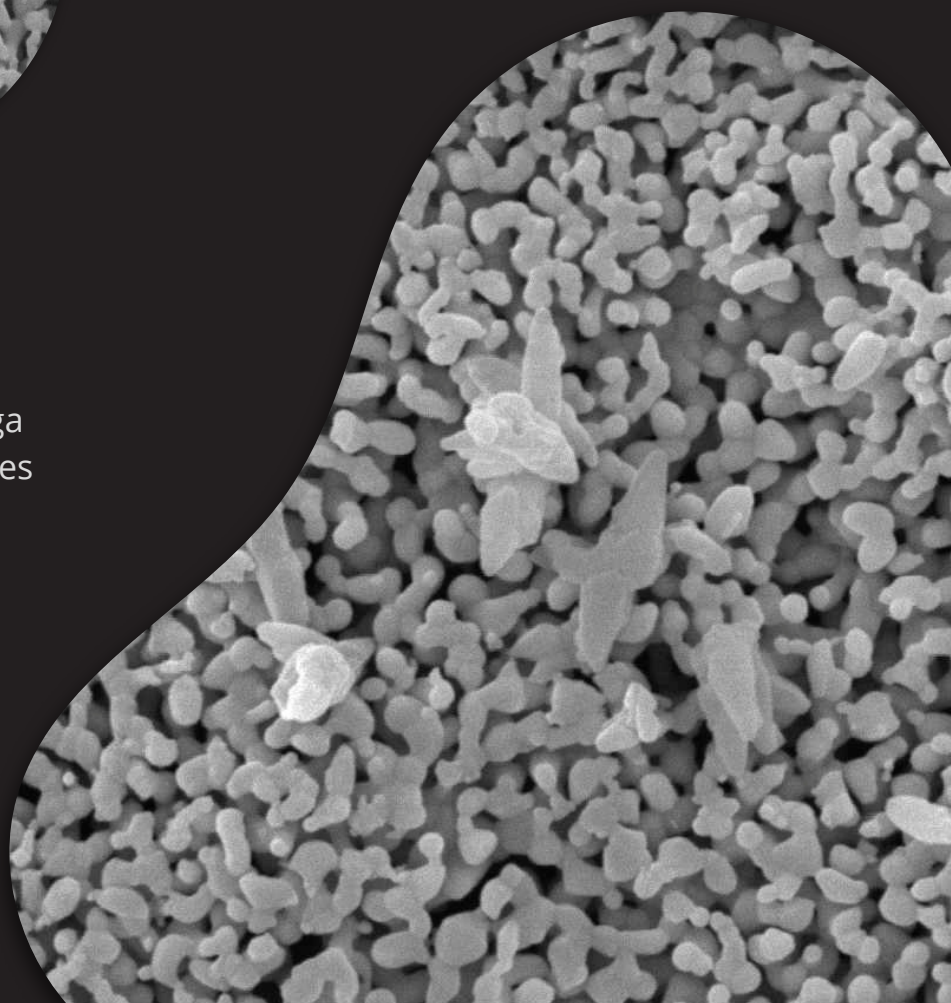
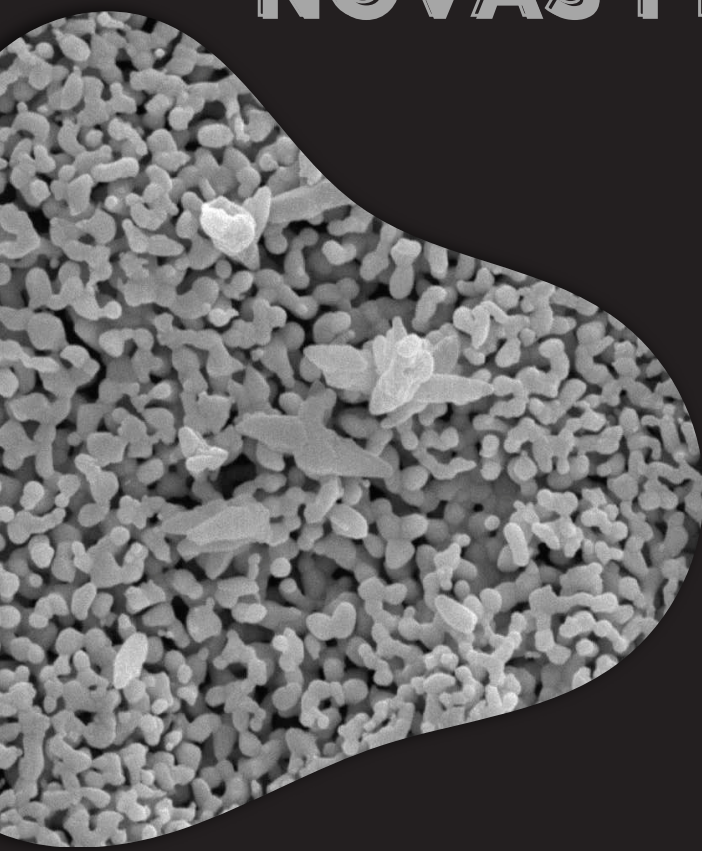


ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS CERÂMICOS: NOVAS PERSPECTIVAS

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

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 β -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 β -TCP + PCL: UMA BREVE REVISÃO

Ycaro Breno Alves de Almeida¹;

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

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

Diógenes de Moura Júnior²;

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

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

José Rosa de Souza Farias³;

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

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

Veruska do Nascimento Simões⁴;

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

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

Ketelly Estefane da Silva Alves⁵;

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

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

Geysivana Késsya Garcia Carvalho⁶;

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

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

Slanna Larissa Olimpio Costa⁷;

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

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

Victória Régia Alves Sales⁸;

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

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

Maysa Memória Martins⁹;

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

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

Gabriel Lima Bastos¹⁰;

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

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

Valdeci Bosco dos Santos¹¹;

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 Braga¹².

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 (β -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 β -TCP é suprida pelo polímero PCL, enquanto a ausência de bioatividade do PCL é alcançada por meio do β -TCP. Tendo isso em mente, este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão dos efeitos sinérgicos do compósito β -TCP+PCL publicados nos últimos anos.

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

THE SYNERGIC EFFECTS OF β -TCP + PCL COMPOSITE: A BRIEF REVIEW

ABSTRACT: The manufacture of composites is a viable way to produce improved materials. Tricalcium phosphate (β -TCP) and polycaprolactone (PCL) scaffolds combine advantages of ceramic and polymer, supplying as produced from each. Thus, the mechanical load of β -TCP is supplied by the PCL polymer, while the absence of PCL bioactivity is achieved by the β -TCP medium. With this in mind, this work aims to review the synergistic effects of the β -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 β -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 β -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 (β -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 β -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: β -TCP, encontrada estável em intervalos de temperaturas moderadas de 800 a 1125 °C; α -TCP, mantendo-se equilibrada na faixa de 1125 a 1430 °C; α' -TCP, detectada em temperaturas acima de 1430 °C e γ -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 α' -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

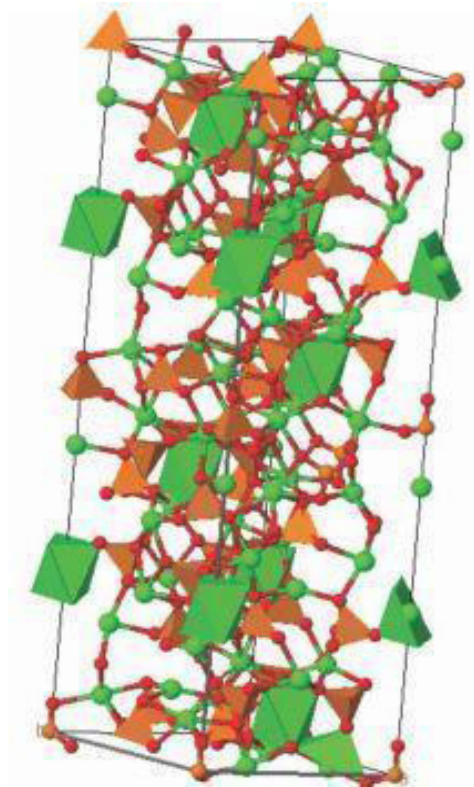
Fase Alotrópica	Sistema	a (nm)	b (nm)	c (nm)
α -TCP	Monoclínico	1,287	2,728	1,521
β -TCP	Romboédrico	1,043	1,043	3,737
γ -TCP	Romboédrico	0,524	-	1,867

Fonte: Guastaldi e Aparecida, 2010

O β -fosfato tricálcico (β -Ca₃(PO₄)₂), 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 α (α -Ca₃(PO₄)₂), 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 β 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 β -TCP em relação ao α -TCP, em que o β -TCP com vacâncias de Ca uniformemente distribuídas é a estrutura mais estável (Valentim et al., 2018; Yin et al., 2003).

A transformação de β -TCP para α -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 β TCP e policaprolactona ((C₆H₁₀O₂)_n, PCL) possui suas propriedades mecânicas variáveis, aumentando constantemente à medida que a porção de β -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 (PO₄³⁻) (Bonadio, 2014).

