

CARACTERÍSTICAS DAS PUBLICAÇÕES SOBRE O USO DA TÉCNICA DE BIOCIMENTAÇÃO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

CHARACTERISTICS OF PUBLICATIONS ON THE USE OF THE BIOCEMENTATION TECHNIQUE IN THE PRODUCTION OF MORTARS

Jupira Almeida¹, Luciane Maria Colla², Antônio Thomé³

¹ Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental-PPEng, - UPF, Passo Fundo-RS. E-mail: jupira@upf.br

² Doutora em Engenharia de Alimentos; Docente do PPEng - UPF, E-mail: lmcola@upf.br

³ Doutor em Engenharia Civil; Docente do PPEng -UPF, E-mail: thome@upf.br

RESUMO

A busca por alternativas que levam a aplicação do desenvolvimento sustentável está cada vez mais intensa. O setor de construção civil intensifica suas pesquisas em busca de materiais alternativos e menos agressivos ao meio ambiente. Recentes pesquisas buscam o aprofundamento no conhecimento e na técnica de produzir materiais através da utilização de bactérias presentes na natureza, principalmente no solo, técnica esta conhecida como biocimentação, e que quando cultivadas com nutrientes adequados e em condições de temperatura controlada produzem um material conhecido como biocimento, o qual possui características encontradas no cimento Portland, material muito utilizado na produção de elementos como argamassas e concretos. Desta forma, este estudo objetiva analisar as características e esboçar um panorama geral da produção científica no campo da biocimentação, até o ano de 2017, representados pelos artigos científicos indexados na base de dados Scopus (Elsevier) e Web of Science (WoS) e pesquisas aleatórias para formulação de uma ordem cronológica de publicações.

Palavras chave: Biocimentação. Bioargamassa. Scopus (Elsevier). Web of Science (WoS). Bibliometria.

ABSTRACT

The search for alternatives that lead to the application of sustainable development is increasingly intense. The civil construction sector intensifies its research in search of alternative materials that are less aggressive to the environment. Recent research seeks to deepen the knowledge and technique of producing materials through the use of bacteria present in nature, mainly in the soil, a technique known as biocimentation, which when grown with adequate nutrients and under controlled temperature conditions produces a material known as biocement, which has characteristics found in Portland cement, a material widely used in the production of elements such as mortar and concrete. Thus, this study aims to analyze the characteristics and sketch an overview of scientific production in the field of biocimentation, until the year 2017, represented by scientific articles indexed in the Scopus (Elsevier) and Web of Science (WoS) database and research to form a chronological order of publications.

Keywords: Biocimentation. Biomortars. Scopus (Elsevier). Web of Science (WoS). Bibliometry.

1 INTRODUÇÃO

A busca por alternativas que levam a aplicação do desenvolvimento sustentável está cada vez mais intensa. O setor de construção civil intensifica suas pesquisas em busca de materiais alternativos e menos agressivos ao meio ambiente. A utilização do conceito de biomimetismo, que a grosso modo seria usar a natureza a nosso favor, ou seja, a ciência que estuda os princípios básicos da natureza, como os construtivos, os tecnológicos, os de formas, etc., é umas das alternativas pesquisadas e que vem apresentando um grande potencial de utilização em benefício ao meio ambiente.

O cimento conhecido nos tempos antigos, em seguida, esquecido e redescoberto no século XIX, tornou-se agora o material de construção mais amplamente utilizado. A produção deste material

maravilhoso é onerosa para o meio ambiente, sendo responsável por até 5% do total das emissões de dióxido de carbono pelo homem (TARCZEWSKI, 2015).

Para Tarczenski (2015), a busca por futuras mudanças na modelagem de objetos que exigem o uso do cimento deve levar em conta dois aspectos: a redução do impacto ambiental e a facilidade de formas de obtenção, referindo-se à exploração da natureza.

O Biomimetismo ou a Biônica são abordagens tecnologicamente orientadas para aplicar as lições de design da natureza buscando solucionar os problemas do homem. Os estudos da Biomimética são embasados nas soluções naturais de projeto, decodificando geometrias e funcionamentos, na busca do melhor aproveitamento e do menor gasto de energia (DETANICO et al, 2010).

Dentro dos princípios básicos do biomimetismo entra o conceito de biomineralização, que segundo Mann (2001) é o estudo da formação, da estrutura e das propriedades dos sólidos inorgânicos depositados em sistemas biológicos. A biomineralização envolve a extração seletiva e absorção de elementos do ambiente local e sua incorporação nas estruturas funcionais sob o controle biológico estrito, conforme explicitado na Figura 1.

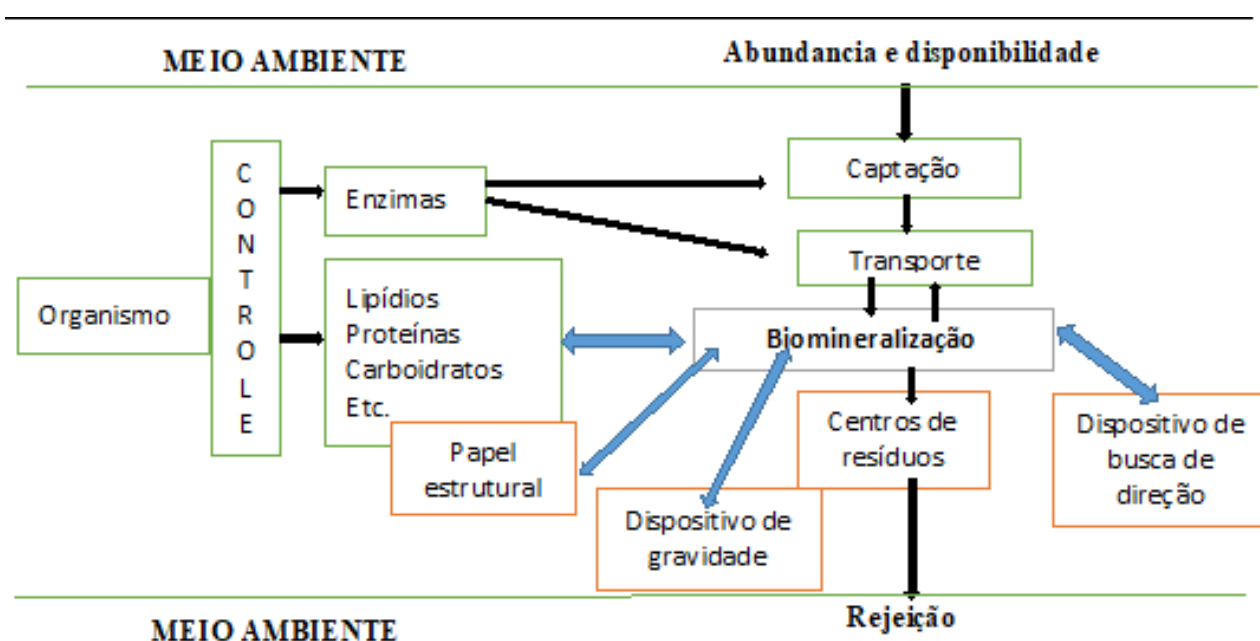


Figura 1 – Biomineralização e o meio ambiente. Fonte: Adaptado de Mann, 2001

A biomineralização é o processo em que os organismos formam minerais a partir de uma atividade celular, em função de condições físico-químicas necessárias e ideais para que o processo possa ocorrer. Este processo é dividido em dois tipos, sendo o primeiro a mineralização biologicamente induzida, onde os organismos são depositados acidentalmente e interagem com o meio e as condições ambientais, ocorrendo o processo metabólico; e, o segundo que é a mineralização biologicamente controlada, na qual o organismo controla o processo de atividade celular, ou seja, o organismo sintetiza os minerais de forma característica, de acordo com a sua espécie, independentemente das condições ambientais.

As aplicações da biomineralização no aumento da durabilidade de materiais de construção podem ser divididas em dois processos, nomeadamente a biodeposição, através da deposição de uma camada protetora com propriedades de consolidação e de impermeabilização entre outras, e a biocimentação, através da geração de um ligante induzido biologicamente (DE MUYNCK et al., 2010).

A biodeposição consiste no uso de microrganismos, que possuem a capacidade de precipitar carbonato de cálcio, o qual calcifica a superfície onde são depositados estes microrganismos, criando assim uma capa protetora. Esta técnica é estudada, principalmente, para a proteção e recuperação de monumentos históricos.

Além da aplicação da precipitação de cálcio biologicamente induzida para a criação de uma camada de carbonato na superfície de materiais de construção através do processo de biodeposição, a precipitação de carbonato de cálcio bioinduzida pode também ser usada para a geração de materiais ligantes. Esta técnica, a biocimentação, pode ter várias aplicações como a reparação de fissuras, aumento de resistência, ou capacidade de auto reparação de materiais (DE MUYNCK et al., 2010).

