

BIOTECNOLOGIA NO CONCRETO: AVALIAÇÃO DO USO DE *Bacillus cereus* PARA AUTOCICATRIZAÇÃO DE FISSURAS**BIOTECHNOLOGY IN CONCRETE: EVALUATION OF THE USE OF *Bacillus cereus* FOR SELF-HEALING CRACKS** <https://doi.org/10.63330/aurumpub.006-023>**Itamar Victor de Lima Costa**

Mestre em Desenvolvimento de Processos Ambientais pela UNICAP

RESUMO

A utilização de bactérias no combate às manifestações patológicas do concreto tem se mostrado eficaz. Em especial, aquelas que, por meio de sua atividade enzimática, são capazes de catalisar reações químicas responsáveis pela precipitação de carbonato de cálcio. Esse processo também pode ocorrer através do mecanismo autônomo de cicatrização, impulsionado pela presença da bactéria *Bacillus cereus*. Pesquisas indicam que a atuação dessa bactéria contribui de forma significativa para o aumento da resistência à tração e à compressão do concreto. Dessa forma, a *Bacillus cereus* surge como uma adição promissora, tanto por sua elevada capacidade de promover a biomineralização, quanto por representar uma alternativa sustentável ao uso de compostos químicos.

Palavras-chave: Biocorrosão; Mecanismo Autônomo; Bioconcreto; Hidrolise de Ureia.**ABSTRACT**

The use of bacteria to combat pathological manifestations in concrete has proven to be effective, especially those that, through their enzymatic activity, can catalyze chemical reactions responsible for the precipitation of calcium carbonate. This process can also occur through the autonomous healing mechanism, driven by the presence of the bacterium *Bacillus cereus*. Research indicates that the action of this bacterium significantly enhances the tensile and compressive strength of concrete. Thus, *Bacillus cereus* emerges as a promising additive, both due to its high biomineralization capacity and for representing a sustainable alternative to the use of chemical agents.

Keywords: Biocorrosion; Autonomous Mechanism; Bioconcrete; Urea Hydrolysis.



1 INTRODUÇÃO

O concreto é formado por agregado graúdo, agregado miúdo, água e cimento, este último atuando como plastificante. Dessa forma, tanto na versão simples quanto na armada, ele exerce um papel essencial dentro do sistema construtivo (Damme, 2018). Essa indústria, presente em praticamente todas as atividades, tem no cimento seu principal componente (Da Silva, 2022).

Entre os materiais existentes, o concreto é um dos mais recentes. Seu elemento principal, o cimento, já ocupa a posição de um dos materiais mais utilizados no mundo, sendo superado apenas pela água (Souza et al., 2021). A construção civil, por sua vez, tem grande relevância em qualquer economia. Historicamente, essa indústria tem sido destaque na composição do PIB de diversos países, consolidando-se como um dos setores que mais geram empregos e renda (Barbosa e De Oliveria Valin Jr, 2023).

Por um determinado tempo acreditava-se que o concreto fosse um material com durabilidade interminável, no entanto as evidências da passagem do tempo, como também a ação de agentes agressivos demonstrou o contrário. Trincas, fissuras, rachaduras são alguns exemplos de patologias que podem atingir e deteriorar estruturas de concreto (Schmoeller e Lima, 2021).

Atualmente, pesquisas vêm sendo desenvolvidas com a finalidade de se criar um material com a capacidade de cicatrização de fissuras e assim mitigar problemas relacionados a patologias de construção, sem a necessidade de manutenções mais severas. No entanto, muitas dessas pesquisas estão relacionando a utilização de produtos químicos, que podem ser danosos a saúde e ao meio ambiente e com técnicas caras (Krishnapriya; Babu; Arulraj, 2015 Apud Mello; Pacheco; Tutikian, 2019).

Frente a esse problema, surge a biomineralização, que nada mais é do que a indução microbiológica de precipitação de calcita (MICP), sendo essa uma solução econômica e durável para a cicatrização de fissuras no concreto (Krishnapriya; Babu; Arulraj, 2015 Apud Mello; Pacheco; Tutikian, 2019). Dentre as bactérias que possuem a capacidade de precipitar o carbonato de cálcio se destacam as bactérias do grupo *Bacillus*; em evidência a bactéria *Bacillus cereus*.

