

SUBMETIDO 22/06/2021

APROVADO 21/10/2021

PUBLICADO ON-LINE 23/10/2021

PUBLICADO 30/03/2023

EDITORA ASSOCIADA

Nelma Mirian Chagas Araújo Meira

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6094>

ARTIGO ORIGINAL

Uso de biopolímeros em pastas de cimento: revisão sistemática da literatura

-  Lisieux Feitosa Gondim Pipolo ^{[1]*}
-  Jeandson Willck Nogueira de Macedo ^[2]
-  Jonatas Macêdo de Souza ^[3]
-  Ricardo Eugênio Barbosa Ramos Filho ^[4]
-  Vamberto Monteiro da Silva ^[5]
-  Wilson Acchar ^[6]

[1] lisieuxf@yahoo.com.br

[2] jeandson_ufrn@hotmail.com

[3] jonatasms2@hotmail.com

[4] ricamosf30@ufrn.edu.br

[6] wacchar@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Brasil

[5] vambertomonteirodasilva@yahoo.com.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Brasil

RESUMO: O desenvolvimento e a melhoria de materiais são fatores fundamentais para o aprimoramento social, ambiental e econômico em diversos países. Nesse contexto, os aditivos bioquímicos para materiais à base de cimento têm sido bastante explorados pelo caráter sustentável. Os biopolímeros têm sido estudados como aditivos/substitutos parciais ou totais de componentes das pastas de cimento, com o intuito de melhorar as propriedades do material. O objetivo desta revisão é identificar os principais materiais e propriedades que têm sido explorados em estudos utilizando biopolímeros em pastas cimentícias. O método utilizado foi a revisão sistemática da literatura em artigos publicados entre 2010 e 2020 nas bases de dados Web of Science, Scopus, Periódicos CAPES e Science Direct. Os artigos foram categorizados por meio das ferramentas StArt e Excel. Os resultados mostraram tendência do crescimento desse tema a partir do ano de 2015, sendo a viscosidade a principal propriedade estudada. Houve convergência na redução da viscosidade das misturas, a partir das características plastificantes dos biopolímeros, e melhoria em outras propriedades, como resistência à compressão, trabalhabilidade e outros. A utilização de biopolímeros consolidados no mercado mundial e amplamente comercializados, como bactérias, quitosana e lignina, se destaca nos estudos revisados.

Palavras-chave: biopolímero; pasta de cimento; subproduto; sustentabilidade; viscosidade.

Biopolymer use in cement paste: a systematic literature review

ABSTRACT: *The development and improvement of materials are fundamental factors for social, environmental, and economic improvement in different countries. Biochemical additives for cement-based materials have been widely investigated due to their sustainable nature. Biopolymers have been studied as partial or total additives/substitutes of cement paste components so as to improve the material properties. The objective of this review is to identify the main materials and properties that have been explored in studies using biopolymers in cementitious pastes, The method used was a systematic*

*Autor para correspondência.

literature review of papers published between 2010 and 2020 in the following databases: Web of Science, Scopus, CAPES Periodicals, and Science Direct. The papers were categorized using the StArt and Excel tools. The results showed a trend of growth of research on this theme from the year 2015, with viscosity being the main property studied. There was convergence in reducing the viscosity of the mixtures based on the plasticizing characteristics of biopolymers and improvement of other properties, such as compressive strength, workability, and others. The use of biopolymers consolidated in the world market and widely commercialized, such as bacteria, chitosan, and lignin, stands out in the studies reviewed.

Keywords: *biopolymer; by-product; cement paste; sustainability; viscosity.*

1 Introdução

A construção civil está presente na sociedade desde tempos remotos. Seu papel é atender às necessidades das atividades humana e promover melhor qualidade de vida para os indivíduos por meio da transformação/conversão do ambiente natural em ambiente construído. Diante dessa intensa e frequente transformação das edificações e do aumento exponencial do crescimento das cidades, a construção civil é responsável por uma parcela significativa da extração de materiais naturais. Sua cadeia produtiva apresenta o maior consumo de matérias-primas do mundo, sendo responsável por aproximadamente 50% dos recursos naturais utilizados (MIRANDA *et al.*, 2021).

Essa demanda promovida pela necessidade de transformação da matéria-prima incide em materiais de difícil reinserção no meio natural e, por conseguinte, se torna grande responsável pelos impactos ambientais mundiais. Apesar do grande avanço científico da atual construção civil quanto ao aprimoramento e ao desenvolvimento de materiais de construção, estes ainda possuem poucas vantagens ambientais, uma vez que necessitam de transformações que demandam maior quantidade de energia para sua obtenção; outro fator que implica em desvantagem ambiental é a difícil reinserção do material transformado no meio natural. Smith e Peyratout (2014) citam como materiais naturais a terra, os aditivos orgânicos, as fibras vegetais, a cal e as adições minerais.

Dessa maneira, a atenção e o interesse se voltam para materiais biossustentáveis e naturais, por isso, faz-se mister o estudo da viabilidade técnica de materiais com menor impacto ambiental, desde sua extração até a sua reintegração na natureza. Com base nessa narrativa, os biopolímeros (polímeros naturais) surgem como opção viável para preencher esse hiato.

Nesse contexto, pesquisadores têm empenhado esforços em propor novas soluções para substituição de materiais de origem não renovável por orgânicos e renováveis, sobretudo em materiais à base de cimento, visto tratar-se do componente mais usado em todo o mundo para erguer construções. Os materiais podem apresentar-se de diferentes formas: cinzas, fibras, cascas, líquidos, entre outros. Como exemplo, Arab *et al.* (2021) usaram alginato de sódio em tijolos de solo-cimento; Guimarães e Matos (2017) substituíram parcialmente o cimento pela cinza da casca do coco verde em argamassa; Santos *et al.* (2018) estudaram o efeito da carbonatação no concreto produzido com fibra vegetal de buriti. A inclusão desses materiais em pastas, argamassas e concretos tem o intuito de otimizar propriedades como impermeabilidade, durabilidade, capacidade de adesão em outros substratos, reologia, entre outras.

As pastas são compostas por cimento e água. Esta promove a hidratação do cimento e inicia o processo de composição da microestrutura e desenvolvimento das propriedades físicas e mecânicas que irão promover as características finais do material. Nas pastas, os biopolímeros podem se apresentar como substitutos parciais e/ou totais da água de amassamento, tal como demonstram Chatterjee *et al.* (2019), do cimento, como relatam Hoyos *et al.* (2019), Ofori-Boadu *et al.* (2018) e Aday *et al.* (2018), e na forma de aditivos, como sugerem Azima e Bundur (2019).

Dessa forma, este trabalho tem por objetivo analisar estudos que utilizaram biopolímeros em pastas cimentícias para identificar os principais materiais e propriedades que foram exploradas, partindo de uma revisão sistemática da literatura nas seguintes bases de pesquisa: Scopus, Science Direct, Web of Science e Periódicos CAPES. Sendo assim, este artigo visa contribuir para a difusão do conhecimento e a aplicabilidade de biopolímeros nos materiais de construção, tornando-os mais sustentáveis.