Jones et al (2002), apresentou resultados de pesquisa em que o biocimento demonstrou sua eficácia na melhoria das propriedades mecânicas e durabilidade dos materiais cimentícios. Ele aumentou a resistência à compressão de tais materiais através da aceleração de mineralização de carbonato de cálcio em concreto.

Recentes pesquisas buscam o aprofundamento no conhecimento e na técnica da biocimentação para produzir materiais através da utilização de bactérias presentes na natureza, principalmente no solo e que quando cultivadas com nutrientes adequados e em condições de temperatura controlada produzem um material conhecido como biocimento, o qual possui características encontradas no cimento Portland, material muito utilizado na produção de elementos como argamassas e concretos.

Para o aprofundamento da pesquisa buscou-se saber o quanto já se tem de estudos publicados sobre o tema proposto para a pesquisa usando-se a técnica da bibliometria para auxiliar na elaboração de um panorama cronológico de publicações sobre biocimentação aplicadas na construção civil.

2 PROCESSO DE BIOCIIMENTAÇÃO

O processo de biocimentação consiste em um processo biológico no qual os microrganismos são induzidos ou controlados biologicamente, onde interagem com o meio promovendo sua atividade celular, em condições físico-químicas adequadas para o seu crescimento e consequentemente a produção de enzimas, no caso urease, por conseguinte a precipitação do carbonato de cálcio, a calcita (CaCO_3), produto com propriedades cimentantes.

De Muyntck et al. (2010) apresentam uma representação simplificada do ciclo celular da precipitação de cálcio induzida microbiologicamente (Figura 2) que se dá da seguinte forma: Os íons de cálcio na solução são atraídos para a parede celular bacteriana devido à carga negativa do último. Após a adição de ureia às bactérias, o carbono inorgânico dissolvido (DIC) e o amônio (AMM) são liberados no microambiente da bactéria (A). Na presença de íons cálcio, isso pode resultar em supersaturação local e, portanto, em precipitação heterogênea de carbonato de cálcio na parede celular bacteriana (B). Depois de um tempo, a célula inteira fica encapsulada (C), limitando a transferência de nutrientes, resultando na morte celular. A imagem (D) mostra as impressões de células bacterianas envolvidas na precipitação de carbonatos.

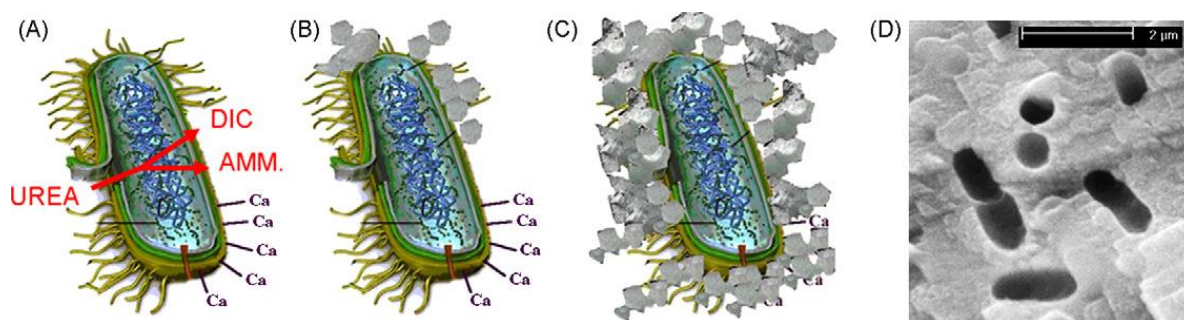


Figura 2 – Representação simplificada do ciclo celular da precipitação de cálcio induzida microbiologicamente. Fonte: De Muyntck et al. (2010)

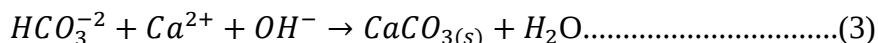
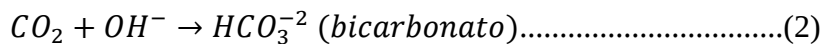
2.1. Mecanismos químicos da Biomineralização

A amônia gerada na reação do ciclo celular da bactéria é uma base (Fórmula 1):



Conforme a reação progride o pH aumenta, consequentemente mais NH_3 (amônia) é gerado.

Na presença de uma base de CO_2 (dióxido de carbono) e Ca^{2+} (cátion de cálcio), gerará carbonato de cálcio (Fórmula 2 e 3).



$CaCO_3$ é um sal insolúvel de cálcio e, através deste processo precipita-se como calcite, o alomorfo mais estável do carbonato de cálcio.

Ca^{2+} (cátion de cálcio) é gerado por solvatação de um sal de cálcio solúvel em água ou CaO (óxido de cálcio) ou $Ca(OH)_2$ (hidróxido de cálcio).

A extensão da precipitação na produção de enzima, dependerá diretamente da quantidade inicial de ureia e da concentração de cátions de cálcio.

3 PESQUISA BIBLIOMÉTRICA

Para Café e Bräscher (2008) a Bibliometria pode ser definida como um conjunto de leis e princípios aplicados a métodos estatísticos e matemáticos que visam o mapeamento da produtividade científica de periódicos, autores e representação da informação. Ainda os mesmos autores descrevem que para cada um destes campos de estudos são adotadas respectivamente as leis de Bradford, de Lotka e de Zipf.

Ainda explicam Café e Bräscher (2008) que a lei de Bradford objetiva conhecer o núcleo de periódicos produzido em determinado tema, a lei de Lotka visa definir as maiores contribuições de pesquisadores em determinadas áreas do conhecimento e, a lei de Zipf pontua a frequência com que certas palavras aparecem nos textos científicos de maneira a definir sua representatividade neste contexto.

Pesquisadores de diferentes áreas de conhecimento têm utilizado essa metodologia para medir a produção científica, uma das mais importantes atividades de disseminação da pesquisa, sob a forma de publicações e muitas vezes essas análises ultrapassam as dimensões quantitativas, associando os resultados da pesquisa aos pesquisadores e aos conhecimentos e inovações que eles produzem, e com isso sendo objeto de interesse de governos e países para orientar suas políticas científicas e tecnológicas (SILVA et al, 2011).

Para Araújo e Alvarenga (2011) a bibliometria, como área de estudo da Ciência da Informação, tem um papel relevante na análise da produção científica de um país, uma vez que seus indicadores podem retratar o comportamento e desenvolvimento de uma área do conhecimento.

Desta forma foi utilizada a técnica da bibliometria para analisar a produção científica no campo da biocimentação aplicada na produção de argamassas até o ano de 2017, representadas pelos artigos científicos indexados nas bases de dados Scopus (Elsevier) e Web of Science (WoS), a qual é apresentada, juntamente com a evolução teórica dos temas, os autores e países com maior número de publicações sobre o assunto. Estas informações trazem conhecimento científico sobre a evolução do uso da biocimentação, com foco principal para o cenário da produção de argamassas usando a técnica da biocimentação.

3.1. Processo de informações através da bibliometria

A pesquisa bibliométrica temporal foi de cunho quantitativo, com o objetivo de ampliar o conhecimento referente às publicações relacionadas ao tema biocimentação na produção de argamassas (*Biocimentation in the production of mortars*), nas bases de dados Scopus (Elsevier) e Web Science

(WoS), considerando a data mais antiga da qual foi encontrado pesquisas sobre o tema até o ano de 2017.

3.2. Coleta de informações na base de dados Scopus (Elsevier) e Web of Science (WoS)

A partir da palavra chave principal, definida em função do título deste documento, “*biocementation*”, e o operador booleano *and* com a palavra “*mortar*” foi obtida uma análise quantitativa e teórica através da busca em todos os campos no Scopus (Elsevier). Em função das interligações com demais definições, usou-se os termos que tem semelhança em definição com o tema, que são: *Biocement*, *Biomineralization*, *Biomineralisation*, *Biodeposition* e *Biomortar*, todos utilizando os operadores booleanos *or* e *and* para a palavra “*mortar*”, com exceção da palavra-chave “*Biomortar*”, que foi pesquisada em separado.

Na Web of Science (WoS), a partir da palavra chave principal, definida em função do título deste documento, “*biocementation*”, e a palavra “*mortar*” foi obtida uma análise quantitativa e teórica através da busca em todos os campos. Em função de haver outras definições e termos que tem semelhança em definição com o tema, se fez nova busca, acrescentando estes termos, da seguinte forma: “*Biocement** (o asterisco busca derivações da palavra, como *biocimentation*) *mortar*”, “*Biomineralization** *mortar*”, “*Biodeposition** *mortar*” e “*Biomortar*”, todos utilizando o operador booleano “*or*”, com exceção da palavra-chave “*Biomortar*”, que foi pesquisada em separado.