Figura 1. Representação esquemática da estrutura cristalina do β -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).

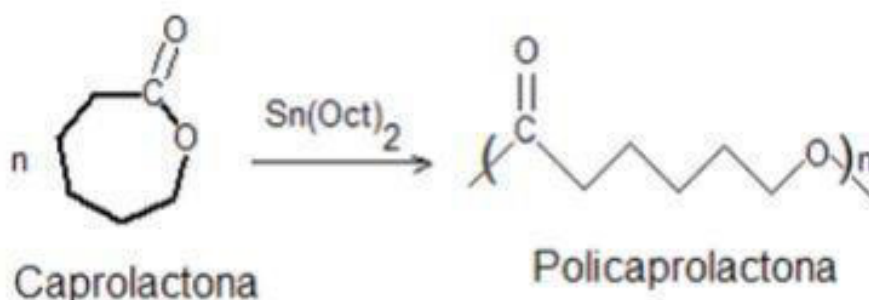
β -TCP/PCL

Os substitutos ósseos cerâmicos baseados em fosfatos de cálcio, em específico o β -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 β -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- ϵ -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 β -TCP quanto do PCL é a realizado a incorporação de ambos, em que os íons cálcio e fosfato de β -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 β -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 β -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 β -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 β -TCP + PCL. A seguir, serão mencionados os principais resultados de alguns dos estudos encontrados, onde o efeito sinérgico da união β -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 β -tricálcio fosfato (β -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 β -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 β -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 β -tricálcio/policaprolactona (β -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/ β -TCP, que contém fibras grossas com diâmetro de 500 μ 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 μm 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 β -TCP no material compósito fornece Ca^{2+} e 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/ β -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(ϵ -caprolactona) (PCL) com fosfato β -tricalcico (β -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 β -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 β -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/ β -TCP) desenvolvidas com diferentes composições utilizando a técnica RJS. Scaffolds com β -TCP foram produzidos com 5 e 10% em peso de biocerâmicas. Foi reportado que o diâmetro das fibras de menor variação em PCL/ β -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 β -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 β -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 β 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 – β -TCP com um módulo de elasticidade próximo ao do osso esponjoso humano. PCL e β -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: β -TCP atenderam às propriedades mecânicas do osso esponjoso humano, mantendo sua integridade estrutural. A atividade biológica das gaiolas melhorou com maiores quantidades de β TCP.

Yun et al. (2021) investigaram três tratamentos usando dois materiais diferentes, um descelularizado derivado de osso matriz extracelular (bdECM) e fosfato β -tricálcico (β -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+ β 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 β -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 β -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 β -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(ϵ -caprolactona) (PCL) e β tricálcio (β -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/ β 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 β -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 β -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 β -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/ β -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 β 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- β -fosfato tricálcico de alginato fundido foi fabricada por processos de eletrofição 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 β 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 β -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 β -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)/ β -tricálcio (β -TCP) shish-kebab por eletrospinning e cristalização induzida por solvente. Foi verificado que a estrutura shish-kebab foi induzida com sucesso em nanofibras PCL/ β -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 β -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 β -TCP + PCL apresentou-se como uma boa alternativa para aplicação biológicas, que une as boas propriedades bioativas e osteocondutoras do β 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 (ϵ -polycaprolactone) / β -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 β -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. **β -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 β -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/ β -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- β -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 β 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 β 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(ϵ -caprolactone)/ β -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 β -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(ϵ -caprolactone)/ β -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; Efird, 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 β -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 (β -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 β 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 β -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 β 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. **β -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. **β -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 β -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/ β -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/ β -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 α and β 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. **β -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 α/β 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 Sr²⁺/Fe³⁺ 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 α and α' 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. **α - and β 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 AugmentTM Bone Graft or GEM 21S betatricalcium phosphate (β -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 β -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.

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

Elaine Ferreira dos Santos Fernandes¹;

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

<http://lattes.cnpq.br/3325233130338911>

Érica Karine Alves de Lima²;

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

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

Eliana Silva Aguiar³;

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

<http://lattes.cnpq.br/0559260548554910>

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva⁴;

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

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

Agnelo Moraes⁵;

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

<http://lattes.cnpq.br/8892591806142678>

José Rosa de Souza Farias⁶;

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

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

Veruska do Nascimento Simões⁷;

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

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

Ketelly Estefane da Silva Alves⁸;

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

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

Maria Elayne Rodrigues Alves⁹;

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

<http://lattes.cnpq.br/6730439235097176>

Gabriel Lima Bastos¹⁰;

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

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

Aluska do Nascimento Simões Braga¹¹;

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

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

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

Valdeci Bosco dos Santos¹².

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

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

<http://lattes.cnpq.br/0011700686113389>

RESUMO: Esse estudo realizou uma análise bibliométrica sobre argamassa cimentícia com a inclusão combinada do vidro reciclado e fibra natural, utilizando as bases de dados da Scopus e Web of Science. Dos 189 documentos científicos obtidos, apenas 4 foram pertinentes ao tema proposto. Os resultados mostraram haver necessidade de mais produções científicas sobre o tema, encorajando a diminuição contínua de produção de lixo ambiental e materiais construtivos com propriedades superiores.

PALAVRAS-CHAVE: Vidro reciclado. Fibra natural. Argamassa. Sustentabilidade.

WASTE (GLASS AND NATURAL FIBER) AS ADDITIVES COMBINED IN CEMENT MORTAR

ABSTRACT: This study carried out a bibliometric analysis on cementitious mortar with the combined inclusion of recycled glass and natural fiber, using the Scopus and Web of Science databases. Of the 189 scientific documents obtained, only 4 were relevant to the proposed topic. The results showed that there is a need for more scientific production on the subject, encouraging the continuous decrease in the production of environmental waste and construction materials with superior properties.

KEY-WORDS: Recycled glass. Natural fiber. Mortar. Sustainability.

INTRODUÇÃO

O vidro reciclado e a fibra natural são exemplos de resíduos que podem ser reintroduzidos na cadeia produtiva e transformados em novos produtos. Dessa forma, a

reciclagem do vidro na construção civil é possível devido ao caráter pozolânico que ele apresenta, o qual permite a sua utilização como substituto parcial do cimento, ou agregados (grãos, miúdos) ou filler (Sasui et al., 2021; Yang et al., 2021). Já para as fibras naturais, é visto que suas propriedades mecânicas apresentam características análogas às fibras sintéticas. Além da vantagem de serem mais econômicas (Motta e Agopyan, 2007) são também ambientalmente amigáveis devido serem passíveis de reuso e reciclagem, por sua eficiência energética e por permitirem uma menor geração de gases do efeito estufa (Silva et al., 2015).

Entretanto, para a utilização do vidro e da fibra natural como material cimentício suplementar e de reforço mecânico, respectivamente, alguns padrões devem ser analisados. Para que o vidro contribua para um bom desempenho físico e mecânico quando incorporado na argamassa cimentícia, a porcentagem de adição/substituição do pó vítreo (Šimonová et al., 2017), sua coloração (Tan e Du, 2013) e o tamanho das partículas (Patel et al., 2019) devem estar em concordância na composição, para que a expansão deletéria álcali-silica não ocorra.

Em termos de porcentagem, conforme Bentchikou et al. (2017) e Šimonová et al. (2017), é visto que os melhores resultados são obtidos para 10 e 20% de substituição de cimento pelo vidro em argamassas, pois valores acima de 50% prejudicam o compósito (Tan e Du, 2013). Por exemplo, Morais (2021), preparou argamassas cimentícias com substituição entre 5 e 25% de pó de vidro. A argamassa com 20% de pó fino de vidro foi a que alcançou a máxima resistência à compressão (30%) em comparação a argamassa de referência.

Em relação aos vidros coloridos, segundo Rashad (2014), não se observa influência na resistência mecânica. Entretanto, em desacordo com essa afirmação, algumas pesquisas, como por exemplo os estudos de Tan e Du (2013) e Gorospe et al. (2019) mostraram que para o pó de vidro transparente é observado o aparecimento injustificado de microfissuras em suas partículas durante a moagem, o que favorece a reação álcali-silica.

A origem destes resíduos de vidro pode ser dada a partir do reuso de diversos materiais, como lâmpadas fluorescentes, vidro de cristal, vidro de funil (Saccani et al., 2017), garrafas long neck (Trentin et al., 2020) e vidros planos (Bentchikou et al., 2017). Dentre estes materiais utilizados, as argamassas que usavam lâmpadas fluorescentes foram as que desenvolveram mais a expansão deletéria álcali-silica no corpo de prova (Saccani et al., 2017). Sobre o tamanho da partícula vítrea, cada vez mais autores (Patel et al., 2019; Morais, 2021) vem verificando resultados benéficos as argamassas cimentícias com dimensão do pó de vidro fino ($\leq 75 \mu\text{m}$).

Fator similar de padrões que devem ser analisados também ocorre com as fibras naturais, as quais devem ter a porcentagem de adição ao compósito analisada (Silva et al., 2015), bem como comprimento da fibra (Motta e Agopyan, 2007) e a escolha de um tratamento superficial (Onuaguluchi e Banthia, 2016).

