.; Kloss, F. R.; Rupprecht, S.; Kessler, P. **Degradation characteristics of  $\alpha$  and  $\beta$  tri-calcium-phosphate (TCP) in minipigs**. Journal of Biomedical Materials Research, v. 63, n. 2, p. 115–121, 2002.

Wu, Y; Chen, X; Zhao, G; Chen, R; Liu, Y; Ren, H; Qu, X; Liu, Y.  **$\beta$ -Tricalcium phosphate/epolycaprolactone composite scaffolds with a controllable gradient: Fabrication and characterization**. Ceramics International, v.45, n.13, p.16188-16194, 2019.

Xie, L.; Yu, H.; Deng, Y.; Yang, W.; Liao, L.; Long, Q. **Preparation, characterization and in vitro dissolution behavior of porous biphasic  $\alpha/\beta$ tricalcium phosphate bioceramics**. Materials Science and Engineering, 59, 1007- 1015, 2016.

Yang, L; Jin, S; Shi, L; Ullah, I; Yu, K; Zhang, W; Bo, L; Zhang, X; Guo, X. **Cryogenically 3D printed biomimetic scaffolds containing decellularized small intestinal submucosa and Sr<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup> co-substituted hydroxyapatite for bone tissue engineering.** Chemical Engineering Journal, v.431, p.133459, 2022.

Yashima, M.; Sakai, A. **High-temperature neutron powder diffraction study of the structural phase transition between  $\alpha$  and  $\alpha'$  phases in tricalcium phosphate  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .** Chemical Physics Letters, v.372, p.779-783, 2003.

Yin, X.; Stott, M. J.; Rubio, A.  **$\alpha$ - and  $\beta$ tricalcium phosphate: A density functional study.** Physical Review B, v. 68, n. 20, 2003.

Young, C. S.; Ladd, P. A.; Browning, C. F.; Thompson, A.; Bonomo, J.; Shockley, K.; Hart, C. E. **Release, biological potency, and biochemical integrity of recombinant human platelet-derived growth factor-BB (rhPDGF-BB) combined with Augment<sup>TM</sup> Bone Graft or GEM 21S betatricalcium phosphate ( $\beta$ -TCP).** Journal of Controlled Release, v. 140, n. 3, p. 250–255, 2009.

Yun, S; Choi, D; Choi, D. J; Jin, S; Yun, W. S; Huh, J. B; Shim, J. H. **Bone Fracture-Treatment Method: Fixing 3D-Printed Polycaprolactone Scaffolds with Hydrogel Type Bone-Derived Extracellular Matrix and  $\beta$ -Tricalcium Phosphate as an Osteogenic Promoter.** International Journal of Molecular Sciences, v.22, p.9084, 2021.

Zhang, K; Ma, B; Hu, K; Yuan, B; Sun, X; Song, X; Tang, Z; Lin, H; Zhu, X; Zheng, Y; Garcia, A. J; Mikos, A. G; Anderson, J. M; Zhang, X. **Evidence-based biomaterials research.** Bioactive Materials, v.15, p.495-503, 2022.

Zhang, X.; Li, Y.; L. V, G.; Zuo, Y.; Mu, Y. **Thermal and crystallization studies of nanohydroxyapatite reinforced polyamide 66 biocomposites.** Polymer Degradation and Stability, v. 91, n. 5, p. 1202–1207, 2006.

Zhang, Y; Liu, L; Li, C; Jin, Q; Xie, Q; Li, P; Wang, F; Wang, L. **Preparation of exosome functionalized shish-kebab fibrous membrane and its osteogenic differentiation ability.** Journal of Textile Research, vol.43, n.3, p.24-30, 2022.

## Índice Remissivo

### A

Argamassa 6, 29, 30, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 42, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55  
Argamassa 29, 45, 46, 47, 49, 52, 54, 55  
Argamassa Industrializada Tradicional 42  
Arquitetura 11

### B

Beta Fosfato Tricálcico (B-Tcp) 10  
Bioatividade 10, 11, 12, 16  
Biocerâmica 11, 19, 20  
Biodegradabilidade Controlável 11  
Biomaterial 6, 12, 13, 14

### C

Carência Mecânica 10  
Casas Populares 42, 45, 49  
Cerâmica 6, 10, 11, 24, 49  
Confecção De Compósitos 10  
Conforto Térmico 42, 43  
Construção Civil 30, 38, 43, 44, 45, 46, 54, 55  
Custo 38, 42

### D

Desempenho Térmico 42, 43, 45, 53, 54

### E

Efeito Estufa 30  
Efeitos Sinérgicos 10  
Eficiência Energética 30

### F

Fibra Natural 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37  
Fibras Sintéticas 30  
Fissuras De Retração 42

### I

Isolante Térmico 42, 44

### L

Lixo Ambiental 29

### M

Mão De Obra 42

Materiais Aprimorados 10  
Materiais Construtivos 29  
Material 6, 11, 12, 14, 18, 30, 42, 43, 45, 46, 53  
Material Projetado 11  
Minério De Vermiculita 42, 43  
Morfologia De Superfície 11

## O

Orientação Solar 42, 49

## P

Paredes 42, 45, 46, 47, 49, 51, 54, 55  
Policaprolactona (Pcl) 10, 11, 17, 21  
Polímero 10, 11  
Porosidade 6, 11, 14, 19, 48  
Processo De Manufatura 11  
Produção 10, 15, 16, 22, 29, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 47, 55  
Propriedades Físico-Químicas 11

## R

Reação Álcali-Sílica 30  
Reciclagem Do Vidro 30  
Resíduos 29, 30, 33, 34, 37, 55  
Resistência À Compressão 13, 30, 31, 34, 46

## S

Scaffolds 10, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27  
Sustentabilidade 29

## T

Temperatura 42, 43, 44, 46, 51, 52, 53  
Temperatura Em Ambientes 42  
Termômetros 42  
Tipos De Reboco 42

## V

Vermiculita Expandida 42, 44, 45, 48, 54  
Vidro Reciclado 29, 31, 32, 33, 34, 35, 37  
Vidros Coloridos 30

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 



[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 