Na pesquisa no banco de dados da Scopus (Elsevier) e Web of Science (WoS) não é possível relacionar termos, ele só irá buscar o que for digitado, desta forma são utilizados símbolos de truncagem, operadores booleanos e operadores de proximidade, para ampliar a pesquisa. Na presente pesquisa foi feito o uso apenas dos operadores booleanos “*or*” para encontrar pelo menos um dos termos, e “*and*” para somar aos termos pesquisados. Os termos pesquisados estão contidos ou no título, ou no artigo e/ou nas palavras-chave.

Além dos bancos de dados citados foi feita uma busca aleatória no google acadêmico, com os mesmos temas e selecionados alguns artigos de revisão e com conteúdo relevante a pesquisa proposta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir estão apresentadas as características gerais das publicações relacionadas ao tema proposto no título deste documento, com a categoria ano das publicações, em uma classificação hierárquica na ordem decrescente de importância até a 10ª escala, localizadas nos bancos de dados Scopus (Elsevier) e Web of Science (WoS). A seguir, comentários sobre os artigos, em ordem cronológica de publicação.

4.1. Evolução da produção científica até 2017

Para o banco de dados Scopus (Elsevier) na primeira fase da pesquisa com os tópicos “*Biocement or biocementation or biomineralization or biomineralisation or biodeposition and mortar*” foram encontradas 54 publicações, refinando a pesquisa para as áreas específicas das engenharias, encontrou-se 32 publicações. A distribuição destes 32 documentos publicados é referente ao horizonte temporal entre os anos de 1994 a 2017. Para o banco de dados Web of Science (WoS) a pesquisa foi realizada com os tópicos “*biocement* mortar or biomineralization mortar or biodeposition mortar*” foram encontradas 39 publicações. A distribuição destes 39 documentos publicados é referente ao horizonte temporal entre os anos de 1994 a 2017. A Figura 03 apresenta a evolução temporal das produções científicas nos dois bancos de dados.

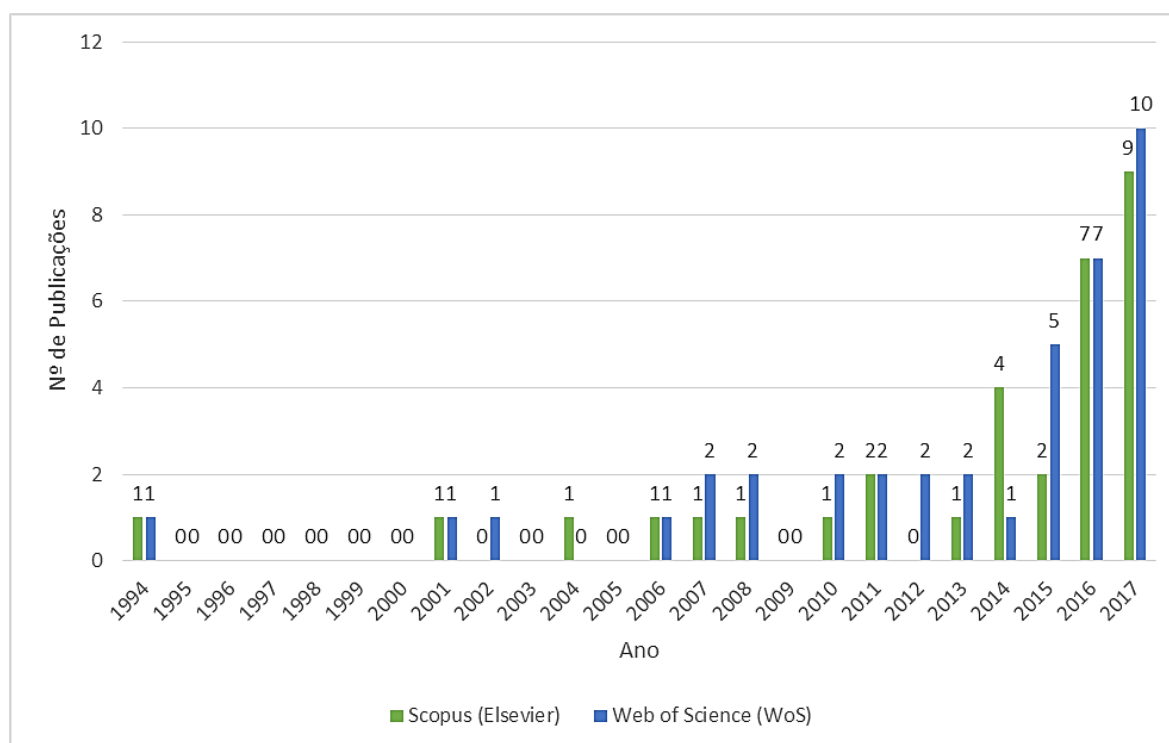


Figura 3 - Evolução temporal da produção científica sobre os temas nas bases de dados Scopus (Elsevier) e Web of Science (WoS). Fonte: Scopus (Elsevier) e Web of Science (WoS) ((1994-2017), elaborado pelo autor, 2018

Observa-se que a primeira publicação, em ambos os bancos de dados, data do ano de 1994 e segue em uma sequência tímida, variando entre 0 e 2 artigos ao ano, entre os anos de 1995 a 2013, a partir de 2014 é que as publicações começaram a crescer. No ano de 2016 foram 7 publicações nos dois bancos de dados, ao passo que em 2017 foram 9 publicações na Scopus (Elsevier) e 10 publicações no Web of Science (WoS), com forte expectativa de crescimento para os próximos anos.

Quando se compara os períodos de 1994 a 2013 e 2014 a 2017, verifica-se que o número médio anual de artigos publicados no primeiro período foi de aproximadamente no Scopus (Elsevier) e 0,8 publicações/ano no Web of Science (WoS), considerando que nos anos de 1995 a 2000, 2003 e 2005 não houve nenhuma publicação relevante ao tema pesquisado, nos dois bancos de dados, porém nos anos de 2002, 2004 e 2012 houve publicações em apenas um banco de dados. Já o segundo período apresentou uma média anual de 5,5 publicações no Scopus (Elsevier) e 5,75 publicações no Web of Science (WoS).

Constata-se, portanto, uma taxa de crescimento do segundo período em relação ao primeiro, onde num horizonte de 20 anos houve 10 e 16 publicações e nos últimos quatro anos são 22 e 23 publicações, para os bancos de dados Scopus (Elsevier) e Web of Science (WoS), respectivamente, indicando que há um forte interesse nos temas pesquisados.

A primeira publicação identificada nos dois bancos de dados, datada de 1994, com o título: *Innovative civil engineering material from sewage sludge: Biocement and its use as blended cement material* (Tay e Show, 1994), traz o tema biocimento de lodo de esgoto como um material inovador para uso na engenharia civil, sem uso de microrganismos para precipitação de carbonato de cálcio induzida.

Num segundo momento foi realizada a pesquisa com o tópico *biomortar* (bioargamassa), encontrando apenas dois artigos no Scopus (Elsevier) e um artigo no Web of Science (WoS).

Neste tema específico foi possível identificar um artigo em comum nos dois bancos de dados, publicado em 2010, onde os autores De Muynck, De Belie e Verstraete fizeram uma revisão sobre a precipitação de carbonato microbiano em materiais de construção (*Microbial carbonate precipitation in construction materials* – artigo este que faz parte dos totais de publicações pesquisadas em conjunto).

O outro artigo, encontrado somente no banco de dados Scopus (Elsevier), de 2009, os autores Matsuoka, Ghosh e Kitano apresentaram em seu estudo os mecanismos moleculares e esquema de mecanismos na engenharia de novos sistemas biológicos, artigo este não relevante para o tema proposto para a análise.

O Brasil não aparece entre os dez primeiros países com publicações nos temas pesquisados, mas possui uma publicação na base de dados Web of Science (WoS), com um artigo intitulado “*Bioprecipitation of calcium carbonate induced by Bacillus Subtilis isolated in Brazil*” (Bioprecipitação de carbonato de cálcio induzido por *Bacillus Subtilis* isolado no Brasil), dos autores Nicole Schwantes-Cezario, Leonardo Pinto Medeiros, Admilton Gonçalves De Oliveira Jr., Gerson Nakazato, Renata Katsuko Takayama Kobayashi e Berenice Martins Toralles, publicado em 2017, artigo este que trata de uma investigação preliminar usando a bactéria *Bacillus Subtilis*, extraída de folhas de arroz, para verificar o potencial de precipitação de carbonato de cálcio para uso em materiais cimentícios, mostrando o interesse, a nível nacional, sobre o tema biocimentação.