Sendo assim, para a porcentagem, Benaimeche et al. (2018), Silva et al. (2015), Vantadori et al. (2019) observaram que o excesso de fibras naturais prejudica o compósito em relação à trabalhabilidade e tenacidade. Em relação ao comprimento das fibras, é visto que fibras curtas (≤ 50 mm) são as que contribuem para os melhores resultados mecânicos (Silva et al., 2015; Vantadori et al., 2019). Por exemplo, Oliveira Junior (2019), Dourado (2019) e Alves (2021) utilizaram fibras curtas de coco babaçu em concretos e argamassas cimentícias, e relataram um aumento expressivo na resistência à compressão em concretos (46%) e em argamassas cimentícias (74%), em comparação aos compósitos sem fibras. Estas fibras também melhoraram o comportamento pós-fissuração das argamassas. Além das fibras de coco babaçu, fibras naturais (Figura 1) como de bagaço de cana-de-açúcar, coco, palma e sisal (Ruano et al., 2020; Bertelsen et al., 2020; Noronha et al., 2020; Lassoued et al., 2018), também vem contribuindo para melhorar o desempenho mecânico dessas argamassas.

Figura 1. Fibras naturais a) Palma b) Sisal.



Fonte: Os autores, 2023

A presença de um tratamento superficial também é importante devido à necessidade de se melhorar a ligação interfacial fibra-matriz do compósito (Benaimeche et al., 2018; Dourado, 2019). Dessa forma, o tratamento químico na superfície da fibra pode ser tanto um tratamento alcalino ou ácido, como processos de silanização, acetilação, acrilização, polpação, hornificação entre outros pré-tratamentos (Onuaguluchi e Banthia, 2016).

Em suma, o que torna esses materiais (vidro reciclado e fibra natural) interessantes não são apenas o grande ganho ambiental obtido pelos seus reusos individuais, mas o proveito positivo nas propriedades de interesse do produto final em que são adicionados. Assim, em pesquisas com a fibra natural, é apresentada um ganho na resistência à compressão, tração e flexão (Silva et al., 2015; Wongsu et al., 2020). Boas características no aumento da resistência à retração plástica do compósito formado por fibra de linho

mais argamassa, por exemplo, se devem a uma redução da largura das fissuras com a adição das fibras (Onuaguluchi e Banthia, 2016). Similarmente, aumento na resistência à compressão quando utilizado o vidro moído, aumento da trabalhabilidade e redução da densidade, boa elasticidade e pouca absorção de água na argamassa, também tem sido relatado (Rashad, 2014; Tan e Du, 2013).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo investigar a utilização da junção de vidro reciclado e fibra natural em argamassa cimentícia, para uma maior contribuição ambiental em uma construção sustentável. Para tal, foi realizado um mapeamento em torno das publicações sobre a temática.

METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma análise bibliométrica acerca da utilização em conjunto de vidro reciclado e fibras naturais para a produção de argamassas cimentícias. Desse modo, foram realizadas buscas por documentos disponíveis nas bases de dados da Scopus e Web of Science,

através da combinação das seguintes palavras-chave, em inglês: mortar, glass, natural, fiber e vegetable. Foram utilizadas truncagens para os termos “natural fiber” e “vegetable fiber”, com o objetivo de restringir e dar maior especificidade aos resultados. Os campos de pesquisa de título e resumo foram escolhidos para a realização da busca. Considerou-se, portanto, todos os resultados reportados pelas bases até maio de 2022 (data do levantamento de dados), os quais foram posteriormente refinados. Dessa maneira, foram selecionados apenas os documentos pertinentes à temática proposta para esta investigação, enquanto os demais que fossem duplicados e/ou com temática diferente foram excluídos do estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados reportados a partir do levantamento realizado nos bancos de dados da Scopus e Web of Science são apresentados na Tabela 1. Pode-se notar que o termo “natural” é mais utilizado que o “vegetable”, devido ao termo “natural fiber” se referir a um conceito mais amplo na qual “vegetable fiber” é uma ramificação.

Tabela 1. Relação entre palavras-chave e resultados reportados pelas bases de documentos científicos.

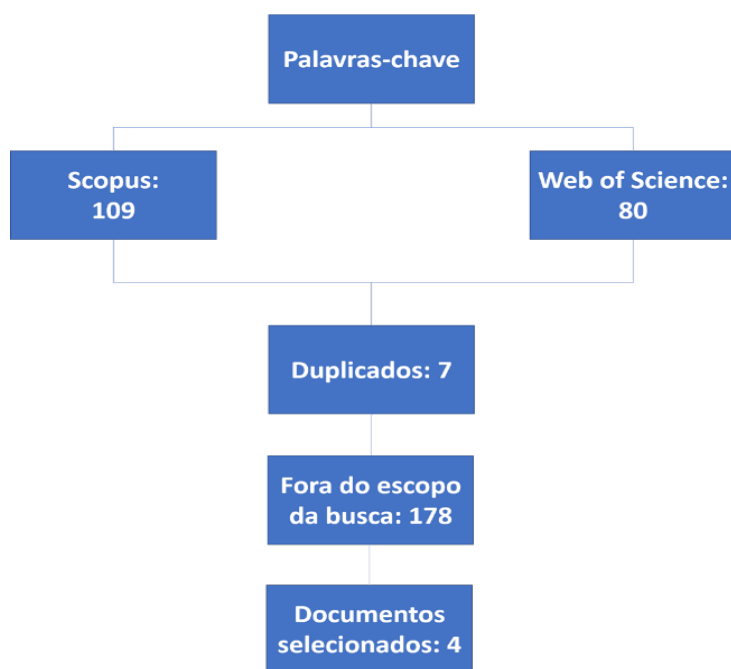
Palavras-Chave	Scopus	Web of science
mortar and glass and natural and fiber	80	65
mortar and glass and “natural fiber”	19	8
mortar and glass and vegetable and fiber	7	5
mortar and glass and “vegetable fiber”	3	2

Fonte: Os autores, 2023.

Comparando as duas bases científicas, percebe-se que houve uma proporção maior de resultados na plataforma da Scopus, a qual se deve ao fato de uma maior cobertura no seu banco de dados internacional (Vieira e Wainer, 2013). Salvo algumas publicações localizadas na Web of Science, a maioria também foram encontradas na Scopus.

Após o refinamento dos resultados reportados pelas bases para todas as combinações de palavras-chave (Figura 2), houve uma grande restrição e especificidade nas publicações do recorte. Dessa forma, sobre o total de 189 resultados encontrados, realizou-se uma análise crítica, pautada na leitura dos títulos e dos resumos das publicações. Assim, foram identificados resultados duplicados (7 publicações), presentes em ambas as bases de dados, sendo um deles excluído. Foram eliminadas também 178 publicações que estavam fora do escopo da busca relacionada à temática proposta. Ao término do refinamento, restaram apenas 4 publicações pertinentes, as quais utilizaram a junção de resíduos de vidro e fibra natural na produção de argamassa cimentícia. Ou seja, das 189 publicações encontradas na busca, após todo o refinamento, apenas 4 estavam dentro do escopo da pesquisa, embora se percebesse que outros trabalhos também tivessem alguma relação ou fizessem menção a aplicações sustentáveis no setor construtivo.

Figura 2. Fluxograma do refinamento dos resultados reportados pelas bases.

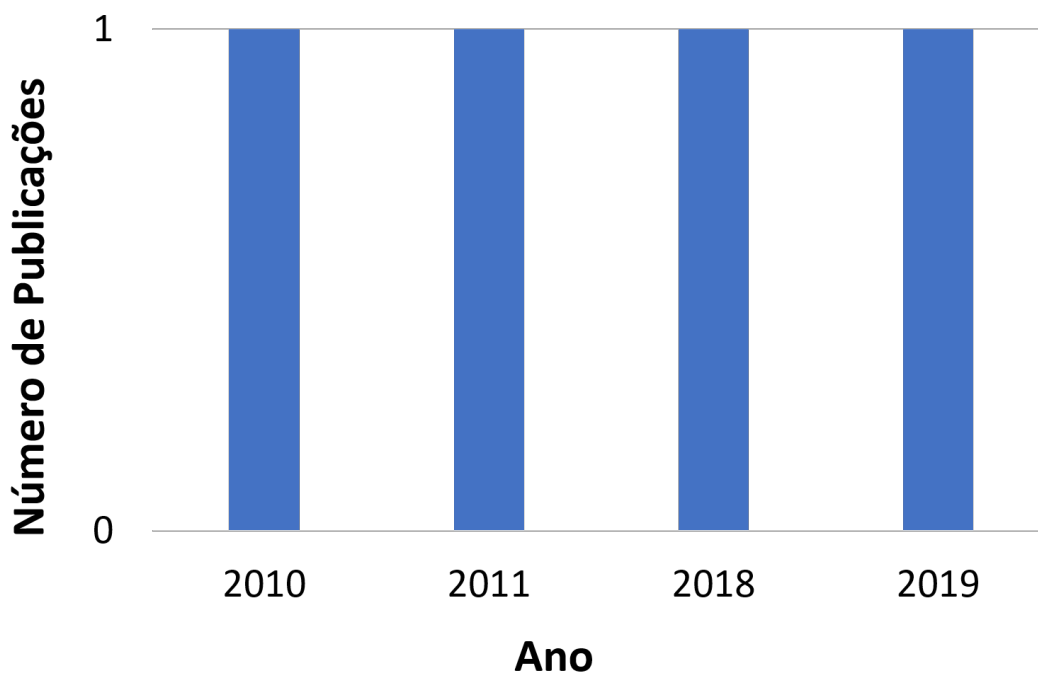


Fonte: Os autores, 2023.