Na seção 2 são apontadas discussões acerca do uso de biopolímeros na construção civil, abordando temas como definição, formação, aspectos ambientais e inserção em materiais de construção. A seção 3 detalha o método de pesquisa utilizado: revisão sistemática da literatura (RSL) a partir do protocolo dos critérios PICO, que visa elaborar questionamentos para delimitar e fundamentar a pesquisa. Na seção 4 são apresentados e classificados os resultados em três categorias: o material usado como biopolímero, as propriedades estudadas pelos pesquisadores após a inserção do biopolímero e a questão ambiental que circunda o uso de biopolímeros. Por fim, na seção 5 são feitas as considerações finais.

2 Uso de biopolímeros na construção civil

Os biopolímeros podem ser definidos como polímeros manufaturados, concebidos a partir de fonte natural ou recurso renovável (RUDIN; CHOI, 2016). De acordo com Franchetti e Marconato (2006), são formados durante o ciclo de crescimento de organismos vivos e normalmente estão associados a reações catalisadas por enzimas e reações de crescimento de cadeia. Tornam-se relevantes pela baixa toxicidade, biodegradabilidade, características filmogênicas, facilidade de derivatização, disponibilidade e baixo custo (VANDAMME *et al.*, 2002).

Os materiais poliméricos são bastante versáteis e têm sido usados desde a Antiguidade em diversos campos, como medicina, agricultura, construção civil, entre outros. Dentro da construção civil, os polímeros estão presentes desde tempos remotos, quando eram usados em sua forma natural nas argamassas e concretos para erguer edificações que perduram até hoje. Segundo Macdonald (2018), civilizações antigas reconheceram que poderiam melhorar propriedades dos materiais de construção ao utilizarem produtos naturais; esse autor ainda acrescenta que os romanos usavam sangue seco como agente incorporador de ar, e as proteínas serviam como retardadores de pega para gesso; já os chineses usaram misturas com claras de ovo, óleos de peixe ou sangue durante a construção da Grande Muralha.

Embora seja bastante comum o uso de polímeros naturais ao longo da história, estes foram sendo substituídos por materiais sintéticos para cuja obtenção se emprega maior desenvolvimento tecnológico. A partir da segunda metade do século XX, começaram a surgir polímeros modificados através da viabilização dos processos de polimerização (RISEN, 1997), e os aditivos sintéticos ganharam destaque.

O principal fornecedor de matéria-prima para a elaboração de polímeros sintéticos é a indústria petrolífera, causadora de grandes impactos ambientais pelas transformações químicas ao longo do seu ciclo de produção – da extração até o consumo final. Com isso, os biopolímeros voltaram a ganhar visibilidade por conta de suas características naturais, constatação que, embora ainda de modo superficial, está embasada em políticas que contribuem para a sustentabilidade na construção civil, tal qual a Agenda 21 para Construção Sustentável (CIB, 1999).

Nesse contexto, os biopolímeros estão ganhando destaque dentro da construção civil, por serem muito utilizados como aditivos e adições nos materiais cimentícios. Em relação aos tipos de aditivos, existem aqueles à base de éter-celulose, os polissacarídeos, as proteínas e os biopolímeros.

Os aditivos à base de éter-celulose retardam a hidratação do cimento e, conseqüentemente, atrasam o tempo de início de pega, além de reduzirem a curva de calor (NGUYEN *et al.*, 2014). Os polissacarídeos, por sua vez, têm função retardadora e influenciam no tempo de trabalhabilidade e hidratação dos componentes do cimento (GOUVÊA, 2008). O aumento da dosagem dos polissacarídeos em relação ao cimento em peso é diretamente proporcional ao atraso na hidratação do cimento (PESCHARD *et al.*, 2004). As proteínas imprimem fortes características adesivas, pela capacidade de formar ligações quase irreversíveis. Outras características como hidrofobicidade e aceleração de pega são presentes em compostos cimentícios em que há presença de proteínas (FANG *et al.*, 2015). Os efeitos dos biopolímeros nas pastas de cimento se concentram no processo de hidratação do aglomerante, especialmente na atuação dos polímeros naturais no mecanismo de adsorção que ocorre na superfície dos componentes do cimento hidratado ou não. (NGUYEN *et al.*, 2014).

3 Método da pesquisa

O método utilizado neste trabalho é a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) científica. Segundo Galvão e Ricarte (2019, p. 58), “revisão sistemática é o tipo de investigação científica que segue protocolos específicos, e que busca entender e dar logicidade a um grande *corpus* documental”. Botelho, Cunha e Macedo (2011) acrescentam que a revisão sistemática possibilita o reconhecimento de lacunas e oportunidades para o surgimento de novas pesquisas em determinado assunto. Esse método foi aplicado em função da sistematização dos dados e sua rigidez.

Para a realização da revisão, foi elaborado o protocolo dos critérios PICO (População, Intervenção, Controle e Resultados). Segundo Santos e Galvão (2014), os critérios PICO têm por função elaborar as perguntas que darão início à investigação de forma delimitada e bem fundamentada, além de direcionarem a revisão de literatura. Portanto, com base na definição dos critérios PICO, foram selecionados, na pesquisa primária, artigos científicos que tivessem como produto intermediário e/ou final pastas de cimento que apresentassem em sua composição biopolímeros, a fim de se evidenciar determinadas propriedades da pasta.

Isso posto, os seguintes questionamentos foram elaborados, seguidos de ações que viabilizem respostas: (1) Quais materiais são empregados como biopolímeros na pasta de cimento e em qual proporção? Buscam-se artigos que exponham os tipos e técnicas empregadas; (2) Quais as principais funções ressaltadas pelos biopolímeros utilizados na pasta de cimento? Investigam-se as principais características estudadas pelos pesquisadores, de acordo com cada grupo de biopolímeros; (3) Qual impacto

ambiental positivo o uso do biopolímero (material escolhido) proporciona? Analisa-se a preocupação dos pesquisadores em reduzir o passivo ambiental de indústrias/processos.

O processo de condução do método utilizado pode ser sintetizado conforme o que se apõe na Quadro 1.

Quadro 1 ►

Processo metodológico da pesquisa.
Fonte: dados da pesquisa

Protocolo (Critérios PICO)	
(P) pastas de cimento que contenham biopolímeros em sua composição; (I) análise dos materiais empregados na condição de biopolímeros; (C) apresentação das funções e principais características dos materiais; (O) avaliação dos resultados.	
Fontes da pesquisa primária	
Scopus – Science Direct – Web of Science – Periódicos CAPES	
Strings de busca	
Scopus – Science Direct – Web of Science Title – Abstract – Keywords “biopolymer” AND “cement paste”	Periódicos CAPES Artigo “biopolymer” AND “cement paste”
Critérios de exclusão	
Dispersão do tema da pesquisa; Idioma diferente de português ou do inglês; Ausência da pasta de cimento como produto final/intermediário; Ausência de biopolímeros nos produtos cimentícios.	

As pesquisas primárias foram realizadas nas bases de dados Scopus, Science Direct e Web of Science, pela relevância dessas bases no meio científico mundial e pelo volume de publicações na área de Engenharia. Além dessas, foi realizada ainda busca no portal Periódicos CAPES, por este abranger diversas bases de dados e contemplar uma busca mais ampla de artigos relacionados ao tema. Ao contrário do aplicado nas bases de dados, a busca no Periódicos CAPES, através da *string*, foi feita em todos os campos dos trabalhos e não apenas no título, resumo e palavras-chave, em virtude da limitação do campo de busca avançada do aplicativo.