A publicação da última edição da Revista Mundial de Microbiologia e Biotecnologia, de julho de 2017, traz um artigo em específico, escrito pelos autores Dapurkar e Telang, intitulado: Um panorama de patentes sobre a aplicação de microrganismos na indústria da construção (*A patent landscape on application of microorganisms in construction industry*), onde foi analisado as patentes arquivadas nesta área tecnológica, a de uso de microrganismos na produção de biocimento, identificando que o Japão é o líder global, com o maior número de patentes arquivadas na aplicação de microrganismos na indústria da construção civil, seguida da China. Este artigo, mesmo não estando inserido na área de Engenharia e Ciência dos Materiais, e sim na área de Microbiologia e Biotecnologia, é um material que traz um conhecimento necessário para o estudo proposto.

5 RELEVÂNCIA DAS PUBLICAÇÕES COM O TÍTULO PROPOSTO PARA A PESQUISA

A pesquisa foi em busca de publicações que divulgassem pesquisas na produção de argamassas utilizando microrganismos para a precipitação de carbonato de cálcio e consequentemente o processo de biocimentação. Encontrou-se diversas publicações de pesquisas utilizando microrganismos no processo de precipitação de carbonato de cálcio para diversos usos, principalmente na recuperação de materiais cimentícios, principalmente concreto armado, com o objetivo principal de atribuir durabilidade a superfície, corrigindo trincas e fissuras, garantindo resistência a tração e compressão, os ensaios realizados utilizam a pasta de cimento ou argamassa para testar a eficiência dos processos, mas nenhum artigo, em específico, faz uso da argamassa para assentar e revestir paredes de alvenaria, objetivo da presente pesquisa.

Entre as publicações encontradas nos bancos de dados Scopus (Elsevier) e Web of Science (WoS), que foram 32 e 39, respectivamente, 17 destas publicações são encontradas nos dois bancos de dados, sendo a seguir relatadas em ordem cronológica, juntamente com outras pesquisas feitas aleatoriamente, mas com conteúdo relevante para a pesquisa.

O artigo mais antigo encontrado na pesquisa foi realizado por Adolphe et al. (1990), que juntamente com estudos de Castanier et al. (1995) e Le Metayer-Levrel et al. (1999) formularam uma cultura bacteriana em forma de spray para proteção de edifícios monumentos e estatuários constituídos de pedras calcárias (Figura 4). Neste estudo os autores observaram que, após a aspersão da formulação, patenteada como “biocalcin”, houve uma colonização de bactérias produtoras de carbonato de cálcio, formando uma camada protetora na superfície aplicada.

Tay e Show (1994) estudaram a viabilidade do uso de lodo de esgoto para produzir cimento, como um meio de disposição final. Foram examinadas várias propriedades do cimento, que incluem composições químicas e propriedades físicas, bem como a resistência da argamassa. O estudo experimental indicou que o chamado biocimento, derivado do lodo de esgoto, apresentou resistência adequada para o uso em alvenaria. Foram também realizados testes de laboratório para examinar o uso do biocimento como material de substituição parcial do cimento Portland. Os resultados mostram que

o biocimento produzido do lodo de esgoto, pode substituir até 30% em peso do cimento Portland comum sem deteriorar a resistência da argamassa.

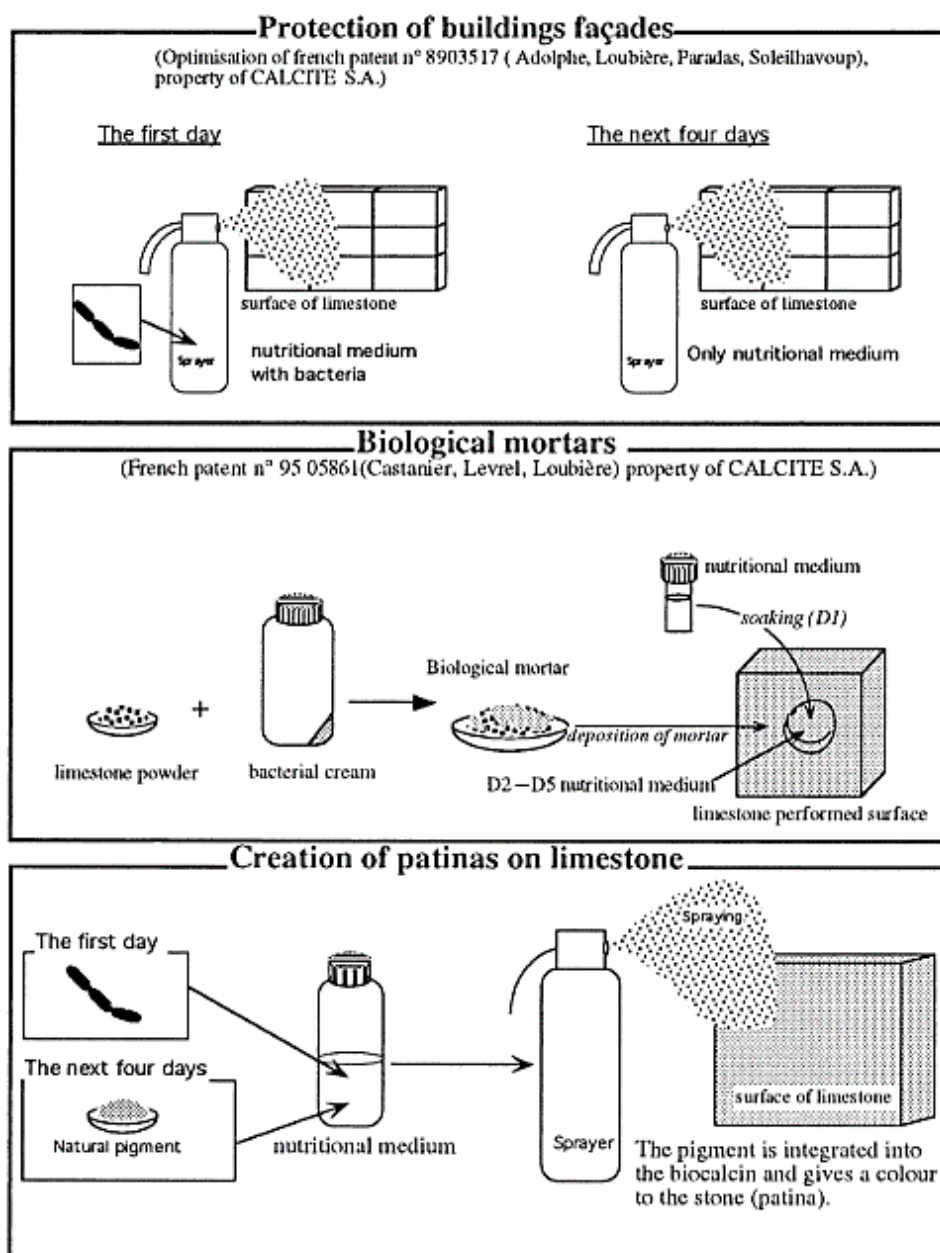


Figura 4 - Várias aplicações que o processo de biomineralização produz. Fonte: Métayer-Levrel et al., 1999

Tiano et al. (1999) elaboraram testes laboratoriais e de inspeção visual para avaliar a eficácia do tratamento com bactérias calcinogênicas, utilizando os parâmetros de porosidade, resistência superficial e alterações cromáticas (influenciadas pelo tratamento). Os resultados de absorção de água mostraram uma redução de 60% de água absorvida pelas amostras tratadas, já para a resistência superficial, os corpos de prova não mostraram diferenças significativas entre as amostras tratadas e não tratadas. Para as alterações cromáticas observou-se que não é perceptível a olho nu, e que não afetou diretamente o aspecto cromático da superfície tratada. O autor atenta para os efeitos colaterais que podem acontecer pela interferência de outros microrganismos presentes antes e após o tratamento, os quais podem alterar os resultados pretendidos.

Bang et al. (2001) utilizaram espuma de poliuretano (PU) para imobilizar toda a célula bacteriana, de *Bacillus Pasteurii*, as quais mostraram taxas de precipitação de calcita e produção de amônia tão

altas quanto as das células livres. Os resultados observados pelos autores é de que a calcita poderia permanecer como uma forma de precipitação e não como um material de ligação dentro das matrizes.