Em uma análise temporal (Figura 3), nota-se que o foco em torno da pesquisa envolvendo o efeito combinado do vidro reciclado e fibra natural em argamassa ainda é baixo e relativamente novo. Percebe-se um intervalo de 8 anos entre as primeiras publicações (2010-2011) e as mais atuais (2018- 2019), mesmo havendo um aumento crescente da geração de resíduos pela população e crescente necessidade de uma destinação adequada

e sustentável para estes materiais. Não obstante, é notório que essa temática ainda não conseguiu alcançar grande relevância dentre os pesquisadores, apesar de seu potencial de aplicação.

Figura 3. Quantidade de publicações por ano.



Fonte: Os autores, 2023.

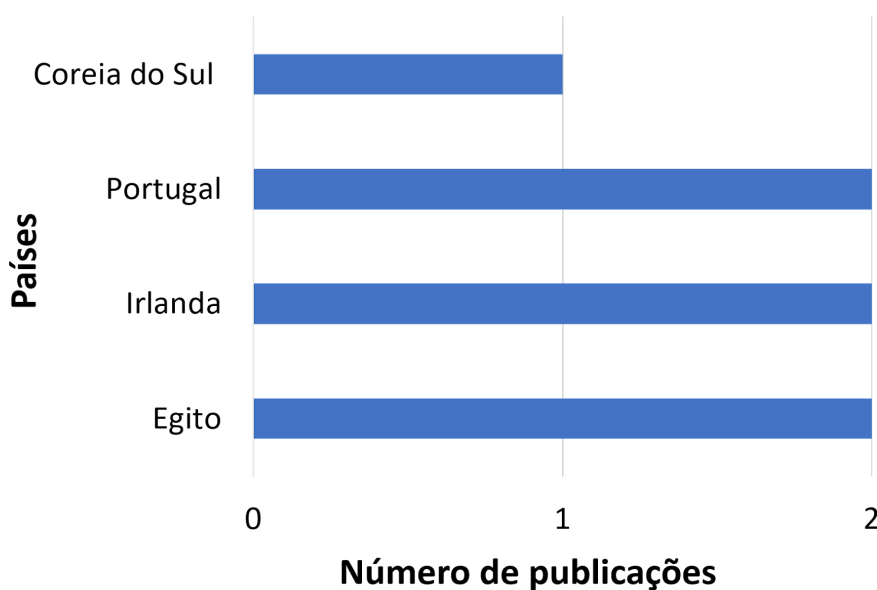
Neste contexto, na pesquisa de Aly et al. (2010), com argamassa contendo pó de vidro e fibra de linho, é demonstrado haver um ganho significativo de durabilidade desta fibra quando adicionado o pó de vidro. Quanto à resistência à flexão em argamassas apenas com fibras de linho, observou-se valores menores que as argamassas que continham em sua composição fibras de linho mais vidro reciclado. Além disso, em relação à tenacidade, o compósito de fibra de linho e vidro exibiu resultados mais favoráveis que a argamassa apenas com a fibra de linho.

Já Mastali et al. (2018), usaram o resíduo de vidro e fibra de cânhamo como também as cinzas volantes e o hidróxido de cálcio para a produção da argamassa. Aos 28 dias, pôde-se concluir que a argamassa de referência (com cinzas volantes, resíduos de vidro, hidróxido de cálcio) apresentou 10 MPa de resistência à compressão, enquanto a que possuía 4% fibra de cânhamo (ou seja, argamassa referência + fibra) apresentou 8 MPa, sendo esse o melhor valor de resistência dentre as argamassas contendo outras proporções de fibra. Similarmente, também houve redução na resistência à flexão. Entretanto, é apontado pelo autor que a decorrência dessas falhas estava ligada a uma falta de tratamento superficial

nas fibras que resultou em uma má adesão entre fibra e matriz cimentícia. Dessa forma, compreende-se por este estudo a importância dos cuidados iniciais (tratamento da fibra, porcentagem de adição e comprimento) que deve ter tanto para a fibra natural quanto para o vidro reciclado, antes de serem inclusos nas misturas de argamassas para a obtenção do compósito final.

Outra vertente a ser analisada trata-se dos países que mais publicaram sobre a temática (Figura 4), sendo apenas Coreia do Sul, Portugal, Irlanda e Egito. De fato, em função da filiação dos diferentes autores envolvidos, algumas publicações foram classificadas em mais de um país de origem, o que nos fornece o panorama apresentado na Figura 4. Sob essa ótica, dentre os países listados, a Coreia do Sul encontra-se em 4º lugar no ranking mundial dos países com maior número de construções sustentáveis em 2021 (USGBC, 2021), e vem se mantendo há alguns anos entre os 10 primeiros no ranking, fato que pode estar associado à sua presença neste estudo.

Figura 4. Quantidade de trabalhos publicados por países.



Fonte: Os autores, 2023

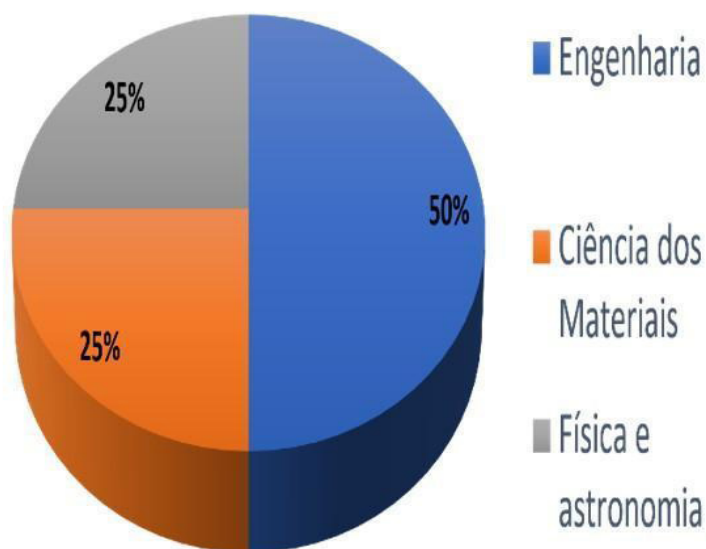
De acordo com Índice de Desenvolvimento Sustentável da Fundação Bertelsmann (dados de 2020), Portugal e Irlanda exibem respectivamente, a posição de 18º e 15º em relação às políticas ambientais, que interligam esses países a temas como políticas de mudanças climáticas e economia circular (SGI, 2020). O Egito também se desenvolve nesse ramo, com estratégia de desenvolvimento sustentável estabelecida desde 2016 até 2030, e com planejamento de construção de cidades de 4º geração. Isso é, com foco em cidades sustentáveis que gere vantagem para a geração atual como para as próximas (MPED, 2021). Em todo caso, percebe-se ainda uma tímida projeção em relação ao desenvolvimento do

tema ao redor do mundo. Contudo, acredita-se que o mesmo está ganhando importância em função do paradigma de desenvolvimento sustentável.

Em relação ao Brasil, ainda não há nenhuma publicação sobre argamassa contendo a junção de vidro e fibra natural, podendo sugerir que o tema ainda não foi amplamente investigado por pesquisadores do país. Isto pode comprovar a incipiência e caráter inovador sobre a temática, sobretudo porque mesmo dentre outros países não se observou um número expressivo na produção científica e/ou tecnológica que fosse altamente significativo.

Na Figura 5 consegue-se ter uma noção de quais áreas são mais impactadas pela temática proposta neste estudo. Pode-se perceber que o resultado obtido para o recorte da pesquisa, concentra a maior parte das publicações na área de Engenharia (50%) e Ciência dos Materiais (25%). Essas áreas se destacam devido ao caráter tecnológico e interdisciplinar do tema, em que é possível a interrelação entre processamento, estrutura e propriedades, resultando em materiais de Engenharia mais otimizados para as diversas aplicações (Callister e Rethwisch, 2018), a exemplo de materiais pozolânicos e/ou reforços mecânicos para o setor construtivo. Por outro lado, 25% das publicações estão relacionadas à área de “Física e astronomia”, o que se refere à publicação intitulada como Durability of waste glass flax fiber reinforced mortar (Aly et al., 2010).