Para a compilação, organização e categorização dos dados, foram utilizados o StArt (*State of the Art through Systematic Review*) – ferramenta elaborada pela Universidade de São Carlos para ordenar e facilitar a categorização bibliográfica para pesquisas – e a planilha Excel.

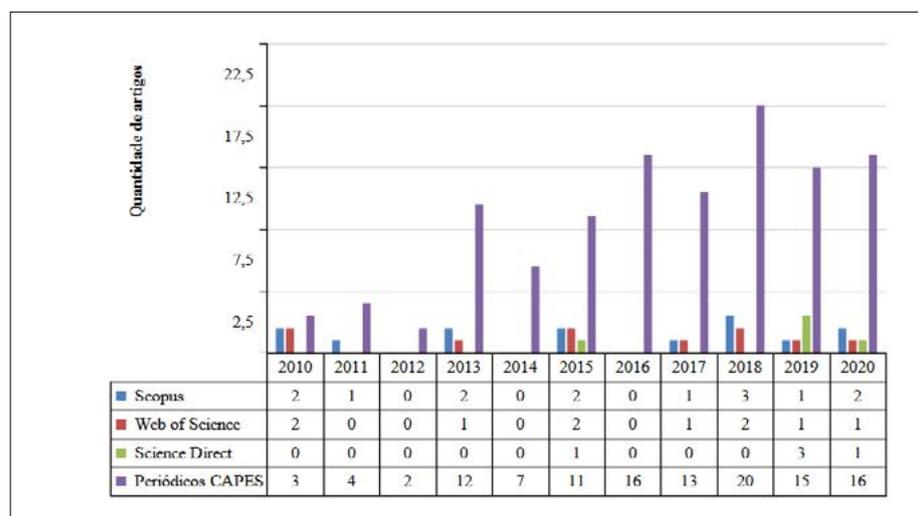
Inicialmente, foi proposta a *string* de busca “*organic polymer*” AND “*cement paste*”, porém os resultados encontrados referiam-se a todos os compostos da química orgânica, naturais ou não. Com isso, foi necessária uma adequação da *string*, para que fossem selecionados apenas polímeros naturais; portanto, optou-se por aplicar, nas bases selecionadas, a seguinte *string*: “*biopolymer*” AND “*cement paste*”. Os artigos reportados passaram por triagem na qual foram verificados os títulos, resumos e palavras-chave daqueles que atendiam à temática desta revisão, sendo descartados os artigos duplicados e distantes do tema. Para os artigos que atenderam aos quesitos do protocolo, foi realizada a leitura integral, análise, interpretação e documentação dos resultados. Os dados foram categorizados e organizados por meio de gráficos e tabelas. Entre os fatores restritivos para os artigos, estão o período (2010 a 2020) e o idioma (escritos em inglês ou em português).

4 Resultados da pesquisa

Os resultados obtidos por meio da pesquisa primária nas consultas às bases de dados foram cadastrados e classificados na ferramenta StArt. Em seguida, os resultados foram transferidos para planilha Excel para construção dos gráficos. A Figura 1 expõe os artigos encontrados na primeira seleção, por quantidade, em cada base de dados.

Figura 1 ►

Amostragem total dos artigos encontrados nas bases de pesquisa.
Fonte: dados da pesquisa



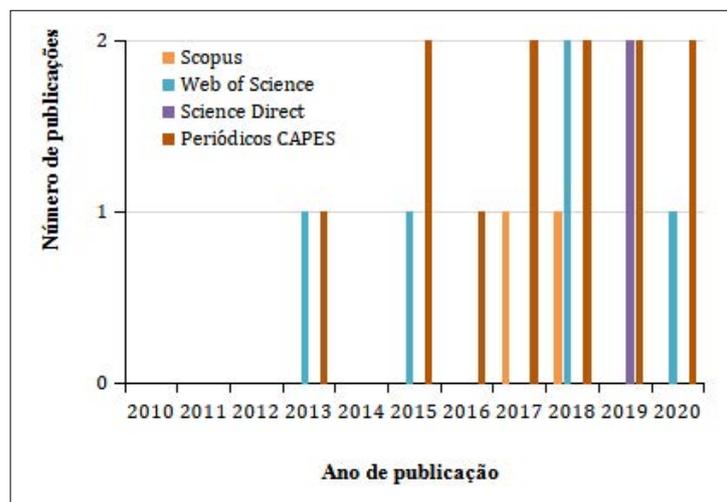
No total, foram encontrados 148 artigos com a *string* de busca aplicada. A fonte primária de busca com maior contribuição quantitativa foi o Periódicos CAPES, que apresentou 119 artigos, o que representa 80,40% do total, tendo a temática do uso de biopolímeros maior destaque no período entre 2015 e 2020 (91 artigos).

Os 148 artigos foram triados e classificados em três categorias, sendo 23 duplicados, 85 rejeitados e 40 indicados para leitura integral. Na etapa seguinte, verificou-se que 19 dos 40 artigos não se alinhavam à temática de pesquisa e, portanto, foram excluídos, restando 21 para discussão. Entre os artigos, observou-se que não existe repetição de autores.

No universo dos artigos selecionados para discussão, é evidente maior relevância do tema a partir do ano de 2015, visto que, desde então, o assunto é colocado em pauta anualmente, conforme registram os dados expostos na Figura 2.