Bacillus cereus é uma bactéria redutora de nitrato e pode ser encontrada nos mais diversos ambientes (Li et al., 2021). Essa bactéria vem se destacando como adição no concreto para preenchimento de fissuras e melhoria nas propriedades físicas proporcionado pela formação de cristais de calcita (Priyon et al., (2023). Dessa forma se mostra válido a investigação de mecanismos e possibilidade de utilização dessa bactéria para a autocicatrização do concreto.

2 CONCRETO E PATOLOGIAS DE CONSTRUÇÃO

O concreto é formado pela combinação de materiais como brita, areia, água e cimento, que atua como ligante. Esse material, seja utilizado com armadura ou não, faz parte fundamental de diversos sistemas construtivos (Damme, 2018).



Durante muitos anos, houve a ideia de que o concreto teria uma durabilidade ilimitada. No entanto, o aparecimento de falhas nas construções revelou que ele também está sujeito a deteriorações. Assim como outros materiais, o concreto pode ser danificado pela ação de agentes externos e ambientes agressivos.

O termo "patologia" é bastante utilizado na medicina para indicar qualquer alteração fisiológica ou anatômica que revele a presença de uma doença. De forma semelhante, embora essa aplicação seja menos conhecida, a palavra também é empregada na área da construção civil.

Apesar de se tratar de campos distintos, o sentido do termo continua próximo. A diferença principal é que, nesse caso, a construção assume o papel de paciente e o engenheiro atua como o médico. Assim, as patologias na construção são falhas que surgem com o tempo e que podem comprometer a durabilidade, a estabilidade, a eficiência ou o funcionamento da edificação (Schmoeller e Lima, 2021).

Problemas na execução da obra, materiais de baixa qualidade entre outros fatores estão relacionados com o surgimento de patologias. Uma vez evidenciada, a patologia gera altos custos de manutenção e mitigação (Diniz e Souza, 2023).

2.1 PATOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO: FISSURAS

Nunes (2021) afirma que dentre as manifestações patológicas as principais são trincas, fissuras, porosidade, desbotamento, gretamento, rachaduras, infiltração, carbonatação e corrosão de armaduras. Dentre as manifestações patológicas o presente estudo destaca as fissuras.

Weimer (2018) destaca que existem diversos causadores de danos que agem sobre o concreto armado. Sendo assim a classificação das fissuras se dá de maneira dificultosa. Esses causadores, ou agentes, citados podem agir sobre o concreto, sobre a armadura ou até mesmo sobre ambos.

Por existirem diversos causadores de fissuras, elas passam a ser uma das manifestações patológicas mais recorrentes no concreto (Silva, Rocha, Monteiro, 2019). Uma vez geradas podem afetar a estética, durabilidade e funcionalidade da estrutura.

As fissuras podem ser classificadas em dois tipos (Gonçalves, 2015):

- **Ativas:** Esse tipo altera suas características com o passar do tempo, tendo assim uma variação positiva no tamanho acarretando maiores problemas para a construção;
- **Passivas:** Esse tipo não apresenta nenhuma alteração.

3 CONCRETO AUTOCICATRIZANTE

A ideia de concreto autocicatrizante surgiu por volta de 1990, prioritariamente com a utilização de técnicas que envolviam a introdução de catalizadores cristalinos, fibras, esporos de bactérias e seus nutrientes na matriz cimentícia (Carneiro et al., 2019).



A autocicatrização é compreendida como a habilidade de um material cimentício, como o cimento Portland, de selar suas próprias fissuras sem a intervenção de manutenção externa; esse fenômeno se assemelha ao que ocorre em organismos vivos, como na regeneração da pele e na recuperação dos ossos. (Mello; Pacheco; Tutikian, 2019). De Rooij et al. (2011) define a autocicatrização em dois mecanismos, sendo eles autógeno e autônomo.