Ramakrishnam (2007) neste estudo, apresentou resultados de uma nova técnica na remediação de trincas e fissuras em concreto, utilizando calcita microbiologicamente induzida (CaCO_3), através da indução de precipitação do carbonato de cálcio pela bactéria *Bacillus Pasteurii*, microrganismo comum do solo. A eficácia desta técnica foi avaliada comparando-se a resistência à compressão e rigidez de amostras fissuradas, remediadas com bactérias e, amostras de controle sem bactérias. Nos experimentos foi investigado a resistência a compressão de amostras com fissuras, tratadas com diferentes concentrações de bactérias, além de testarem a durabilidade de elementos de concreto, tratados com bactérias, expostos a ambientes alcalinos, sulfatados e de congelamento-descongelamento. Os resultados mostraram que o uso de bactérias melhorou a rigidez, a resistência à compressão, o módulo de ruptura e a durabilidade do concreto. Foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura (MEV) para verificar o papel da precipitação mineral induzida microbiologicamente na melhoria dos aspectos de resistência e durabilidade do concreto. Também foi realizada análise espectrométrica de EDX dos cristais precipitados, o qual indicou abundância de cálcio e a precipitação foi confirmada como sendo calcita.

De Muynck et al (2008) estudaram os efeitos da precipitação bacteriana do carbonato, sobre a forma de biodeposição, na durabilidade de amostras de argamassa com diferentes porosidades, para recuperação de estruturas de concreto. A durabilidade foi avaliada a partir das propriedades de permeabilidade e resistência aos processos de degradação. Os resultados mostraram que a deposição superficial dos cristais de carbonato de cálcio diminuiu a absorção de água de 65 a 90%, dependendo da porosidade das amostras, em consequência, a taxa de carbonatação e a migração de cloreto diminuíram em cerca de 25 a 30% e 10 a 40%, respectivamente. Um aumento da resistência ao congelamento e descongelamento também foi observado. Os resultados obtidos com o tratamento de biodeposição foram semelhantes aos obtidos com tratamentos convencionais de superfície.

Achal et al (2010) estudaram o uso do *Bacillus sp.* CT-5, isolado do cimento comercialmente disponível, para recuperação de fissuras de concreto em obras já construídas, foram realizados testes de resistência à compressão e absorção de água. Os resultados mostraram aumento de 36% na resistência à compressão da argamassa de cimento com adição de células bacterianas. A deposição de calcita em cubos tratados com o *Bacillus sp.* CT-5 absorveu quase seis vezes menos água que os cubos de controle. Resultados mostraram que a produção de "concreto microbiano" por *Bacillus sp.* nas instalações construídas aumentou a durabilidade dos materiais de construção.

Para, Abo-El-Enein et al. (2012) o carbonato de cálcio é um dos minerais mais bem conhecido que as bactérias depositam pelo fenômeno chamado biocimentação (precipitação de calcite induzida microbiologicamente). Tais depósitos têm surgido recentemente como promissores ligantes para proteger e consolidar vários materiais de construção. Investigação de uso para reforços de argamassa tornou-se importante para a área de materiais de construção. Este estudo descreve um método de melhora na força e na absorção de água de argamassa de cimento e areia pela precipitação de carbonato de cálcio induzida microbiologicamente. A bactéria *Sporosarcina pasteurii* foi incorporado em diferentes concentrações com a água de mistura. O estudo mostrou um aumento de 33% em 28 dias na resistência à compressão da argamassa de cimento. O aumento da resistência e da absorção de água é devido ao crescimento de cristais de calcite dentro dos poros da matriz de cimento e areia, observados nas amostras através de exame com microscópio de varredura.

Achal et al (2013) estudaram o papel da bactéria *Bacillus sp.* sobre as propriedades de durabilidade e remediação de fissuras em estruturas de concreto. A biocimentação induzida por um *Bacillus sp.* levou a uma redução de mais de 50% na porosidade das amostras de argamassa, enquanto a permeabilidade ao cloreto do concreto mudou de "moderada" para "muito baixa", como indicado pelo teste de permeabilidade rápida ao cloreto. Foram confeccionados cubos de argamassa de dimensões de 70,6 x 70,6 x 70,6 mm, com ranhuras de largura de 3 mm com profundidades variadas de 13,4 mm, 18,8 mm e 27,2 mm. A bactéria curou com sucesso as fissuras simuladas de profundidades, incluindo a de 27,2

mm nos moldes de argamassas de cimento, com aumento na resistência à compressão de até 40% da fissura comparada a argamassa de controle. Os resultados mostraram claramente que a precipitação de carbonato de cálcio induzida por microrganismos pode ser aplicada a vários materiais de construção para remediação de fissuras e melhoria da durabilidade.

Chaurasia et al. (2014) estudou a precipitação de cálcio e produção de urease das bactérias *Bacillus cohnii* e *Bacillus megaterium*, usando como cofator o níquel. Produziram argamassa em diferentes concentrações e foi medida a resistência à compressão, obtendo aumento significativo.

Maheswaran et al (2014) realizaram estudos experimentais em argamassa de cimento utilizando *Bacillus cereus* e *Bacillus pasteurii* em diferentes concentrações celulares. Os resultados dos testes mostraram que a adição de culturas bacterianas de ambas as espécies aumentou a resistência à compressão da argamassa de cimento devido à biomineralização do carbonato de cálcio na matriz de argamassa de cimento. Os resultados dos testes revelaram aumento de 38% na resistência à compressão com *Bacillus cereus* e aumento de 29% para o *Bacillus pasteurii*, comparados a argamassa de cimento de controle. Teste de permeabilidade rápida ao cloreto foi realizada, demonstrando que o *B. cereus* obteve melhor resultado, confirmando a redução da penetração de cloretos em comparação com a amostra de controle. Estudos de caracterização foram realizados para confirmar a precipitação de calcita através de diferentes técnicas experimentais, visualização por Difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura, análise termogravimétrica e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier.

Vahabi et al. (2015) fizeram um estudo de isolamento de bactérias indígenas, encontradas em cavernas de calcário, fontes minerais e solos argilosos, capazes de precipitar carbonato de cálcio quando induzidas. Encontraram uma espécie, isolada do solo, e identificada pelas sequências do gene 16S rRNA como *Bacillus licheniformis* AK01. O isolado ureolítico foi capaz de crescer bem em meio de precipitação de carbonato alcalino e precipitar carbonato de cálcio com mais de 1g/L. Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), análises de difração de raios-X (XRD) e microscopia eletrônica de varredura (SEM) / espectroscopia de energia dispersiva de raios X (EDX) foram realizadas para confirmar a presença de carbonato de cálcio no precipitado e determinar quais polimorfos estavam presentes. O isolado selecionado foi determinado como sendo um candidato apropriado para aplicação em um tratamento de superfície de material à base de cimento para melhorar as propriedades da argamassa. A biodeposição de uma camada de calcita na superfície dos espécimes de cimento resultou no preenchimento dos espaços porosos. Este poderia ser um método alternativo para melhorar a durabilidade da argamassa. O tipo de cultura bacteriana e a composição do meio tiveram um impacto profundo na morfologia do cristal de CaCO_3 resultante.

Bundur et al. (2015) investigaram o impacto de células vegetativas de bactérias *Sporosarcina pasteurii* sobre a cinética de hidratação e a resistência à compressão de materiais à base de cimento, com o objetivo de obter material para autocura do concreto. Observaram que a cinética de hidratação foi grandemente influenciada quando uma solução bacteriana composta por meio nutriente extrato de ureia-levedura e células vegetativas foi usada para preparar pastas de cimento bacteriano, obtendo um retardo significativo, em contrapartida, ocorreu um aumento na precipitação de carbonato de cálcio, particularmente calcita, nas pastas bacterianas. Resultados mostraram que após o primeiro dia de hidratação, a argamassa bacteriana apresentou resistência à compressão semelhante ou maior que a resistência à compressão da argamassa pura.

Al-Salloum et al. (2016) em pesquisa sobre o comportamento da argamassa de cimento na precipitação de cálcio por indução microbiológica, onde utilizou a bactéria *sporosarcina pasteurii* na preparação de argamassa, obtendo efeito positivo em ensaios de compressão, bem como resistência a aderência. Observou que foi insignificante a influência do meio de crescimento da bactéria quando da sua calcificação. Exames com microscópio de varredura mostraram um material de enchimento fibroso, o que confirma o aumento da resistência da argamassa estudada.

Gomoiu et al. (2016) fizeram um estudo das manifestações patológicas em monumentos históricos avaliando os danos estruturais e estéticos causados pela colonização microbiana e biodeterioração do

revestimento final. Esses danos são devido à degradação de aglutinantes orgânicos, biomineralização, biofilmes coloridos e descoloração. Os revestimentos foram analisados a partir do ponto de vista estrutural e do ponto de vista microbiológico, foram realizadas inspeções visuais “*in situ*” e, observação microscópica também realizada “*in situ*” e em laboratório (Microscópio Óptico e Microscópio Eletrônico de Varredura) revelando, sob este aspecto, um biofilme rosa e pequenas colônias negras. Na análise microbiológica confirmou-se a origem bacteriana do biofilme rosa e origem fúngica das colônias negras. As características das argamassas sustentam a adesão das bactérias e fungos e os depósitos orgânicos favorecem a sua multiplicação, o que se reflete na colonização do substrato.