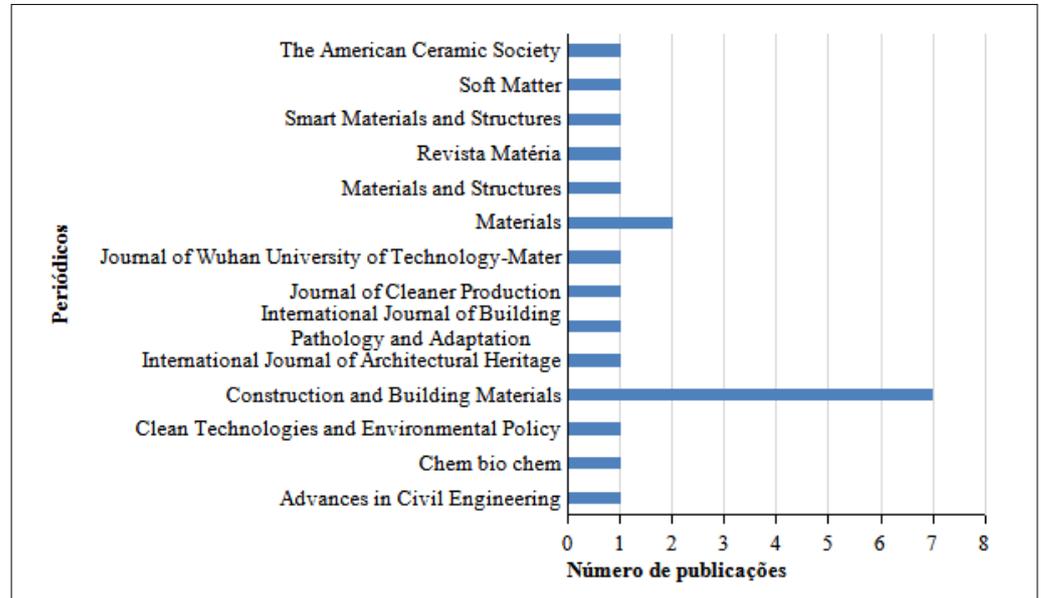
Figura 2 ►

Publicações por ano e base de pesquisa (21 artigos).
Fonte: dados da pesquisa



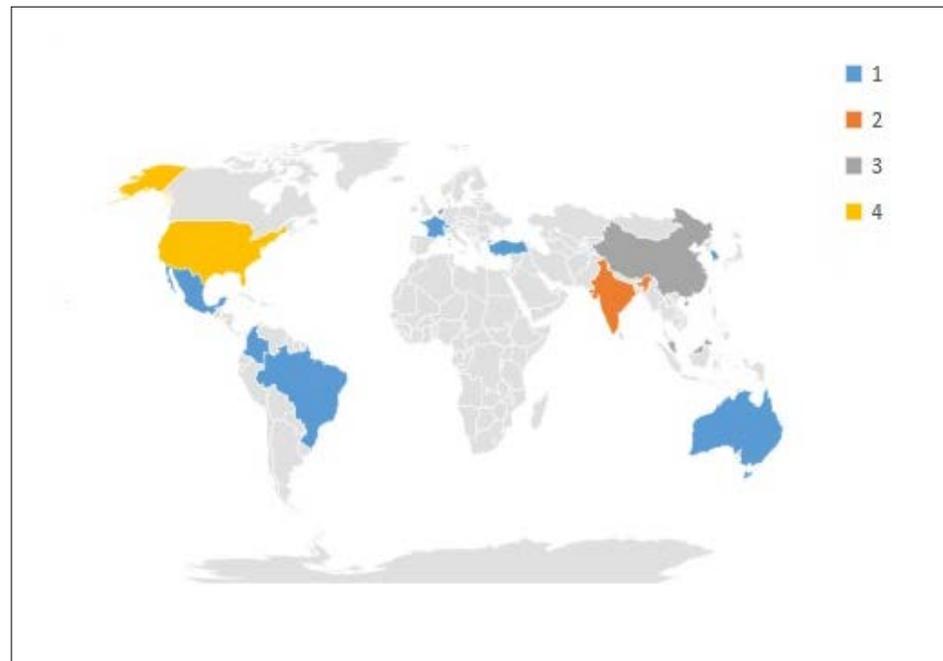
Entre os periódicos, destacam-se o *Construction and Building Materials*, no qual foram encontradas sete publicações; a revista *Materials*, com dois artigos; e as demais revistas, com um artigo cada uma, como se registrou na Figura 3.

Figura 3 ▶
Publicações por periódico.
Fonte: dados da pesquisa



Quanto à localização geográfica das publicações (Figura 4), apenas o continente africano não participa das publicações. Europa, Oceania e América do Sul, apesar da representatividade, são pouco expressivos na quantidade. O destaque vai para os Estados Unidos, com quatro publicações, seguidos da China e da Malásia, com três publicações cada um.

Figura 4 ▶
Distribuição dos artigos por país.
Fonte: dados da pesquisa



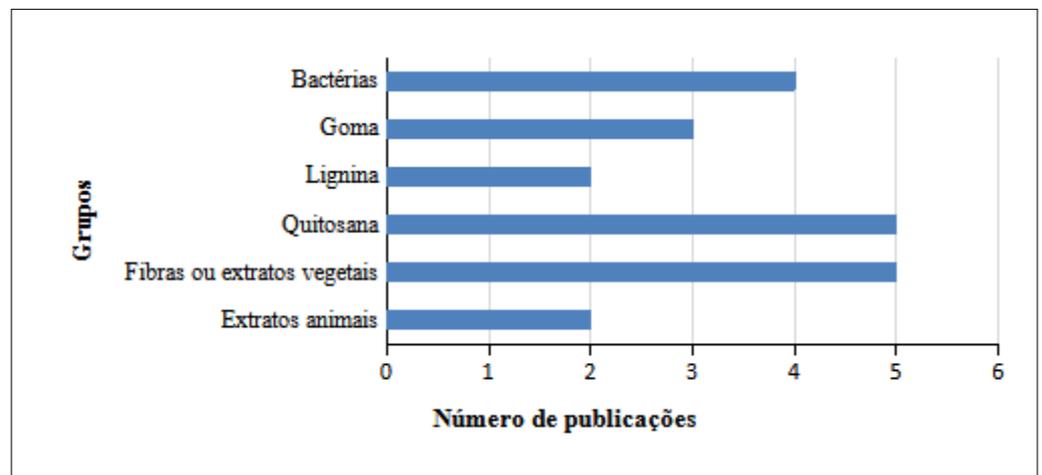
4.1 Classificação dos trabalhos

Com o intuito de estruturar as informações dos artigos selecionados, foram criados três blocos que agrupam as informações relacionadas às questões levantadas na seção 3, entre os quais estão: materiais usados como biopolímeros; propriedades ressaltadas; e impacto ambiental.

4.1.1 Material usado como biopolímero

No total foram pesquisados 16 materiais, os quais foram dispostos isoladamente ou combinados. Houve predominância de biopolímeros provenientes de vegetais (59,09%); os outros foram de origem animal (40,91%). Os biopolímeros utilizados pelos autores podem ser classificados em seis grupos, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 ►
Divisão de grupos dos biopolímeros estudados.
Fonte: dados da pesquisa



Alguns materiais foram usados em duas ou mais pesquisas. São eles: bactérias *Bacillus pseudofirmus*, utilizadas nos estudos de Lors *et al.* (2017) e Fahimizadeh *et al.* (2020); os cactos, nas pesquisas de Martínez-Molina *et al.* (2015), Shanmugavel *et al.* (2020) e Karim, Hashim e Razak (2016); a lignina, em Gupta, Sverdløve e Washburn (2015) e Jankowska *et al.* (2018); e a quitosana, em Kim *et al.* (2017), Lv *et al.* (2013), Santos *et al.* (2017), Arslan *et al.* (2019) e Liu *et al.* (2015).

Somente duas pesquisas associaram dois ou mais materiais. São elas: Santos *et al.* (2017), que misturaram quitosana e hidroxiapatita – uma proveniente dos esqueletos de crustáceos e outra das escamas de peixe, respectivamente – para obtenção de uma pasta para cimentação de poços de petróleo; e Khatami e O’Kelly (2018), que verificaram a aplicabilidade potencial de vários biopolímeros, incluindo goma xantana, goma diutana, goma de acácia, amido modificado, goma guar e um polímero celulósico, para manter as partículas sólidas de uma argamassa particulada em suspensão.

Pelo teor dos artigos, vê-se que houve a preocupação dos autores em descrever os processos (físicos e/ou químicos) aos quais o biopolímero foi submetido, com exceção de um artigo, cujo autor não descreveu o processo de beneficiamento.

Destaca-se que 11 dos materiais utilizados possuem a mesma nacionalidade de um dos autores do artigo, ou seja, os autores empregaram em suas pesquisas biopolímeros produzidos em sua respectiva nação, do que se infere que o material corresponde a produto local.

A principal forma de inserção do biopolímero foi através de sua mistura ao cimento para posterior hidratação com a água, fato registrado em nove artigos. Na sequência, sete dos biopolímeros foram misturados à água de amassamento dos produtos à base de cimento. Apenas em quatro artigos, os biopolímeros foram incorporados após a produção de pastas/argamassas/concretos, e um fez a substituição total da água de amassamento pelo biopolímero. O Quadro 2 traz a relação dos materiais, processos de beneficiamento, métodos de aplicação, quantidades e fatores água/cimento (a/c), bem como as propriedades estudadas.