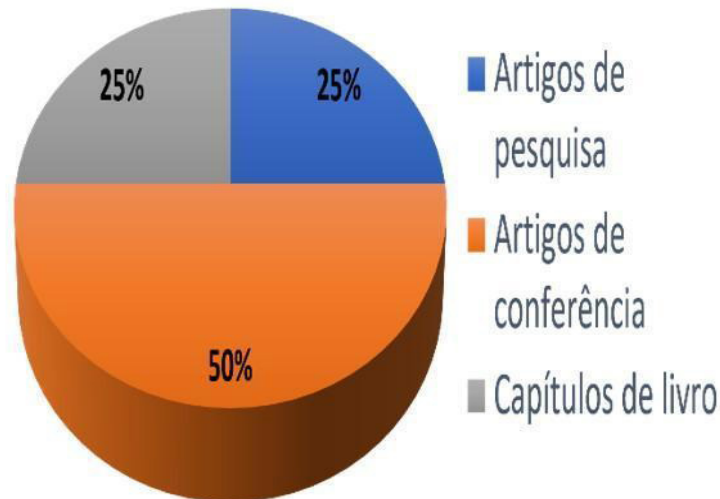
Figura 5. Publicações classificadas por área/categoria.



Fonte: Os autores, 2023

Outra possível forma de agrupar os 4 resultados obtidos é classificando-os quanto ao tipo de produção científica (Figura 6).

Figura 6. Publicações classificadas por tipo de produção.



Fonte: Os autores, 2023

Logo, como demonstrado na Figura 6, pode-se perceber que a classe referente a artigos de conferência corresponde a 50% do total de publicações, possivelmente pela vantagem que essa categoria proporciona ao possibilitar uma apresentação concisa e consistente dos resultados, a qual possui maiores alcance e respaldo da comunidade científica. Artigos de pesquisa e capítulos de livro representam cada um 25% das produções.

CONCLUSÃO

O estudo bibliométrico mostrou que a produção de argamassa cimentícia com a incorporação combinada do vidro reciclado e fibra natural se inserem na área da engenharia e ciência dos materiais.

Embora questões ambientais venham ganhando visibilidade, especificamente a classe combinada de vidro reciclado e fibra natural em argamassa, ainda requer mais estudos/publicações, devido ao reduzido número (4) de trabalhos científicos e inexpressiva quantidade de países que abordaram sobre o tema proposto. Nesse contexto, no Brasil tal temática exibida pode ser considerada como novidade científica. O uso simultâneo de vidro reciclado e de reforço de fibra natural pode vir a contribuir na produção de compósitos cimentícios mais duráveis e dúcteis.

Ressalta-se que é um campo de análise vasto, que engloba vidros de diferentes cores e tipos (vidro plano, garrafas, lâmpada fluorescentes) a serem reciclados, assim como distintas categorias de fibras naturais (sisal, coco, babaçu e outras) deixando lacunas para outras produções e estudo sobre como cada variação desses resíduos pode interferir no produto final.

Pode-se afirmar que estudos sobre o reaproveitamento de resíduos é uma estratégia interessante e promissora para contribuir com a sustentabilidade ambiental, além de poder

elaborar produtos da construção civil com propriedades superiores àqueles sem presença de resíduos, de baixo custo e agregando valor aos mesmos. Por isso, pesquisas científicas para o desenvolvimento desses materiais devem receber mais incentivo.

DECLARAÇÃO DE INTERESSES

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

REFERÊNCIAS

ALVES, M. E. R. **Melhoria da eficiência física e mecânica em argamassas cimentícias com uso de epicarpo de coco babaçu**. 2021. 44 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2021.

ALY, M. et al. **Durability of waste glass flax fiber reinforced mortar**. AIP Conference Proceedings, v. 1315, p. 241–246, 2010.

AZEVEDO, A. R. G. et al. **Guaruman fiber: A promising reinforcement for cement-based mortars**. Case Studies in Construction Materials, v. 16, 2022.

AZEVEDO, A. et al. **Rheology, hydration, and microstructure of Portland cement pastes produced with ground açai fibers**. Applied Sciences (Switzerland), v. 11, n. 3036, p. 14, 2021.

BENAIMECHE, O. et al. **The influence of date palm mesh fibre reinforcement on flexural and fracture behaviour of a cement-based mortar**. Composites Part B, v. 152, p. 292–299, 2018.

BENTCHIKOU, M. et al. **Comparative study of the properties of mortars with recycled glass aggregates incorporated by addition and substitution**. Energy Procedia, v. 139, p. 499–504, 2017.

BERTELSEN, I. M. G.; OTTOSEN, L. M.; FISCHER, G. **Influence of fibre characteristics on plastic shrinkage cracking in cement-based materials: A review**. Construction and Building Materials, v. 230, p. 116769, 2020.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Tradução Sergio Murilo Stamile Soares. ed. 9, Rio de Janeiro: LTC, 2018.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Construções Verdes: Os desafios e vantagens das construções sustentáveis**. Disponível em: https://cbic.org.br/wpcontent/uploads/2022/05/v6_ebook-construcoes-verdes-cbic-ifc-senai-dge.pdf. Acesso em: 11 jun. 2022

DOURADO, J. B. DE O. L. **Desempenho de argamassas à base de cimento com reforço de fibra de coco babaçu**. 2019. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.

GOROSPE, K. et al. **Effect of various glass aggregates on the shrinkage and expansion of cement mortar**. *Construction and Building Materials*, v. 210, p. 301–311, 2019.

LASSOUED, M. et al. **Thermomechanical behavior of Tunisian palm fibers before and after Alkalization**. *Construction and Building Materials* 170, p.121– 128, 2018.

MASTALI, M.; ABDOLLAHNEJAD, Z.; PACHECO-TORGAL, F. **Carbon dioxide sequestration of fly ash alkaline-based mortars containing recycled aggregates and reinforced by hemp fibers: Mechanical properties and numerical simulation with a finite element method**. [s.l.] Elsevier Ltd, 2018.

MORAIS, A. **Efeito da adição do rejeito de vidro na produção de argamassa cimentícia**. 2021. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2021.

MOTTA, L. A. DE C.; AGOPYAN, V. **Caracterização de Fibras Curtas Empregadas na Construção Civil**. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*, p. 23, 2007. MPED – Ministry of Planning and Economic Development, 2021. **Egypt's 2021 | Voluntary National Review**. Disponível em: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/279512021_VNR_Report_Egypt.pdf. Acesso em: 25 jun. 2022.

NORONHA, T. B. P. et al. **Comportamento Mecânico de Argamassas de Cimento Reforçadas com Fibras de Sisal Tratadas com Hidróxido de Sódio**. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, v. 15, n. 15, p. 51–56, 2020.

OLIVEIRA JUNIOR, W. A. O. **Desempenho mecânico de concreto sustentáveis incorporando fibra de coco babaçu**. 2019. 52 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.

ONUAGULUCHI, O.; BANTHIA, N. **Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review**. *Cement and Concrete Composites*, v. 68, p. 96–108, 2016.

PATEL, D. et al. **Effective utilization of waste glass powder as the substitution of cement in making paste and mortar**. *Construction and Building Materials*, v. 199, p. 406–415, 2019.

RASHAD, A. M. **Recycled waste glass as fine aggregate replacement in cementitious materials based on Portland cement**. *Construction and Building Materials*, v. 72, p. 340–357, 2014.

RUANO, G. et al. **Mechanical behaviour of cementitious composites reinforced with bagasse and hemp fibers**. *Construction and Building Materials*. v. 240, n.117856, 2020.

SACCANI, A. et al. **Effect of the chemical composition of different types of recycled glass used as aggregates on the ASR performance of cement mortars.** Construction and Building Materials, v. 154, p. 804–809, 2017.

SASUI, S. et al. **Effects of waste glass as a sand replacement on the strength and durability of fly ash/GGBS based alkali activated mortar.** Ceramics International, v. 47, n. 15, p. 21175–21196, 2021.

SIGI – Sustainable Governance Indicators, 2020 | **Sustainable Policies Environmental Policies.** Disponível em: https://www.sginetwork.org/2020/Sustainable_Policies/Environmental_Policies. Acesso em: 25 jun. 2022.

SILVA, E. et al. **Technical analysis for the reuse of coconut fiber in construction industry.** Ambiência, v. 11, n. 3, p. 669–683, 2015.

ŠIMONOVÁ, H. et al. **Mechanical Fracture Parameters of Cement Based Mortars with Waste Glass Powder.** Procedia Engineering, v. 190, p. 86–91, 2017.

TAN, K. H.; DU, H. **Use of waste glass as sand in mortar: Part I - Fresh, mechanical and durability properties.** Cement and Concrete Composites, v. 35, n. 1, p. 109–117, 2013.

TRENTIN, P. O. et al. **Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa.** Matéria (Rio de Janeiro), v. 25, n. 1, 2020.

USGBC announces Top 10 Countries and Regions for LEED in 2021 | **U.S. Green Building Council. Usgbc.** Disponível em: <https://www.usgbc.org/articles/usgbc-announces-top10-countries-and-regions-leed-2021>. Acesso em: 24 jun. 2022.

VANTADORI, S.; CARPINTERI, A.; ZANICHELLI, A. **Lightweight construction materials: Mortar reinforced with date-palm mesh fibres.** Theoretical and Applied Fracture Mechanics, v. 100, p. 39–45, 2019.