3.1 MECANISMO AUTÓGENO

A capacidade de cicatrização é intrínseca do concreto. Esse mecanismo de autocicatrização sem a utilização de tencas é definido pelo comitê técnico do RILEM como autocicatrização autógena (Lahmann, Edvardsen e Kessler, 2022). Esse efeito é proporcionado pela precipitação de carbonato de cálcio na presença de CO_2 e água.

Essa auto reparação pode ser desencadeada por três causas principais sendo elas (Lahmann, Edvardsen e Kessler, 2022):

- **Causa química:** Desencadeada pela hidratação contínua e formação de carbonato de cálcio;
- **Causa física:** Inchaço do concreto;
- **Causa mecânica:** Entupimento dos caminhos propiciados pela presença de partículas muito finas.

3.2 MECANISMO AUTÔNOMO

Esse mecanismo está ligado à adição de substâncias com o objetivo de estimular o processo de cicatrização. Tal processo pode ocorrer por meio da incorporação de materiais como pozolanas, soluções contendo bactérias ou ainda compostos de origem química (Mello; Pacheco; Tutikian, 2019).

Sob a perspectiva ambiental, a biomineralização promovida pela adição de soluções microbianas se destaca como a alternativa mais adequada. Além disso, esse método apresenta uma maior compatibilidade com a matriz cimentícia (Mello; Pacheco; Tutikian, 2019).

3.3 BIOCONCRETO E BIOMINERALIZAÇÃO

De acordo com Huang e Kaewunruen (2020), o bioconcreto é caracterizado como um tipo de concreto autocicatrizante que incorpora, em sua composição, bactérias capazes de produzir carbonato de cálcio nos espaços vazios existentes.

Esses espaços surgem devido à presença de ar ou água na mistura. Com o preenchimento dessas cavidades, ocorre uma redução na porosidade, o que contribui para o aumento da eficiência do concreto.



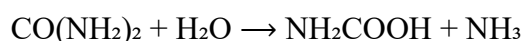
Existem alguns mecanismos dispostos para o desenvolvimento da biomineralização. Dentre eles é válido destacar, em virtude da bactéria objeto de estudo, a saber *Bacillus cereus*, a hidrólise de ureia (Priyon et al., 2023).

3.3.1 Hidrolise de Ureia

As bactérias possuem, em sua composição, aproximadamente 13% de nitrogênio, que pode ser adquirido por meio de diferentes tipos de moléculas. É justamente a demanda por nitrogênio que faz com que ocorra o processo de biomineralização por meio da hidrólise da ureia (Madigan et al, 2016 apud Mello; Pacheco; Tutikian, 2019).

Nesse mecanismo a presença da enzima urease, produzida pelas bactérias, age como catalisador na reação em que a ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) é hidrolisada em amônia (NH_3) e ácido carbâmico (NH_2COOH); esse mecanismo está descrito na equação 1 (De Muynck; De Belie, Verstraete, 2010):

Equação 1:



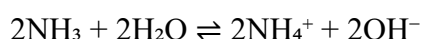
Após essa etapa, que é inicializada e acelerada pela presença da enzima urease excretada pelo microrganismo, de maneira espontânea o ácido carbâmico é hidrolisado em ácido carbônico (H_2CO_3) e amônia conforme demonstrado na equação 2 (De Muynck; De Belie, Verstraete, 2010):

Equação 2:

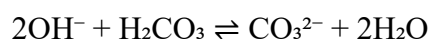


Na próxima etapa existe um equilíbrio entre a amônia e a água, gerando como produto íons hidróxido (OH^-). Os íons hidróxido reagem com o ácido carbônico e geram carbonatos (CO_3^{2-}). Observe nas equações 3 e 4 (De Muynck; De Belie, Verstraete, 2010):

Equação 3:



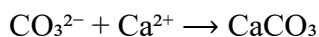
Equação 4:





Finalizando o mecanismo, com a presença de íons de cálcio existe a precipitação de carbonato de cálcio (CaCO_3), como demonstrado na equação 5 (De Muynck; De Belie, Verstraete, 2010):

Equação 5:



De acordo com De Muynck; De Belie, Verstraete (2010), O processo de hidrólise da ureia é considerado uma das formas mais diretas e eficientes para a formação de biominerais, sendo reconhecido por sua simplicidade e rapidez na geração desses compostos. Mello; Pacheco; Tutikian (2019), destacam em sua pesquisa que o grupo de bactérias do gênero *Bacillus* é o mais estudado e acompanhado em relação a esse tipo de mecanismo.