Quadro 2 ▼

Resumo das publicações selecionadas.

Fonte: dados da pesquisa

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Azima; Bundur (2019)	Bactérias	Células bacterianas de <i>S. Pasteurii</i>	Centrifugação e lavagem	Misturado à água de amassamento	0,05%, 0,10% e 0,50% do peso do cimento	Relações a/c: 0,36, 0,40, 0,45 e 0,50	Viscosidade
Chatterjee et al. (2019)	Bactérias	Bactérias – <i>Bacillus Subtilis</i>	Não houve beneficiamento	Misturado à água de amassamento	10 ⁵ células/ml	0,40	Propriedades mecânicas e durabilidade
Lors et al. (2017)	Bactérias	Bactérias – <i>Bacillus pseudofirmus</i> DSM 2516	Não houve beneficiamento	Argamassa imersa em contato com as bactérias	2x10 ⁹ bactérias/mL	0,48	Autocura
Fahimizadeh et al. (2020)	Bactérias	Bactérias – <i>Bacillus pseudofirmus</i> DSM 8715	Cultivo da bactéria e encapsulamento	Inserido na pasta de cimento convencional	5% de cápsulas de CaAlg* por volume da pasta	0,35	Autocura
Hoyos et al. (2019)	Extratos vegetais	Fibras de fique como nanofibrilas de celulose (CNF)	Isolamento da celulose e transformação em nanofibrilas	Misturado ao cimento para posterior hidratação	0,0%, 0,1%, 0,2%, 0,3% e 0,4% em peso do cimento	0,45	Viscosidade
Martínez-Molina et al. (2015)	Extratos vegetais	Cactos desidratados	Fatiado e cozido	Misturado ao cimento para posterior hidratação	Substituição de 1%, 2% e 4% em relação ao cimento	Variável	Tempo de pega
Aday et al. (2018)	Extratos vegetais	Carrageninas	Extraídas por meio de um processo alcalino	Misturado ao cimento para posterior hidratação	0,3% do peso do cimento	0,30	Retração
Shanmugavel et al. (2020)	Extratos vegetais	Extrato de cacto	Folhas cortadas, adicionadas à água, espremidas e filtradas	Misturado à água de amassamento	Concentrações variáveis de 2%, 4%, 6%, 8% e 10% por peso da água	---	Viscosidade e trabalhabilidade
Karim; Hashim; Razak (2016)	Extratos vegetais	Óleo de palma	Secagem, trituração e peneiramento	Misturado ao cimento para posterior hidratação	Substituição do cimento em 30%	0,40	Propriedades mecânicas
Ofori-Boadu et al. (2018)	Extratos animais	Biocarvão de dejetos de suíno	Filtragem, tratamento térmico e outros (não citados no artigo)	Misturado ao cimento para posterior hidratação	De 0% a 20% da mistura de secos	0,28 e 0,40	Absorção de água
Park et al. (2020)	Extratos animais	Caseína	Solubilização da caseína do leite	Misturado ao concreto	0,5; 1,0; 1,5 de cimento	---	Resistência à água
Mohamed et al. (2018)	Goma	Goma arábica (AGB)	Produto comercial	Misturado à água de amassamento	AGB entre 0,1% e 1,1% do peso de cimento	---	Trabalhabilidade, tempo de pega e durabilidade
Zhao et al. (2016)	Goma	Goma welan	Produto comercial	Misturado ao cimento para posterior hidratação	---	---	Adsorção
Khatami; O'Kelly (2018)	Goma	Goma xantana; goma de guar; goma de acácia; amido natural	Não definido no artigo	Misturado à água de amassamento	0,15% em massa de água		Viscosidade e propriedades mecânicas

Continua

Gupta; Sverdløve; Washburn (2015)	Lignina	Lignina kraft	Produto comercial	Misturado ao cimento para posterior hidratação	---	---	Trabalhabilidade
Jankowska et al. (2018)	Lignina	Lignina proveniente da celulose	Mistura com agente para solubilidade em água	Misturado à água de amassamento	---	---	Viscosidade
Kim et al. (2017)	Quitosana	Pó de quitosana	Hidratação, aquecimento, resfriamento e corte de proporção certa	Misturado ao concreto	0,5% em peso, 1% em peso, 2% em peso	---	Propriedades mecânicas
Lv et al. (2013)	Quitosana	Quitosana sulfatada	Decomposta antes da sulfatação, resfriada, neutralizada e purificada por precipitação	Substituição da água	---	---	Viscosidade
Santos et al. (2017)	Quitosana	Quitosana e hidroxiapatita	Quitosana: material comercial. Hidroxiapatita: escamas lavadas e secas em temperatura ambiente por 24 horas	Misturado ao cimento para posterior hidratação	5% de cada biopolímero e HA** em relação ao peso total do cimento	0,50	Autocura
Arslan et al. (2019)	Quitosana	Quitosana sulfatada	Copolimerização e sulfonação	Misturado ao cimento para posterior hidratação	1,2% do peso do cimento	0,68	Viscosidade e trabalhabilidade
Liu et al. (2015)	Quitosana	Quitosana	Produto comercial	Misturado à água de amassamento	0,25%, 0,50% e 1,00% do peso do cimento	---	Propriedades mecânicas e viscosidade

(1) Autor; (2) Grupo biopolímero; (3) Biopolímero; (4) Processo de beneficiamento; (5) Como o biopolímero foi usado; (6) Quantidade de material; (7) Fator água/cimento; (8) Propriedades estudadas.

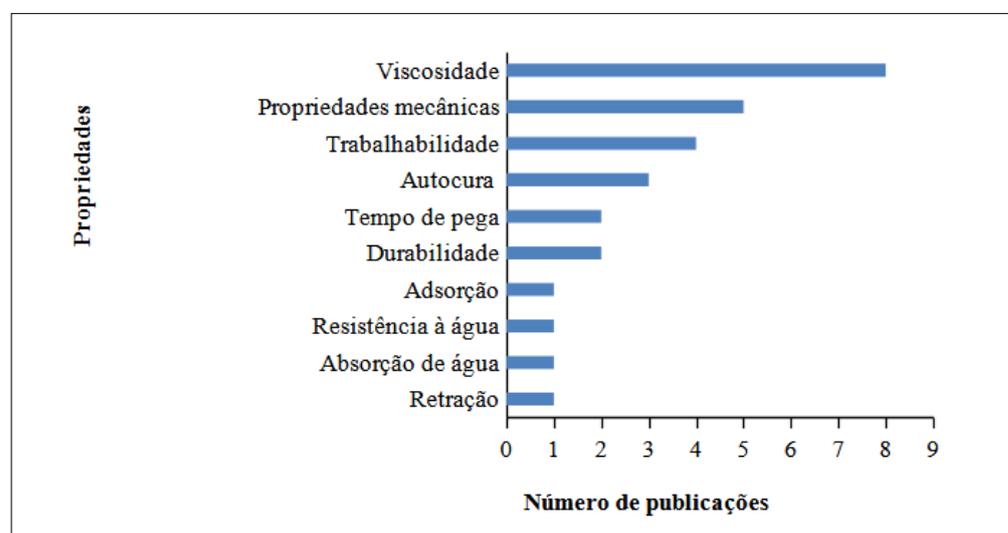
CaAlg* - Alginato de cálcio

HA** - Hidroxiapatita

4.1.2 Propriedades das pastas de cimento com biopolímeros

De acordo com a Figura 6, a viscosidade foi a propriedade mais analisada pelos pesquisadores entre os artigos selecionados.