Liu et al. (2016) estudaram uma forma de monitorar e quantificar a autocura de microfissuras internas em estruturas de concreto. No estudo, amostras de argamassa com e sem microfissuras e microrganismos foram curadas em diferentes ambientes até 50 dias. Medidas de interferometria de onda de coda (um método não destrutivo que é muito sensível a pequenas mudanças no material) foram conduzidas nessas amostras para avaliar a extensão da autocura durante todo o período de cura. Foram realizados testes de resistência à compressão após 7 e 28 dias de cura. Os resultados indicaram que as amostras de argamassa com microrganismos apresentaram desenvolvimento de força significativamente maior e maior mudança de velocidade relativa do que as amostras sem microrganismos.

Williams et al. (2016) focaram seu estudo na avaliação da eficácia de vários agentes de reparo de fissuras de concreto, com matérias impermeabilizantes e argamassa a base de bactérias, em vigas de concreto trincadas. Argamassas contendo bactérias e sem bactérias foram utilizadas para fechamento das fissuras. Os resultados mostraram que as argamassas pré-rebocadas submetidos a vários tratamentos bacterianos exibiram maior recuperação de resistência à flexão (8 a 30% de recuperação) em comparação com as argamassas pré-rebocadas sem bactérias (3 a 5% de recuperação).

Bundur et al. (2017a), possui o maior número de publicações até o ano 2017. Em um estudo desenvolvido, ainda em 2017, Bundur et al. analisou o uso de agregados leves umedecidos e expandidos como base para fonte de nutrientes para micro-organismos inoculados vegetativamente em argamassa, organismos responsáveis pelo processo de biocimentação.

Segundo Bundur et al. (2017a), a introdução dos reservatórios de nutrientes pode ser um meio eficaz para ocasionar o aumento dos microrganismos em bioargamassas. Bundur et al (2017a) analisou a resistência obtida entre amostras de argamassa com a introdução de micro-organismos e agregados leves como reservatório de nutrientes e argamassa com agregados leves como reservatório de nutrientes.

Foi possível notar o aumento da resistência da argamassa que continha os micro-organismos e agregados leve, melhorando a hidratação da argamassa em função da presença dos agregados leves umedecidos com a atividade de biocimentação produzida pelos micro-organismos, tal efeito pode ter sido obtido desta ação combinada, segundo Bundur et al (2017a).

Em outro estudo desenvolvido por Bundur et al (2017b), avaliou-se a capacidade de remediar rachaduras e reduzir porosidade em matrizes a base de cimento, utilizando *Sporosarcina Pasteurii* não encapsulado, inoculado vegetativamente. Ficou comprovado que parte das células vegetativas adicionadas diretamente podem sobreviver na matriz de cimento. Bundur et al (2017b), encontrou-se celular vegetativas em argamassa com 330 dias de idade, através do conhecimento dos autores este é o período mais longo de sobrevivência registrado sem encapsulamento, a inoculação vegetativa de *S. Pasteurii* teve um impacto mais substancial na redução da porosidade na argamassa.

Sabe-se que a maior dificuldade dos micro-organismos é sua sobrevivência da matriz da argamassa, uma vez que este ambiente é muito agressivo, em busca de proporcionar melhores condições biológicas para o desenvolvimento da *Sporosarcina Pasteurii* na matriz de argamassa. Bundur et al (2017c), fizeram a utilização de uma mistura de absorção de ar a base de cloreto de amônia. A precipitação do carbonato de cálcio não foi afetada pela incorporação do sal de amônio, porém, notou-se em que sua estrutura cristalina havia sido alterada quando comparada à micro-organismos que receberam apenas seus nutrientes, sem a introdução do cloreto de amônia.

Os subprodutos são amplamente utilizados como material suplementar de cimento para substituir parcialmente o cimento, contribuindo enormemente para um meio ambiente sustentável. O metacaulim, um destes subprodutos, é amplamente utilizado como substituição parcial do cimento.

Um estudo desenvolvido por Li et al. (2017) avaliou a precipitação de carbonato induzida microbiologicamente em argamassas de cimento modificadas com metacaulim.

Segundo Li et al. (2017), a biomineralização tem um enorme potencial para aumentar significativamente a resistência a compressão do metacaulim. Foram analisadas amostras controle e com micro-organismos sem adição de metacaulim, argamassas controle e bioargamassas com 25% de metacaulim e argamassas controle e bioargamassas com 50% de metacaulim. A resistência a compressão das argamassas com 25% de metacaulim, aos 28 dias, apresentou maiores resistência à compressão com 13,6% acima do controle, os resultados aos 7 dias tiveram a maior resistência à compressão, com 13,7% acima dos controles. No entanto, a força compressiva da argamassa contendo 50% de metacaulim foi reduzida em comparação com amostras de controles, idades entre 7 e 28 apresentaram 5,6% e 26%, respectivamente.

Para Li et al. (2017), a maior resistência à compressão das argamassas com a incorporação de metacaulim pode ser atribuído aos efeitos de preenchimento de poros. Por outra via os autores concluem que adição de micro-organismos em argamassas levou ao aumento da resistência à compressão de todos os moldes. Um aumento significativo na resistência à compressão registrada aos 7 e 28 dias, independentemente da quantidade de metacaulim utilizada. Os resultados mostraram que a bioargamassa sem adição de metacaulim aumentou a resistência à compressão em 14,8% aos 7 dias e 27,4% aos 28 dias. Os resultados estão de acordo com muitos outros estudos desenvolvidos.

Kumari et al. (2017) estudaram o uso de uma bactéria do gênero *Bacillus* não-proteica no processo de biomineralização, pois apontam que a amônia liberada no processo da biomineralização de bactérias ureolíticas pode ser prejudicial à saúde. O estudo avaliou as propriedades mecânicas da argamassa de cimento, como resistência a compressão, tempo de endurecimento, solidez, sorvoplastia e morfologia microestrutural. Os resultados mostraram que houve um melhor desempenho do que as bactérias ureolíticas, comparados a outros resultados de estudos, com relação a resistência a compressão, as demais propriedades também tiveram bons resultados.

Zhu et al. (2017), avaliou a calcificação de ciano bactérias em cubos de argamassa, os micro-organismos foram testados de duas formas, vivo e mortos através da radiação UV. Para posterior análise foi feito o monitoramento das concentrações de cálcio e pH na avaliação dos cubos de argamassa. Segundo Zhu et al. (2017), tratamentos com células vivas sob iluminação resultaram na maior quantidade de precipitados, enquanto as células mortas por UV contribuíram para a maior resistência à compressão, absorção de água e menor porosidade.

Na busca por pesquisas relacionadas a produção de argamassas com o uso da técnica de biocimentação, para uso em assentamento e revestimento de paredes de alvenaria, encontrou-se diversas técnicas para o processo de biocimentação, nos bancos de dados Scopus (Elsevier) e Web of Science (WoS), as quais trazem informações importantes e fundamentais para o desenvolvimento de estudos neste campo de aplicação.

5.1. Microrganismos utilizados na Biocimentação

Pesquisas são realizadas com o intuito de melhorar o processo da biocimentação, esta técnica pode ter variadas aplicações como, reparação de fissuras, aumento de resistência, capacidade de auto reparação de materiais cimentícios, entre outras.

A Tabela 1 mostra os microrganismos utilizados para o processo de biocimentação pelos autores pesquisados.

Tabela 1 – Espécies microbianas utilizadas nas pesquisas

Ano	Microrganismos	Autores
1990	Biocalcin (mistura bacteriana patenteada)	Adolphe et al.
1999	Biocalcin (mistura bacteriana patenteada)	Le Metayer-Levrel et al.
1999	<i>Micrococcus</i> sp.(BC434) <i>Bacillus subtilis</i> (PB19)	Tiano et al.
2001	<i>Bacillus pasteurii</i>	Bang et al.
2007	<i>Bacillus pasteurii</i>	Ramakrishnam
2008	<i>Bacillus sphaericus</i> LMG 225 57	De Muynck et al
2010	<i>Bacillus</i> sp. CT-5	Achal et al
2012	<i>Sporosarcina pasteurii</i>	Abo-El-Enein et al.
2013	<i>Bacillus</i> sp.	Achal et al
2014	<i>Bacillus cohnii</i> e <i>Bacillus megaterium</i>	Chaurasia et al.
2014	<i>Bacillus cereus</i> e <i>Bacillus pasteurii</i>	Maheswaran et al
2015	<i>Bacillus licheniformis</i> AK01	Vahabi et al.
2015	<i>Sporosarcina pasteurii</i>	Bundur et al.
2016	<i>Sporosarcina pasteurii</i>	Al-Salloum et al.
2016	<i>Sporosarcina pasteurii</i> (ATCC® 6453™)	Liu et al.
2017	<i>Sporosarcina pasteurii</i> (ATCC 6453) <i>Sporosarcina pasteurii</i> (DSMZ 33)	Bundur et al.
2017	<i>Bacillus cereus</i> NS4	Li et al.
2017	<i>Bacillus cohnii</i> (não-proteica)	Kumari et al.
2017	Cyanobacteria, <i>Gloe.</i> PCC73106	Zhu et al.