VIEIRA, P. V. M.; WAINER, J. **Correlações entre a contagem de citações de pesquisadores brasileiros, usando o Web of Science, Scopus e Scholar.** Perspectivas em Ciência da Informação, v. 18, n. 3, p. 45–60, 2013.

WONGSA, A. et al. **Natural fiber reinforced high calcium fly ash geopolymer mortar.** Construction and Building Materials, v. 241, n. 118143, 2020.

YANG, S.; LU, J. X.; POON, C. S. **Recycling of waste glass in cement mortars: Mechanical properties under high temperature loading.** Resources, Conservation and Recycling, v. 174, p. 105831, 2021.

CAPÍTULO 3

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

Maysa Memória Martins¹;

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

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

Mariana Melo Meneses Carvalho²;

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

<http://lattes.cnpq.br/3922188307962802>

José Rosa de Souza Farias³;

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

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

Erica Ianne da Silva Sousa⁴;

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

<http://lattes.cnpq.br/4888137102478661>

Slanna Larissa Olimpio Costa⁵;

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

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

Naiara de Oliveira Sobrinho⁶;

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

<http://lattes.cnpq.br/7424869309285748>

Veruska do Nascimento Simões⁷;

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

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

Eliana Silva Aguiar⁸;

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

<http://lattes.cnpq.br/0559260548554910>

Hitalo de Jesus Bezerra da Silva⁹;

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

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

Gabriel Lima Bastos¹⁰;

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

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

Valdeci Bosco dos Santos¹¹;

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 Braga¹².

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: Este trabalho consiste em um estudo de caso, onde são apresentados comparativos de variações de temperatura em ambientes que possuem a mesma orientação solar, mas com aplicação de diferentes tipos de reboco, um de argamassa industrializada tradicional, e o outro com argamassa contendo minério de vermiculita expandida, que é um isolante térmico e acústico. Para fazer tal comparativo foi feita a aplicação dos tipos de reboco em casas populares, na parede com orientação solar à oeste, localizada na cidade de Teresina-PI. Tais rebocos foram analisados e comparativamente avaliados, pelo critério de melhor conforto térmico ambiente, através de dois termômetros que mediram a temperatura tanto de suas paredes internas e externas, como também a do ambiente. Comparando-se os resultados obtidos, o reboco que conteve a aplicação de vermiculita expandida apresentou, como o esperado, menor temperatura ambiente, com diferença de aproximadamente de 4°C em relação ao reboco de argamassa tradicional, porém sua média de temperatura ao longo do dia foi somente de 2,05°C, resultado considerado insuficiente para ser qualificado como bom desempenho térmico. Também foi observado que o reboco de vermiculita expandida apresentou depois do seu tempo de cura surgimento de fissuras de retração, o que se torna um ponto negativo na sua aplicação, pois para fazer sua correção gerará maiores custos. Os resultados permitem concluir que o reboco com aplicação de vermiculita expandida, é eficiente em relação ao critério de melhor conforto térmico ambiente, porém seu custo com material e mão de obra são maiores, além de poder apresentar patologias de retração o que gera um custo maior para sua correção.

PALAVRAS-CHAVE: argamassa tradicional; vermiculita expandida; reboco; temperatura.

EVALUATION OF THERMAL PERFORMANCE OF THE ROUGHCAST CONTAINING EXPANDED VERMICULITE ORE - A CASE STUDY IN THE CITY OF TERESINA-PI

ABSTRACT: This work consists of a case study comparing temperature variations in environments that have the same solar orientation, but with the application of different types of roughcast, one of traditional industrialized mortar and the other with mortar containing vermiculite ore Expanded, which is a thermal and acoustic insulation. To make such comparative, it was applied the types of roughcast in popular houses, in the wall with solar orientation to the west, located in the city of Teresina-PI. These roughcasts were analyzed and comparatively evaluated, by the criterion of better ambient thermal comfort, through two thermometers that measured the temperature of both their internal and external walls, as well as that of the environment. Comparing the obtained results, the roughcast that contained the expanded vermiculite application showed, as expected, a lower ambient temperature, with a 2 difference of approximately 4°C in relation to the traditional mortar roughcast, but its average temperature along the Day was only 2.05°C , a result considered insufficient to be qualified as a good thermal performance. It was also observed that the expanded vermiculite roughcast presented after its cure time the appearance of retraction cracks, which becomes a negative point to its application, because to make its correction will generate higher costs. The results allow to conclude that roughcast with expanded vermiculite application is efficient in relation to the criterion of better ambient thermal comfort, but its cost with material and workmanship are higher, besides being able to present retract pathologies which generates a higher cost for its correction.

KEY-WORDS: Traditional mortar. Expanded vermiculite. Plaster. Temperature.

INTRODUÇÃO

O mercado da construção civil foi se aprimorando ao passar dos anos, pois além da busca de diferenciais para melhoria das obras, o meio em que vivemos vai se modificando e criando novos problemas e preocupações a serem solucionadas na fase de implementação de uma obra, o que acarreta no surgimento de novas técnicas e/ou de novos materiais a serem utilizados a fim de sanar ou diminuir um problema, e de melhorias no ambiente.

Com o aumento desenfreado da temperatura ao longo dos anos, gerou uma preocupação de buscar alternativas construtivas e/ou de novos materiais e aditivos que tenham um melhor desempenho térmico, afim de causar uma diminuição da temperatura nas edificações, proporcionando um melhor conforto térmico para a população.

Uma das alternativas de melhoria que atualmente está começando a ser implementada é o uso do minério de vermiculita, cuja sua composição básica é de silício, magnésio e alumínio. A vermiculita, devido ao seu escape de água interlamelar, tem a propriedade de se expandir quando submetida a um aquecimento elevado, ocorrendo posteriormente a

expansão em seus grãos, após esse processo ela é denominada e comercializada como vermiculita expandida.

Figura 1. Foto ilustrativa do minério vermiculita



Fonte: Imagem retirada da ficha técnica elaborada pelo fabricante MPL (2010).

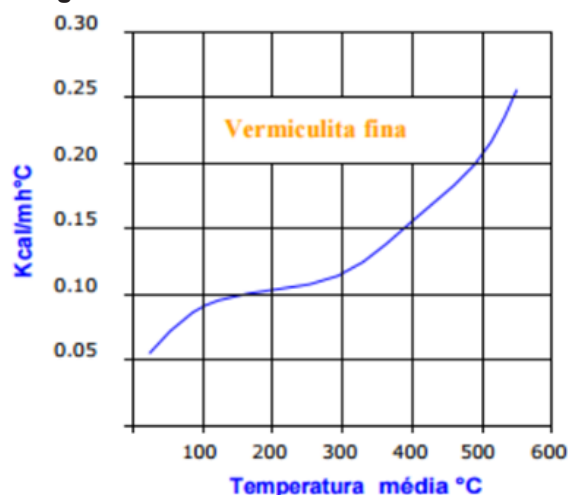
O uso da vermiculita expandida é bastante amplo, atendendo a vários tipos de mercados, incluindo o da construção, industrial, horticultura e agricultura. Na construção civil possui propriedade de isolante térmico e acústico, podendo ser usada de diversas maneiras, como por exemplo na forma de agregado na fabricação de tijolos, argamassas, entre outras. Pode ser utilizada também na forma de revestimentos, como na aplicação de rebocos, em lajes, emulsões asfálticas e outros produtos afins. Ela se adequa perfeitamente com materiais de origem mineral, como por exemplo o cimento, cal, gesso, além de conseguir uma consistência homogênea com excelente aderência. De acordo com informações fornecidas pelo fabricante MPL, a vermiculita expandida possui como propriedades físicas as apresentadas na tabela e condutividade térmica, conforme tabela e gráfico abaixo.

Tabela 1. Características técnicas da vermiculita expandida

Características físicas		
Densidade	90 - 145	Kg/m ³
Peso Específico	2.6	g/cm ³
Temperatura máxima recomendada	1.200	°C
Temperatura de Amolecimento	1.260	°C
Temperatura de Fusão	1.315	°C
Calor Específico	0.84	Kcal/kg °K
Condutividade Térmica à temperatura amb. (25 °C)	0.062 – 0.065	W/m °K
...	0.43 – 0.045	Btu / sqft h °F in
pH	7	
CTC	90 - 100	Meq/100g
Umidade Máxima	7,0	%

Fonte: Imagem retirada da ficha técnica elaborada pelo fabricante MPL (2010).

Figura 2. Gráfico da condutividade térmica



Fonte: Imagem retirada da ficha técnica elaborada pelo fabricante MPL (2010)

Baseando-se no exposto acima, o objetivo principal desta pesquisa foi desenvolver um estudo de caso comparativo, com a finalidade de avaliar o desempenho térmico da aplicação de vermiculita expandida em relação ao uso da argamassa industrial tradicional, especificamente na forma de reboco, através da aplicação em duas casas populares, localizada na cidade de Teresina-PI.

REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com a NBR 13281 (2005): argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos, descreve a argamassa para assentamento e revestimento, como uma mistura homogênea de aglomerantes e agregados inorgânicos com água, podendo conter ou não aditivos, com propriedades de endurecimento e aderência controlada, sendo dosada em obra ou em instalações próprias.

Argamassa é um material com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos através de misturas homogêneas de um ou mais aglomerantes (cal e/ou cimento), agregados miúdos e água, podendo conter aditivos. Sendo empregada na construção civil no uso de assentamentos de alvenaria, revestimento de paredes, como emboço, reboco ou revestimento de camada única de tetos e paredes, além de contrapiso e, ainda no assentamento e rejuntamento de revestimento cerâmicos e pedras ornamentais.

Vale ressaltar que além destes aglomerantes, as argamassas podem ser feitas com outros tipos de materiais afim de melhorar algum requisito, como polímeros, incorporadores de ar, vermiculita expandida, saibro e carvão vegetal. Conforme Nobrega () apud XAVIER (2014) as argamassas são classificadas segundo as suas funções da seguinte forma:

- A. Argamassa de absorver deformações que ocorrem nas alvenarias;
- B. Argamassa de selar juntas contra infiltrações;
- C. Argamassa de isolamento térmico e acústico nos ambientes;
- D. Argamassa de colar revestimentos cerâmicos e mármore;
- E. Argamassa de acabamento, regularização e revestimento de tetos e paredes;
- F. Argamassas de reparo em parede e concretos.

TIPOS DE ARGAMASSA

Argamassa Termoacústica a Base de Vermiculita

Por possuir propriedades térmicas, acústicas e resistência ao fogo, a argamassa a base de vermiculita é aplicada em vários locais da construção civil, podendo ser formulada a partir de vários aglomerantes, como cimento, cal, gesso e cimento aluminoso. A argamassa a base de vermiculita é utilizada como revestimento de fachada para isolamento térmico e acústico das paredes expostas às intempéries, paredes cortam fogo em escadas, elevadores e isolamento acústico de laje (CINTRA,2013).

Segundo Pessatto (2005) cita que a substituição de parte da areia por vermiculita na argamassa produz um revestimento de boa qualidade e trabalhável, pois este agregado tem se destacado como um agregado de características compatíveis para a argamassa de revestimento, embora ensaios para averiguar as propriedades de resistência à compressão, umidade, retração por secagem e absorção de água, apontam comportamento inferior ao da argamassa tradicional.

Vermiculita

A vermiculita é um argilomineral não metálico que existe na natureza na forma de macro e micro cristais em forma de lâminas finas normalmente ligada face a face formando uma célula 5 unitárias, constituída de duas folhas tetraédrica separadas por uma octaédrica, logo, seus planos são unidos por ligações covalentes pelo átomo de hidrogênio, deixando mais estável (BORGES, 2009).

A vermiculita quando estimulada a uma temperatura de 300°C elimina água interlamelar de sua estrutura, se caracterizando por uma expansão volumétrica de 16 200 a 300%, dependendo da temperatura final que o material imaturo recebe. Com isso, esses espaços são ocupados por ar, que deixam a vermiculita mais leve e com propriedades térmicas e acústicas (CINTRA, 2013).

Argamassa Tradicional ou Mista (Cimento e Cal)

A argamassa de cimento, cal e areia, é conhecida como argamassa tradicional e utilizada em paredes internas e externas das edificações para revestimento e proteção das intempéries este revestimento protege a sua alvenaria durante toda sua vida útil (CARNEIRO, 1993). Ela se beneficia da qualidade dos seus aglomerantes, como cimento que a deixa com boa resistência inicial e da alta plasticidade que a cal promove na sua formulação (FIORITO, 2005).

Argamassa de cal

A cal era o principal aglomerante do Brasil até o século XIX, naquela época as argamassas eram de cal, areia e água. Na sua composição podia haver adição de outros materiais, como pozolanas (cinza), óleos, barro e borra de ferro. A produção de cal no Brasil nesta época era obtida pela calcinação de calcário marinho (conchas, corais) ou de ossos de sambaqui (casca de moluscos). Desta forma as primeiras argamassas usavam cal de origem marinha, ou misturas de cal marinha e barro (SANTIAGO, 2007).

As argamassas de cal Hidráulica e cal aérea são utilizadas em restauração de revestimentos antigos, devido ao seu grau de hidráulico, e por serem aparentemente compatíveis com construções mais antigas. (PENAS, 2008).

Argamassa estabilizada (Cimento e cal)

Segundo Neto (JUNIOR, 2015, p. 37), a argamassa estabilizada é uma argamassa úmida com determinada plasticidade, dosada em central, pronta para uso, que se mantém trabalhável por 72 horas com água, dependendo de sua composição. Logo, nas argamassas estabilizadas os fabricantes introduzem aditivos retardadores de pega, plastificantes e incorporadores de ar para modificar a reologia da argamassa.

A argamassa estabilizada geralmente é composta de aglomerantes, cimento e/ou cal, areia, água e aditivos estabilizadores de hidratação, plastificantes ou incorporadores de ar (SANTOS, 2009). Vale ressaltar, que no Brasil, já foram produzidas argamassas estabilizadas em central com adição de escória de alto forno, pozolanas e filler calcário. (JUNIOR, 2015).

APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Chapisco

Segundo a NBR 13529 (1995): revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas, chapisco é a camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com finalidade de uniformizar a superfície quando à absorção e melhorar a

aderência para receber o revestimento das argamassas.

O chapisco é uma argamassa que proporciona melhor ancoragem em superfícies lisas pouco porosas como: concreto, cerâmicas, tijolos laminados e blocos de cimento industrializados. Com a sua aplicação a superfície cria condições de receber outro tipo de argamassa, isto posto podemos afirmar que o chapisco se caracteriza como uma argamassa de suporte (AZEREDO, 2009).

De acordo com Silva (2006), “utiliza-se o chapisco em situações vinculadas à: Limitações na capacidade de aderência da base: quando a superfície é muito lisa como: vigas e pilares de concreto com pouca porosidade; Revestimento sujeito a ações de maior intensidade: os revestimentos externos em geral e os revestimentos de teto.”

Emboço

Emboço tem como finalidade atuar como capa de chuva, evitando absorção e penetração de água. Sendo esta camada executada para cobrimento e regularização da base, deve ser usado prumo e alinhamento dos painéis a fim de proporcionar uma superfície que permita receber outra camada de acabamento, reboco ou revestimentos decorativos como cerâmicas (AZEREDO, 2009).

Reboco

Reboco é uma camada de revestimento realizada sobre o emboço ou sobre o próprio substrato. A NBR 13529 (1995), conceitua reboco como uma camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, permitindo receber revestimentos decorativos ou que se constitua no acabamento final.

Segundo Azeredo (2009), podemos classificar em dois grupos distintos:

- A. reboco sem acabamento para pintura, ou seja, já é o próprio acabamento, podendo cita como exemplo as argamassas de RDM (revestimento decorativo monocamada industrializada).
- B. Reboco de acabamento e pintura (fino), tem um aspecto mais agradável, com uma superfície perfeitamente plana e regular, de pequena espessura e porosidade, pronta para pintura.

METODOLOGIA

Para o estudo comparativo foram utilizadas duas composições de argamassa utilizadas para reboco. Uma de origem industrial tradicional, contendo cimento, cal, areia e água, e a outra de origem termoacústica, composta por vermiculita expandida, cimento e água. A vermiculita expandida utilizada possui grãos que variam de tamanho de 0,03mm a

1,0mm, e o cimento foi do tipo CP 32.

A aplicação dos diferentes rebocos, foram feitos em um cômodo de 11,05m² de área, com pé direito de 2,70m de altura, de alvenaria de vedação cerâmica, com espessura da parede de 15cm, e fundação do tipo baldrame, em duas casas populares, locadas uma ao lado da outra. A escolha desse cômodo se deu por suas paredes possuem a orientação solar à oeste, pior situação de insolação.

Figura 3. Foto das casas com a aplicação do reboco



Fonte: Os autores, 2023

As duas casas populares fazem parte do Loteamento Habitacional Mário Covas, localizado na Rua Angélica Silva, bairro Angelim, na cidade de Teresina-PI. Suas coordenadas geográficas são 5°9'59"S 42°46'55"W, informação retirada do Google Earth.

Figura 4. Planta de localização do loteamento



Fonte: Google Earth 2015 (adaptada).

Na aplicação do revestimento de reboco, foram seguidas as orientações de acordo com as normas NBR 13281 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos e NBR 11355 - Vermiculita expandida - Análise granulométrica - Método de ensaio. É determinado o traço de 1:3 (cimento; vermiculita) para mistura da argamassa

termoacústica, de acordo com o fabricante, feita no próprio local da obra (figura 5). Seguindo também as orientações do fabricante, antes da aplicação da argamassa, a parede em que recebeu o reboco termoacústico foi chapiscada no lado de fora (figura 6), e após 3 dias foi aplicado o reboco de única camada, e no lado de dentro da edificação usamos o reboco com argamassa tradicional, diretamente aplicado na alvenaria.