Figura 6 ►
Propriedades analisadas.
Fonte: dados da pesquisa



Os agentes modificadores de viscosidade são polímeros solúveis em água que podem ser produzidos a partir de biopolímeros. Aqueles que contêm polissacarídeos na estrutura das células levam a maior retenção de água, aumentando, assim, a viscosidade, conforme justificam Azima e Bundur (2019), Shanmugavel *et al.* (2020) e Khatami e O’Kelly (2018), para o incremento dessa propriedade a partir da adição de micro-organismos do tipo células bacterianas de *S. Pasteurii*, de extrato de cacto e de gomas, respectivamente. Azima e Bundur (2019) acrescentam que a influência dos micro-organismos foi menor em fatores de a/c superiores a 0,45 e 0,5, pois o aumento da quantidade de água na mistura provoca diminuição no desempenho das células.

No grupo de materiais à base de extratos vegetais, a principal propriedade estudada nos artigos de Hoyos *et al.* (2019) e Shanmugavel *et al.* (2020) foi a viscosidade. Além dos polissacarídeos, Hoyos *et al.* (2019) trazem a informação de que a adição de nanocelulose também tende a modificar a viscosidade das pastas de cimento com pequenas adições do material, pois eleva o grau de hidratação e a tensão de escoamento com o acréscimo das fibras de faveleira. Esse agente modificador de viscosidade também age prevenindo microfissuras em pastas de cimento expostas a altas temperaturas.

Vale ressaltar que outras propriedades sofreram alterações com a diminuição da viscosidade, tal como a resistência mecânica. A diminuição da viscosidade provocou o aumento da resistência mecânica, uma vez que os aditivos contendo polissacarídeos melhoraram a retenção de água, diminuindo o fator água/cimento e evitando a secagem precoce que reduz as fissuras de contração (SHANMUGAVEL *et al.*, 2020).

O método de mistura dos biopolímeros nas pastas e argamassas, bem como no conjunto, tem efeito direto sobre as propriedades e qualidades do material. Zhao *et al.* (2016) constataram que as argamassas com adição simultânea de goma de welan e superplastificante apresentaram viscosidade aparente superior à da argamassa em que a goma foi inserida após superplastificante na mistura.

Apesar de a viscosidade ter sido a propriedade mais estudada pelos autores, cada biopolímero possui características peculiares que interferem diretamente no tipo de propriedade a ser alcançada em cada material à base de cimento. Assim sendo, será discutida a principal característica dos três primeiros grupos de biopolímero com maior representatividade em quantidade: quitosana, extratos vegetais e bactérias, conforme apresentado na Figura 6.

A quitosana é o polímero derivado da desacetilação da quitina, segundo polissacarídeo natural mais abundante, proveniente principalmente de carapaças de crustáceos (SANTOS, 2019). Arslan *et al.* (2019) afirmam que o principal tipo de quitosana utilizada como aditivo é a sulfatada, porém ainda são escassos os estudos com esse material.

Dentro da indústria da construção, a quitosana demonstrou atuar como espessante em misturas cimentícias. Esse material também tem papel retardador de pega, devido à consequência da interação das cadeias de moléculas com o cimento (LIU *et al.*, 2015).

Como outros superplastificantes, a quitosana sulfatada diminui o conteúdo de ar e, conseqüentemente, proporciona acréscimo da resistência à compressão, em virtude do baixo fator água/cimento (ARSLAN *et al.*, 2019).

Vale destacar que Lv *et al.* (2013) e Arslan *et al.* (2019) relatam que os estudos com a quitosana sulfatada não se limitam a apresentar apenas um novo superplastificante, mas apresentam também um método para a inserção de nova categoria de plastificantes naturais.

No segundo grupo, o uso de bactérias nas pastas de cimento está relacionado principalmente à propriedade de autocura em argamassas e concretos, que

proporciona maior durabilidade e resistência. De acordo com Lors *et al.* (2017), a cura autógena envolve tanto a hidratação do cimento anidro quanto a lixiviação e carbonatação da pasta de cimento.

Conforme Fahimizadeh *et al.* (2020), os sistemas de autocura de concreto biológico são baseados no processo de precipitação de CaCO_3 , induzida microbianamente por várias bactérias alcalifílicas. O CaCO_3 bacteriano pode preencher poros e microfissuras ($0,01 \mu\text{m} - 0,1 \mu\text{m}$) que se formam durante e após o processo de endurecimento de argamassa/concreto jovem, melhorando, assim, a integridade estrutural e reduzindo a chance de degradação pela entrada de agentes corrosivos. O CaCO_3 é naturalmente precipitado no concreto através da reação do CO_2 atmosférico com Ca(OH)_2 , que é abundante no concreto fresco.

A incorporação de células aumentou os parâmetros reológicos (viscosidade plástica e tensão de escoamento), independentemente do fator *a/c* usado para as misturas, segundo Azima e Bundur (2019). Isso foi atribuído à presença de polissacarídeos e peptidoglicanos na estrutura das células, levando a uma maior retenção de água, aumentando, portanto, a viscosidade, devido a sua mobilidade, propriedade exaltada por Azima e Bundur (2019).

Quanto aos aditivos oriundos de vegetais, estes podem se apresentar em forma de gel, quando realizado o corte e prensagem, para ser adicionado à água de amassamento, como descrevem Shanmugavel *et al.* (2020) e Aday *et al.* (2018), ou em fibras que são adicionadas ao cimento antes de sua hidratação (HOYOS *et al.*, 2019).

O extrato de cacto aumenta a propriedade de viscosidade da mistura de concreto e, assim, diminui a trabalhabilidade, de acordo com Shanmugavel *et al.* (2020). Dessa forma, o mesmo tipo de material (fibras vegetais) pode ser usado para diversas funções que atuam desde o aumento da viscosidade até a impermeabilidade.

Ademais, os polissacarídeos presentes influenciam as características de resistência do concreto modificado com aditivo, enquanto as proteínas e gorduras têm impacto na trabalhabilidade e durabilidade do concreto (MARTÍNEZ-MOLINA *et al.*, 2015; SHANMUGAVEL *et al.*, 2020).

Quanto às propriedades mecânicas, Shanmugavel *et al.* (2020) citam que, embora o ganho de resistência do concreto modificado com aditivo em idade precoce seja mais lento, após 28 dias estas foram realçadas e ultrapassaram o concreto sem biopolímeros, o que poderia ser atribuído à hidratação aprimorada de partículas de cimento.

Por fim, as nanofibras de celulose isoladas interagiram com as partículas de cimento e mistura de água, aumentando a tensão de escoamento da pasta de cimento exponencialmente ao aumento do material (HOYOS *et al.*, 2019).

4.1.3 Uso de biopolímeros e os impactos ambientais

Com a crescente preocupação ambiental em todos os segmentos da construção civil, o uso de materiais de fontes renováveis ganha a atenção de pesquisadores. Um dos principais pontos a serem eliminados são os problemas ambientais causados pelas fontes não renováveis, que permeiam toda a cadeia produtiva, desde a não renovação da matéria-prima até seu descarte final.