Fonte: elaborado pelo autor, 2018

Observa-se que os microrganismos preferenciais para as pesquisas sobre biocimentação são do gênero *Bacillus*, que são bactérias com forma de bastonetes, Gram-positivas, obrigatoriamente ou facultativamente aeróbias, com catalase positivas, produtoras de endósporos e de muitas enzimas, principalmente a urease.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas relacionadas ao uso do biocimento para a construção civil apresentam resultados promissores, visto a necessidade da busca de novos materiais e incrementos na melhoria dos já existentes, quando estes apresentam falhas ou manifestações patológicas ao longo do tempo, por sofrerem a ação de intempéries. A coletânea de informações aqui relatada é de grande utilidade e importância para os novos pesquisadores brasileiros que pretendem iniciar seus estudos nesta área. Os resultados dos estudos com o biocimento apresentaram um enorme potencial de uso, sendo um material ecologicamente correto, e apresentar resultados que comprovam a melhora dos materiais que neles foi aplicada a técnica da biocimentação, aumentando a resistência e a durabilidade dos materiais utilizados e das estruturas de edifícios.

Os dados da pesquisa relatados nesse trabalho permitiram demonstrar a importância do desenvolvimento de pesquisas acadêmicas em torno do tema proposto, produção de argamassas utilizando as técnicas da biocimentação. A pesquisa demonstrou que o tema Biocimentação na Produção de Argamassa é um tema ainda novo, mas em ascensão, verificado pelo crescente número de publicações de temas relevantes nos últimos 4 anos.

Conforme dados analisados nenhum artigo publicado nos temas biocimentação, biocimento, biomineralização, biodeposição ou bioargamassa é específico na produção de argamassa de assentamento e revestimento de paredes de alvenaria.

7 REFERENCIAS

ABO-EL-ENEIN, S.A.; ALI, A.H.; TALKHAN, Fatma N.; ABDEL-GAWWAD, H.A.. **Application of microbial biocementation to improve the physico - mechanical properties of cement mortar.** Housing and Building National Research Center - Journal (2013) 9, 36-40. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687404812000260>>. Acesso em: 14 mar. 2016.

ACHAL, Varenym; LI, Mengmeng; ZHANG, Qiuzhuo. **Biocement, recente Research in Construction engineering: status of China against rest of world.** Advances in Cement Research, v. 26, n. 5, p. 281-291, 2014. Disponível em <https://scholar.google.com.br/scholar?q=Biocement,+recent+research+in+construction+engineering:+status+of+China+against+rest+of+world&hl=pt-BR&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart&sa=X&ved=0ahUKEwjC6Pvz8NnNAhXLGx4KHedgBVcQgQMIGjAA>. Acesso em: 24 jun. 2016.

ACHAL, Varenym; MUKERJEE, Abhijeet; REDDY, M. Sudhakara. **Biogenic treatment improves the durability and remediates the cracks of concrete structures.** Construction and Building Materials. Vol. 48, nov. 2013, pg. 1-5. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.061. Disponível em: <<https://www-sciencedirect-com.ez116.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061813005795?via%3Dihub>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

ACHAL, Varenym; MUKERJEE, Abhijeet; REDDY, M. Sudhakara. **Microbial Concrete: A Way to Enhance Durability of Building Structures.** Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, June 28 - 30, 2010. Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italy. Disponível em: <<http://www.claisse.info/2010%20papers/l3.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

ADOLPHE, J.P.; LOUBIÈRE, J.F.; PARADAS, J.; SOLEILHAVOUP, F. (1990). **Procède de traitement biologique d'une surface artificielle.** European Patent 90400G97.0 Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0037073899000299>>. Acesso em: 07 jul 2016.

AL-SALLOUM, Yousef; ABBAS, H.; SHEIKH, Q.I.; HADI, S.; ALSAYED, Saleh; ALMUSALLAM, Tarek. **Effect of some biotic factors on microbially-induced calcite precipitation in cement mortar.** Saudi Journal of Biological Sciences, Janeiro de 2016. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X16000188>>, acesso em: 10 mar. 2016.

ARAÚJO, Ronaldo F.; ALVARENGA, Lidia. **A bibliometria na pesquisa científica da pós-graduação brasileira de 1987 a 2007.** Enc. Bibli: R. Eletr. Bibliotecon. Ci. Inf., ISSN 1518-2924, Florianópolis, v. 16, n. 31, p. 51-70, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/eb/article/view/1518-2924.2011v16n31p51/17757>. Acesso em 28 jun. 2017.

BANG, Sookie S.; GALINAT, Johnna K.; RAMAKRISHNAM, V.. **Calcite precipitation induced by polyurethane-immobilized *Bacillus pasteurii*.** Enzyme and Microbial Technology. Vol. 28, 2001, pg. 404-409. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141022900003483>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

BUNDUR, Zeynep Başaran; KIRISITS, Mary Jo; FERRON, Raissa Douglas. **Biomaterialized cement-based materials: Impact of inoculating vegetative bacterial cells on hydration and strength.**

Cement and Concrete Research. Vol 67, jan. 2015, pg. 237-245. doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.10.002. Disponível em: <<https://www-sciencedirect-com.ez116.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0008884614001963?via%3Dihub>>. Acesso em 28 abr. 2018.

BUNDUR, Zeynep Başaran; KIRISITS, Mary Jo; FERRON, Raissa Douglas. **Use of pre-wetted lightweight fine expanded shale aggregates as internal nutrient reservoirs for microorganisms in bio-mineralized mortar.** Cement and Concrete Composites. Vol. 84, nov. 2017(a), pg. 167-174. doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.09.003. Disponível em: <<https://www-sciencedirect-com.ez116.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0958946516301780?via%3Dihub>>. Acesso em 28 abr. 2018.

BUNDUR, Zeynep Başaran; BAE, Sungwoo; KIRISITS Mary Jo; FERRON, Raissa Douglas. **Biom mineralization in Self-Healing Cement-Based Materials: Investigating the Temporal Evolution of Microbial Metabolic State and Material Porosity.** Journal of Materials in Civil Engineering. Vol. 29, Issue 8, ago. 2017(b). Disponível em: <<https://ascelibrary-org.ez116.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0001838>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

BUNDUR, Zeynep Başaran; AMIRI, Ali; ERSAN, Yusuf Cagatay; BOON, Nico; DE BELIE, Nele. **Impact of air entraining admixtures on biogenic calcium carbonate precipitation and bacterial viability.** Cement and Concrete Research. Vol 98, ago 2017(c), pg. 44-49. doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.04.005. Disponível em: <<https://www-sciencedirect-com.ez116.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0008884616305907?via%3Dihub>>. Acesso em 28 abr. 2018.

CAFÉ, Ligia; BRÄSCHER, Marisa. Organização da informação e bibliometria. Enc. Bibli. R. Eletr. Bibliotecon. Ci. Inf., Florianópolis, n. esp., 1º sem. 2008. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/5878/1/ARTIGO_OrganizacaoInformacaoBibliometria.pdf>. Acesso em 28 jun. 2017.

CASTANIER, S.; MÉTAYER-LEVREL, G. Le; LOUBIÈRE, J.F.. **Nouvelles compositions pour mortier biologique, procédé de recouvrement d’une surface ou de comblement d’une cavité a l’aide des compositions.** 1995. French Patent 95 05861.

CHAURASIA, Leena; VERMA, Rajesh K and BISHT, Vishakha. **Microbial Carbonate Precipitation by Urease Producing Bacteria in Cementitious Materials.** International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR), Vol5, Issue 4, 2014, p671-679. Disponível em: <<http://bipublication.com/files/IJABR-V5I4-2014-14.pdf>>, acesso em 29 jun. 2016.

COSTA, João José Soares. **Biotecnologia e Biomimetismo: Contributos Inovadores para a Ecoeficiência da Indústria da Construção.** Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade do Minho. Braga, Portugal, 2014. Disponível em <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/36246>>, acesso em: 22 fev. 2016.

DAPURKAR, D.; TELANG, M. **A patente landscape on application of microorganisms in construction industry.** World J Microbial Biotechnol (2017) 33:138. doi: 10.1007/s11274-017-2302-x. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11274-017-2302-x>>. Acesso em 26 jun. de 2017.