Figura 5. Foto de mistura do traço cimento e vermiculita



Fonte: Os autores, 2023

Figura 6. Foto aplicação do chapisco



Fonte: Os autores, 2023

Figura 7. Aplicação da argamassa termoacústica



Fonte: Os autores, 2023

Para fazer a coleta de dados das temperaturas ambiente internas e externas, foi feito o uso de um termômetro digital (figura 8), e elaborada uma planilha no Excel, contendo os resultados fornecidos pelas medições ao longo do dia. Já para as temperaturas das paredes internas e externas foi utilizado um termômetro digital por infravermelho (figura 9), com a finalidade de medir a transmissão de calor proveniente da parede para o meio ambiente.

Figura 8. Foto do termômetro



Fonte: Os autores, 2023

Figura 9. Foto do termômetro de infravermelho

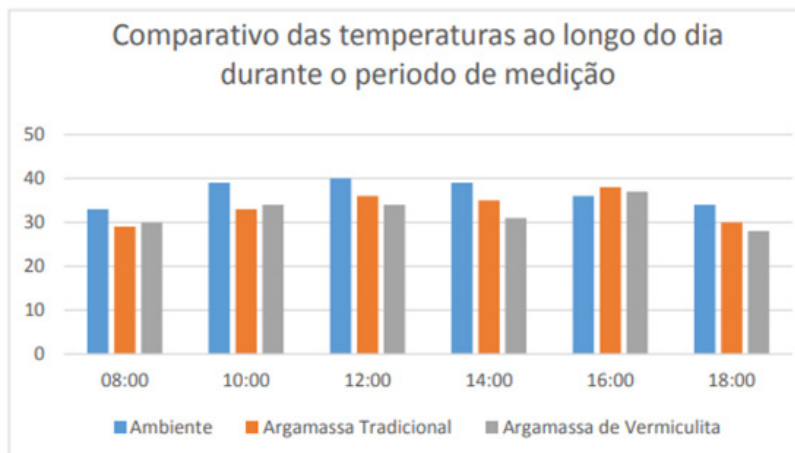


Fonte: Os autores, 2023

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medições de temperaturas dos ambientes interno e externo, dos dois cômodos, foram realizadas ao longo de 5 dias com intervalos de tempos a cada 2h, das 8h da manhã às 18h da noite, com início no dia 07/11/2016 e finalizado dia 11/11/2016. Comparando o desempenho das argamassas observou-se que no início da manhã as temperaturas internas apontaram ser praticamente iguais, ocorrendo um aumento gradativo ao longo da manhã. Posteriormente às 12h a temperatura externa começa a diminuir, porém, a temperatura interna continua aumentando até as 16h, chegando neste horário a uma diferença de 3,9°C no ambiente revestido com argamassa termoacústica e no ambiente revestido com argamassa tradicional esta diferença chega a ser de 7°C comparado com a temperatura

externa (quadro 1). O gráfico abaixo representa essas diferenças de temperaturas entre os ambientes (gráfico 1).



Fonte: Os autores, 2023

Tabela 2. Comparativo entre temperatura com argamassa de vermiculita e argamassa tradicional

Média das Temperaturas dos Ambientes							
HORA	Reboco com Argamassa de Vermiculita			Reboco com Argamassa Tradicional			Comparativo entre os rebocos
	Temperatura externa (°C)	Temperatura interna (°C)	Diferença de temperatura (°C)	Temperatura externa (°C)	Temperatura interna (°C)	Diferença de temperatura (°C)	Diferença de temperatura
08:00	33,4	29,8	3,6	33,4	29,4	4	-0,4
10:00	38,9	34,4	4,5	38,9	33,7	5,2	-0,7
12:00	40,1	34,3	5,8	40,1	35,8	4,3	1,5
14:00	38,6	31,6	7	38,6	35,5	3,1	3,9
16:00	36,4	37,4	-1	36,4	38,5	-2,1	1,1
18:00	34,3	28,6	5,7	34,3	30,3	4	1,7

Fonte: Os autores, 2023

Analisando a tabela 2, percebe-se melhor desempenho do reboco com argamassa de vermiculita às 14 horas, apresentando diferença de temperatura de 7°C entre os ambientes externos e internos, e de 3,9°C para o reboco com argamassa tradicional. Nos demais horários foi percebido um melhor desempenho do reboco com argamassa de vermiculita apresentando uma temperatura média de 2,05 °C. Após a aplicação do reboco com vermiculita, foi percebido o aparecimento de fissuras. Estas, presumidas devido ao fenômeno de retração do cimento.

Figura 10. Detalhe das fissuras verificadas



Os autores, 2023

CONCLUSÃO

O gráfico comparativo entre as temperaturas dos ambientes demonstra a diferença entre as características de cada material no que diz respeito ao desempenho térmico. O cômodo da casa, rebocado com argamassa termoacústica, registrou temperaturas inferiores quando comparado ao de argamassa tradicional, apontando temperatura interna inferior das 12h às 18h de 3,9°C. Porém quanto tirado a média das temperaturas durante o dia essa diferença cai para 2,05°C, diferença considerada insuficiente a respeito de desempenho térmico.

De acordo com o fabricante para a correção dessa manifestação patológica é necessário a remoção do reboco aplicado, e posteriormente a execução de um novo reboco, cuja aplicação conteria uma camada de chapisco, seguido de reboco de vermiculita, tela de PVC (Policloreto de Vinila), novamente reboco de vermiculita, e uma proteção mecânica. Recomendações estas, não aplicadas devido ao cronograma apertado.

Podemos concluir com os dados apresentados que, levando em consideração o critério de diminuição da temperatura no ambiente interno, a argamassa contendo vermiculita apresentou um resultado positivo, porém não satisfatório, pois a diferença de amplitudes térmica entre os ambientes foi pequena em relação às duas argamassas, sendo considerado até ineficiente ao critério de desempenho térmico. O autor recomenda ainda uma análise comparativa dos custos da aplicação de argamassa com vermiculita e argamassa tradicional. Ainda acrescenta a importância de determinar as possíveis manifestações patológicas incidentes e suas possíveis soluções.

DECLARAÇÃO DE INTERESSES

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

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11355: Vermiculita expandida — Análise granulométrica — Método de ensaio**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 6 p.
- _____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro, 1995b. 8p., 1995.
- _____. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 7 p.
- Azeredo, H. A. **O Edifício e seu acabamento**. São Paulo, SP, ed. Bluceher, 1987, 9ª reimpressão, 2009.
- Borges, J. C. S. **Compósito de poliuretano de mamona e vermiculita para isolamento térmica**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009.
- Carneiro, A. N. P. **Revestimento externo em argamassa de cimento, cal e areia - sistemática das empresas de construção civil de Porto Alegre**. Dissertação (Mestre em engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993.
- Cintra, C. L. D. **Argamassa para revestimento com propriedades termoacústicas, produzidas a partir de vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus**. 2013. 154f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.
- Fiorito, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos**. 1ª Ed. São Paulo, PINI, 2003.
- Fonseca, A. J. S. I. **Retração das argamassas**. A construção, São Paulo, nº 1929, pg. 21 a 22, jan. 1985.
- Junior, L.A.T. **Estudo comparativo entre as argamassas: estabilizada dosada em central, industrializada e produzida em obra por meio de ensaios físicos nos estados fresco e endurecido**. Dissertação (Mestrado) – IEP – Instituto de Engenharia do Paraná, 2015.
- Mineração Pedra Lavada - LTDA**. Ficha Técnica. Santa Luzia: MPL, 2010.
- Oliveira, C. S. **Simulação da aplicação da argamassa termoacústica a base de vermiculita como revestimento de fachada em um protótipo como análise do desempenho térmico**. 2016. 74 f. Monografia (Especialização) - Curso de Arquitetura e

Urbanismo, Universidade de Vila Velha, Vila Velha, 2016.

Penas, F. E. **Argamassas de cal hidráulica para revestimento de paredes**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

Pessatto, V. G. M. **Estudo das argamassas e revestimento contendo vermiculita**. 2005. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

Santos, A. **Características e benefícios da argamassa estabilizada**. Cimento Itambé, São Paulo, jun. 2009.

Santos, M. L. L. O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Programa de PósGraduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

Santiago, C. C. **Argamassas tradicionais de cal**. Salvador: EDUFBA, 2007.

Silva, C. M. **Estudo de traço para produção de blocos de vedação utilizando como parte do agregado a vermiculita**. 2014. 24 f. Monografia - Curso de Engenharia Civil, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2014.

Silva, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Dissertação (Mestrado). Setor de Tecnologia – Universidade Federal do Paraná, 2006.

Refratil Refratários. **Vermiculita Expandida**. Disponível em: <<http://www.refratil.com.br/produto/vermiculita-expandida>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

Xavier, V. J. M.; Oliveira, M. P.; Neto, F. S. L.; Diógenes, D. F.; Batista, S. M. M. **Utilização do resíduo de quartzito em argamassas de múltiplo uso**. Anais do 56º congresso brasileiro de concreto, 2014.

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 

<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 

<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 