O uso de biopolímeros aumenta a cada ano, devido ao objetivo da indústria de fornecer construção não tóxica, livre de emissões de gases poluentes e com menores intervenções climáticas (HOYOS *et al.*, 2019; ARSLAN *et al.*, 2019).

Apesar de a discussão ambiental ser bastante difundida, ainda não é fator fundamentalmente considerado nas inovações tecnológicas, visto que, dos artigos selecionados, apenas 40,91% (9 artigos) citam algum benefício ambiental de pastas de cimento que usam biopolímeros em sua composição.

Arslan *et al.* (2019) comentam não apenas que o uso de biopolímeros contribui para melhoria ambiental, mas também que tais misturas químicas naturais diminuirão o custo dos materiais cimentícios, uma vez que eles não exigem valores maiores de energia para serem produzidos.

Associada ao tema ambiental encontra-se a implicação social quanto à necessidade do desenvolvimento de tecnologia local para a produção de materiais de construção de baixo custo a partir de recursos naturais, o que resulta em crescimento sustentável. Outro aspecto é a criação de novos pontos de venda para o produto, providência que mitigaria impactos sociais e econômicos na região (MOHAMED *et al.*, 2018).

Além disso, Arslan *et al.* (2019) se atentam ao cerne do processo e reforçam a necessidade da mudança de mentalidade do homem quanto ao processo de produção de materiais à base de cimento.

5 Conclusões

Os materiais orgânicos naturais têm se tornado uma opção viável para substituição de polímeros sintéticos que aumentam a emissão de substâncias tóxicas no meio ambiente.

Diante dessa perspectiva e com base nos artigos pesquisados para elaboração desta revisão sistemática, pode-se concluir que:

- Aditivos naturais e extratos vegetais demonstram ser alternativas valiosas na fabricação de ligantes de cimento de baixo custo e baixo impacto ambiental;
- Apesar de tênue, o crescimento do uso de biopolímeros nos materiais à base de cimento é notório, em virtude do aumento do número de pesquisas desenvolvidas a partir de 2015 em diversas partes do mundo e que apresentam bons resultados;
- Existe uma tendência quanto ao uso de alguns materiais consolidados no mercado mundial como biopolímeros, fato que é corroborado por serem produtos comercializados para diversos setores produtivos, como lignina, quitosana e bactérias;
- A principal propriedade analisada nos compostos à base de cimento com uso de biopolímeros foi a viscosidade proporcionada por diferentes categorias de polímeros naturais. Essa propriedade, por sua vez, atua diretamente na diminuição do fator água/cimento, promovendo o incremento da resistência mecânica. Ressaltam-se ainda outras propriedades que foram estudadas, embora estas só se destaquem diante do agrupamento de materiais semelhantes, como a autocura, trabalhabilidade, resistência mecânica, entre outras.
- Percebe-se que o mercado da construção civil ainda não está receptivo ao conhecimento gerado pelas pesquisas com biopolímeros, por ter dificuldade em quebrar paradigmas quanto ao uso dos materiais orgânicos naturais em sistemas tradicionais.

Uma limitação encontrada para esta escrita foi quanto à busca de trabalhos que versassem sobre materiais orgânicos naturais, visto que o termo “orgânico” também se refere à parte da química que estuda os compostos de carbono. Outro item relevante

na busca de artigos consiste na especificidade das palavras-chave escolhidas pelos autores, visto que muitos utilizam o nome do material ao invés do termo “biopolímero”, dificultando a busca primária.

Apesar de todo o conteúdo explicitado pelos artigos, é notável a pouca discussão da interação dos biopolímeros utilizados pelos pesquisadores no mecanismo de hidratação do cimento e de que maneira isso interferiu na aquisição das propriedades da pasta de cimento, visto que essas propriedades estão diretamente relacionadas ao desempenho dos materiais cimentícios. Outra lacuna percebida entre os artigos estudados é quanto à escassez de biopolímeros provenientes do descarte de outros processos produtivos, os quais geram um passivo ambiental e que poderiam ser inseridos na indústria da construção.

Em pesquisas futuras, é interessante o estudo e aplicação de materiais naturais em compostos à base de cimento sem que haja processos industriais de beneficiamento das amostras e, portanto, com menor consumo de energia para produção. Com isso o ganho técnico, social e ambiental é potencializado, pois gera uma cadeia produtiva otimizada quanto ao uso dos recursos naturais.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ADAY, A. N.; OSIO-NORGAARD, J.; FOSTER, K. E. O.; SRUBAR III, W. V. Carrageenan-based superabsorbent biopolymers mitigate autogenous shrinkage in ordinary Portland cement. **Materials and Structures**, v. 51, n. 2, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1164-5>.

ARAB, M. G.; OMAR, M.; ALMAJED, A.; ELBAZ, Y.; AHMED, A. H. Hybrid technique to produce bio-bricks using enzyme-induced carbonate precipitation (EICP) and sodium alginate biopolymer. **Construction and Building Materials**, v. 284, 122846, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122846>.

ARSLAN, H.; AYTAÇ, U. S.; BILIR, T.; SEN, S. The synthesis of a new chitosan based superplasticizer and investigation of its effects on concrete properties. **Construction and Building Materials**, v. 204, p. 541-549, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.209>.

AZIMA, M.; BUNDUR, Z. B. Influence of *Sporasarcina pasteurii* cells on rheological properties of cement paste. **Construction and Building Materials**, v. 225, p. 1086-1097, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.132>.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e Sociedade**, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011. DOI: <https://doi.org/10.21171/ges.v5i11.1220>.

CIB – CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT. **Agenda 21 for sustainable construction**. Rotterdam: CIB, 1999. (CIB Report Publication, 237). Disponível em: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB4675.pdf>. Acesso em: 3 maio 2021.

CHATTERJEE, A.; SARKAR, A.; GHOSH, S.; MANDAL, S.; CHATTOPADHYAY, B. Bacterium-incorporated fly ash geopolymer: a high-performance, thermo-stable cement alternative for future construction material. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 21, n. 9, p. 1779-1789, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01749-2>.

FAHIMIZADEH, M.; ABEYRATNE, A. D.; MAE, L. S.; SINGH, R. K. R.; PASBAKSH, P. Biological self-healing of cement paste and mortar by non-ureolytic bacteria encapsulated in alginate hydrogel capsules. **Materials**, v. 13, n. 17, 3711, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13173711>.

FANG, S.; ZHANG, K.; ZHANG, H.; ZHANG, B. A study of traditional blood lime mortar for restoration of ancient buildings. **Cement and Concrete Research**, v. 76, p. 232-241, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.06.006>.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 811-816, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000400031>.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **LOGEION: Filosofia da Informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21728/logcion.2019v6n1.p57-73>.

GOUVÊA, M. R. **Desenvolvimento e caracterização de sistemas viscoelásticos utilizando polissacarídeos e íons borato: aplicação em pastas de cimento Portland**. 2008. 123 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/20539>. Acesso em: 1 abr. 2021.

GUIMARÃES, C. C.; MATOS, S. R. C. Utilização da cinza da casca do coco verde como substituição parcial do cimento Portland em argamassas. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, p. 251-269, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v13i1.41675>.