DETANICO, F.B.; TEIXEIRA, F.G.; SILVA, T. K. **A Biomimétrica como Método Criativo para o Projeto de Produto**. Programa de Pós-Graduação em Design, Design & Tecnologia, 02, 2010. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre-RS. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/det/index.php/det/article/view/52/33>>. Acesso em 28 mar. de 2017.

DE MUYNCK, Willem; DEBROUWER, Dieter; DE BELIE, Nele; VERSTRAETE, Willy. **Bacterial carbonate precipitation improves the durability of cementitious materials**. Cement and Concrete Research. Vol. 38, Issue 7, jul. 2008, pg. 1005-1014. doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.03.005. Disponível em: <[https://www.sciencedirect-com.ez116.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0008884608000598?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com.ez116.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0008884608000598?via%3Dihub)>. Acesso em 28 abr. 2018.

DE MUYNCK, Willem; DE BELIE, Nele; VERSTRAETE, Willy. **Microbial carbonate precipitation in construction materials: A review**. Ecological Engineering 36, pg. 118-136. Belgium, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092585740900113X>>. Acesso em: 07 jul 2016

GOMOIU, I.; ENACHE, M.; MOHANU, I.; COJOC, R.; NEAGU, S.; MOHANU, D.. **The colonization of mortars by bacteria and fungi**. Revista Romana de Materiale/Romanian Journal of Materials. Vol 46, Issue 4, 2016, pg. 424-430. Disponível em: <http://solacolu.chim.upb.ro/p424-430.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2018.

JONES, M.R.; ZHENG, L.; NEWLANDS, M.D. **Comparison of particle packing models for proportioning concrete constituents for minimum voids ratio**. 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/227187370_Comparison_of_particle_packing_models_for_proportioning_concrete_constituents_for_minimum_voids_ratio>. Acesso em 10 mar. 2017.

KUMARI, C.; DAS, B.; JAYABALAN, R.; DAVIS, R.; SARKAR, P.. **Effect of nonureolytic bacteria on engineering properties of cement mortar**. Journal of Materials in Civil Engineering. Vol. 29, Issue 6, jun. 2017. Disponível em: <<https://ascelibrary-org.ez116.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0001828>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

LI, Mengmeng; ZHU, Xuejiao; MUKHERJEE, Abhijit; HUANG, Minsheng; ACHAL, Varennyam. **Biomining in metakaolin modified cement mortar to improve its strength with lowered cement content**. Journal of Hazardous Materials. Vol. 329, 5 maio 2017, pg. 178-184. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.01.035. Disponível em: <<https://www.sciencedirect-com.ez116.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S030438941730047X?via%3Dihub>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

LIU, Shukui; BUNDUR, Zeynep Basaran; ZHU, Jinying; FERRON, Raissa Douglas. **Evaluation of self-healing of internal cracks in biomimetic mortar using coda wave interferometry**. Cement and Concrete Research. Vol. 83, maio 2016, pg. 70-78. doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.01.006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect-com.ez116.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S000888461630062X?via%3Dihub>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

MAHESWARAN, S.; DASARU, S. S.; MURTHY, Rama Chandra A.; BHUVANESHWARI, B.; KUMAR, Ramesh V.; PALANI, G. S.; IYER, N. R.; KRISHNAMOORTHY, S.; SANDHYA, S.. **Strength improvement studies using new type wild strain bacillus cereus on cement mortar**.

Current Science Association. Vol 106, Issue 1, jan. 2014, pg. 50-57. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/e35a/58258a848eccf1fecfb02f7d781ad1ddc249.pdf?_ga=2.119893902.748599561.1529287656-1123925322.1529166613>. Acesso em: 20 abr. 2018.

MANN, Stephen. **Biomineralization: principles and concepts in bioinorganic materials chemistry**. Oxford University Press. Inc. New York, 2001.

MATSUOKA, Y.; GHOSH, S.; KITANO, H. **Consistent design schematics for biological systems: standardization of representation in biological engineering**. Journal of the Royal Society Interface. 2009. DOI: 10.1098/esif.2009.0046.focus. Disponível em: <http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/6/Suppl_4/S393>. Acesso em 29 jun. de 2017.

MÉTAYER-LEVREL, G. Le; CASTANIER, S.; ORIAL, G.; LOUBIÈRE, J. F.; PERTHUISOT, J. P.. **Applications of bacterial carbonatogenesis to the protection and regeneration of limestones in buildings and historic patrimony**. Sedimentary Geology. Vol. 126, 1999, pg. 25-34. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0037073899000299>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

RAMAKRISHNAN, V.. **Performance characteristics of bacterial concrete - A smart biomaterial**. Anais da 1ª Conferência Internacional sobre Recentes Avanços na Tecnologia do Concreto, RAC 2007, Páginas 67-78. 1ª Conferência Internacional sobre Avanços Recentes na Tecnologia do Concreto, RAC 2007; Sheraton em Crystal City Washington; Estados Unidos; 19 a 21 de setembro de 2007; Código 111076. Disponível em: <<https://www.tib.eu/en/search/id/tema%3ATEMA20080507849/Performance-characteristics-of-bacterial-concrete/>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

SCHWANTES-CEZARIO, Nicole; MEDEIROS, Leonardo Pinto; DE OLIVEIRA JR, Admilton Gonçalves; NAKAZATO, Gerson; KOBAYASHI, Renata Katsuko Takayama; Berenice Martins TORALLES. **Bioprecipitation of calcium carbonate induced by *Bacillus subtilis* isolated in Brazil**. International Biodeterioration & Biodegradation. Vol. 123, set. 2017, pg. 200-205. doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.06.021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830517305504#!>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

SCOPUS. **Folheto Scopus**. 2016. Disponível em: <https://www.elsevier.com/___data/assets/pdf_file/0004/245803/0031-Scopus-Global-Research-Factsheet-A4-v4-POT.pdf>. Acesso em 12 jun. de 2017.

SILVA, Márcia R. da; HAYASHI, Carlos R. M.; HAYASHI, Maria C. P. I. **Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo**. InCID: Revista Ciência da Informação e Comunicação, Ribeirão Preto, V.2, n. 1, p. 110-129, jan/jun. 2011. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/incid/article/view/42337/46008>>. Acesso em 28 jun. 2017.

TARCZEWSKI, Romuald. **Formation of sustainable infrastructure using microbial methods and humanization of man-made environment**. 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015, Procedia Manufacturing 3 (2015) 1704 – 1711. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978915009920>>, acesso em 10 de mar. 2016.

TAY, Joo-Hwa; SHOW, Kuan-Yeow. **Innovative Civil Engineering Material from Sewage Sludge: Biocement and its use as Blended Cement Material**. Journal of Materials in Engineering. Vol. 6, Issue 1, Fev. 1994. Disponível em: <<https://ascelibrary->

org.ez116.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1061/%28ASCE%290899-1561%281994%296%3A1%2823%29>. Acesso em: 28 abr. 2018.

TIANO, P.; BIAGIOTTI, L.; MASTROMEI, G.. **Bacterial bio-mediated calcite precipitation for monumental stones conservation: methods of evaluation**. Journal of Microbiological Methods. Vol. 36, 1999, pg. 139-145. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167701299000196>>. Acesso em 02 ago 2016.

VAHABI, Ali; RAMEZANIANPOUR, Ali Akbar; SHARAFI, Hakimeh; ZAHIRI, Hossein Shahbani; VALI, Hojatollah; NOGHABI, Kambiz Akbari. **Calcium carbonate precipitation by strain *Bacillus licheniformis* AK01, newly isolated from loamy soil: a promising alternative for sealing cement-based materials**. Journal of Basic Microbiology. Vol 55, Issue 1, pg. 105-111, 08 nov. 2015. Disponível em: <<https://onlinelibrary-wiley.ez116.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1002/jobm.201300560>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

WEB OF SCIENCE. **Manual de ajuda**. 2017. Disponível em: <http://images-webofknowledge.ez116.periodicos.capes.gov.br/WOKRS525R8.4/help/pt_BR/WOS/hp_search.html>. Acesso em 06 de julho de 2017.

WILLIAMS, Sarah L.; SAKIB, Nazmus; KIRISITS, Mary Jo; FERRON, Raissa D.. **Flexural Strength Recovery Induced by Vegetative Bacteria Added to Mortar**. American Concrete Institute. Vol. 113, Issue 4, pg. 523-531, 07 Jan. 2016. Disponível em: <<https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&i=51688831>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

ZHU, Tingting; LU, Xiancai; DITTRICH, Maria. **Calcification on mortar by live and UV-killed biofilm-forming cyanobacterial *Gloeocapsa* PCC73106**. Construction and Building Materials. Vol. 146, 15 ago. 2017, pg. 43-53. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.026. Disponível em: <<https://www-sciencedirect-com.ez116.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061817306761?via%3Dihub>>. Acesso em 28 abr. 2018.