GUPTA, C.; SVERDLOVE, M. J.; WASHBURN, N. R. Molecular architecture requirements for polymer-grafted lignin superplasticizers. **Soft Matter**, v. 11, n. 13, p. 2691-2699, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/c4sm02675f>.

HOYOS, C. G.; ZULUAGA, R.; GAÑÁN, P.; PIQUE, T. M.; VAZQUEZ, A. Cellulose nanofibrils extracted from fique fibers as bio-based cement additive. **Journal of Cleaner Production**, v. 235, p. 1540-1548, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.292>.

JANKOWSKA, D.; HECK, T.; SCHUBERT, M.; YERLIKAYA, A.; WEUMUTH, C.; RENTSCH, D.; SCHOBER, I.; RICHTER, M. Enzymatic synthesis of lignin-based

concrete dispersing agents. **ChemBioChem – Combining Chemistry and Biology**, v. 19, n. 13, p. 1365-1369, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/cbic.201800064>.

KARIM, M. R.; HASHIM, H.; RAZAK, H. A. Thermal activation effect on palm oil clinker properties and their influence on strength development in cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 125, p. 670-678, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.092>.

KHATAMI, H.; O'KELLY, B. C. Prevention of bleeding of particulate grouts using biopolymers. **Construction and Building Materials**, v. 192, p. 202-209, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.131>.

KIM, E. S.; LEE, J. K.; LEE, P. C.; HUSTON, D. R.; TAN, T.; AL-GHAMDI, S. Reinforced cementitious composite with *in situ* shrinking microfibers. **Smart Materials and Structures**, v. 26, n. 3, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1361-665X/aa5a2e>.

LIU, H.; BU, Y.; SANJAYAN, J.; SHEN, Z. Effects of chitosan treatment on strength and thickening properties of oil well cement. **Construction and Building Materials**, v. 75, p. 404-414, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.047>.

LORS, C.; DUCASSE-LAPEYRUSSE, J.; GAGNÉ, R.; DAMIDOT, D. Microbiologically induced calcium carbonate precipitation to repair microcracks remaining after autogenous healing of mortars. **Construction and Building Materials**, v. 141, p. 461-469, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.026>.

LV, S.; CAO, Q.; ZHOU, Q.; LAI, S.; GAO, F. Structure and characterization of sulfated chitosan superplasticizer. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 96, n. 6, p. 1923-1929, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jace.12221>.

MACDONALD, A. J. **Structure and architecture**, 3. ed. London: Routledge Taylor & Francis, 2018.

MARTÍNEZ-MOLINA, W.; TORRES-ACOSTA, A. A.; CELIS-MENDOZA, C. E.; ALONSO-GUZMAN, E. Physical properties of cement-based paste and mortar with dehydrated cacti additions. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 9, n. 4, p. 443-452, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583058.2013.800919>.

MIRANDA, E. C. B.; CAMPOS, G. S.; MACEDO NETO, E. A.; CONCEIÇÃO, A. L. S. F.; DIAS, C. M. R. Os indicadores de ecoeficiência de concretos contendo adições minerais. **Revista Brasileira de Engenharia Civil (RBEC)**, v. 1, n. 1, p. 112-129, 2021. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/rbengcivil/article/view/57718>. Acesso em: 12 jun. 2021.

MOHAMED, A. M.; OSMAN, M. H.; SMAOUI, H.; ARIFFIN, M. A. M. Durability and microstructure properties of concrete with arabic gum biopolymer admixture. **Advances in Civil Engineering**, v. 2018, p. 1-9, 1962832, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/1962832>.

NGUYEN, D. D.; DEVLIN, L. P.; KOSHY, P.; SORRELL, C. C. Impact of water-soluble cellulose ethers on polymer-modified mortars. **Journal of Materials Science**, v. 49, p. 923-951, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10853-013-7732-8>.

OFORI-BOADU, A. N.; ABROKWAH, R. Y.; GBEWONYO, S.; FINI, E. Effect of swine-waste bio-char on the water absorption characteristics of cement pastes. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 36, n. 3, p. 283-299, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJBPA-11-2017-0055>.

PARK, S.-S.; WOO, S.-W.; JEONG, S.-W.; LEE, D.-E. Durability and strength characteristics of casein-cemented sand with slag. **Materials**, v. 13, n. 14, 3182, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13143182>.

PESCHARD, A.; GOVIN, A.; GROSSEAU, P.; GUILHOT, B.; GUYONNET, R. Effect of polysaccharides on the hydration of cement paste at early ages. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 11, p. 2153-2158, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.001>.

RISEN, W. M. Principles of polymer systems by Ferdinand Rodriguez (Cornell University). Taylor and Francis: Washington, DC, 1996. xiv + 732 pp. **Journal of The American Chemical Society**, v. 119, n. 46, 11356, 1997. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ja9657162>.

RUDIN, A.; CHOI, P. **Ciência e engenharia de polímeros**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

SANTOS, Â. M. M. **Avaliação da influência da adição de quitosana nas propriedades mecânicas de um compósito cimentício**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/34485>. Acesso em: 16 jan. 2021.

SANTOS, I. M. G.; SANTOS, D. O.; CESTARI, A. R.; RIBEIRO, J. F. S.; ALVES, J. P. H.; FERREIRA, A. B. A new cement slurry modified with chitosan/alginate interpenetrating networks and hydroxyapatite - structural characteristics after long-term contact with hyper-saline produced water from oil well operations. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 22, n. 1, e11779, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0111>.

SANTOS, M. F.; MENEZES, R. A.; OLIVEIRA, E. A.; BRASIL FILHO, E. A. R.; LAVOR, D. A. Study of the effect of carbonation on concrete produced with vegetable fiber (buriti). **ITEGAM – Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications**, v. 4, n. 13, p. 184-189, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20180026>.

SANTOS, M. A. R. C.; GALVÃO, M. G. A. A elaboração da pergunta adequada de pesquisa. **Residência Pediátrica**, v. 4, n. 2, p. 53-56, 2014. Disponível em: <https://cdn.publisher.gn1.link/residenciapediatrica.com.br/pdf/v4n2a04.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2021.

SHANMUGAVEL D.; SELVARAJ, T.; RAMADOSS, R.; RANERI, S. Interaction of a viscous biopolymer from cactus extract with cement paste to produce sustainable concrete. **Construction and Building Materials**, v. 257, 119585, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119585>.

SMITH, A.; PEYRATOUT, C. Cold ceramics: low-temperature processing of ceramics for applications in composites. In: LOW, I. M. (ed.). **Advances in Ceramic Matrix Composites**. 2. ed. Limoges: Woodhead Publishing, 2014. Ch. 11, p. 249-276. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102166-8.00011-6>.

VANDAMME, T. F.; LENOURRY, A.; CHARRUEAU, C.; CHAUMEIL, J.-C. The use of polysaccharides to target drugs to the colon. **Carbohydrate Polymers**, v. 48, n. 3, p. 219-231, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00263-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00263-6).

ZHAO, Q.; ZHANG, Y.; LIU, C.; ZENG, L.; CHEN, S. The competitive adsorption characteristics of welan gum and superplasticizer in cement mortar. **Journal of Wuhan University of Technology: Materials Science**, v. 31, p. 131-138, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11595-016-1342-7>.