4 BACILLUS CEREUS

O grupo *Bacillus cereus* é formado por cerca de oito espécies. Embora apresentem grande semelhança do ponto de vista filogenético, essas espécies se diferenciam bastante em termos ecológicos (Kulkova et al., 2023).

Especificamente, a espécie *Bacillus cereus* pode se desenvolver em ambientes com ou sem oxigênio, sendo considerada aeróbica ou anaeróbica facultativa. Trata-se de uma bactéria gram-positiva, com capacidade de locomoção e que, na presença de oxigênio, consegue formar esporos (Kulkova et al., 2023).

A bactéria *Bacillus cereus* pode ser encontrada em diversos ambientes, como ar, água, solo, poeira, matéria orgânica em decomposição, raízes de plantas e até mesmo em alimentos. Devido à sua ampla distribuição, é considerada uma bactéria onipresente (Kulkova et al., 2023).

Ela é classificada como patogênica, já que algumas de suas cepas têm a capacidade de produzir enterotoxinas, substâncias que podem provocar dois tipos distintos de intoxicação alimentar, afetando tanto seres humanos quanto animais (Kulkova et al., 2023).

Além disso, o *Bacillus cereus* é amplamente reconhecido por sua capacidade de produzir enzimas do tipo amilase, que têm grande importância na indústria alimentícia, especialmente na obtenção de glicose e frutose (Pandey, 2003 apud Júnior et al., 2021; Carvalho, 2008).

5 CONCRETO AUTOCICATRIZANTE A PARTIR DE *BACILLUS CEREUS*

Como visto anteriormente o processo de biomineralização é semelhante ao processo de carbonatação; tendo a sua diferença no mecanismo de obtenção de precipitado de carbonato de cálcio.

Sendo assim, A produção desse precipitado preenche os espaços vazios ocasionando assim o fechamento de fissuras conferindo assim aumento na resistência em alguns casos como o citado por Priyom et al. (2023).

Priyom et al. (2023) afirma em sua pesquisa que a presença da bactéria *Bacillus cereus*, com a atuação do mecanismo de hidrólise de ureia, resultou em melhoras significativas na resistência e na microestrutura do material; entendendo como a melhora na microestrutura o preenchimento de espaços vazios e fissuras.

Os autores relatam também que, no período de 180 dias, foi notada uma melhora considerável na resistência tanto à tração quanto à compressão. Houve um aumento de 16,9% na resistência à compressão e de 11,8% na resistência à tração. Além disso, verificou-se uma diminuição na capacidade de absorver água.

Reyad e Mokhtar (2023) utilizaram a cepa *Bacillus cereus* MG708176 e comprovaram através do microscópio eletrônico de varredura que a bactéria, através da produção de calcita, bacilofila e etringita, criou estruturas densas dentro do concreto promovendo assim a autocicatrização.

Reyad e Mokhtar (2023) assim como Priyom et al (2023), evidenciaram a melhoria na resistência a tração, compressão e a flexão dos concretos inoculados com a bactéria. Alshalif et al. (2019), afirmaram também em seu estudo de comparação que uma cepa de *Bacillus cereus* foi responsável também pelo aumento da resistência à tração e à compressão.

Silva, Sarubbob e Benachoura (2020), evidenciaram em seu estudo que a combinação do lactato de cálcio a bactéria *Bacillus cereus* e o cimento Portland tem o potencial para a produção de carbonato de cálcio (Caco3). O experimento demonstrou o alto potencial de cristalização, podendo assim ser utilizada para a cicatrização de fissuras.

Shanmugam, Angeline e Preethi (2022), destacaram em seu estudo a descoberta do potencial de produção de bioconcreto utilizado uma cepa denominada de *Bacillus cereus* KOV15. Eles afirmaram ainda que, após a análise de difração de raios x, foi detectado a presença de Caco3, nas colunas produzidas com a presença da bactéria. Além disso, evidenciaram também aumento na resistência à compressão.

6 CONCLUSÃO

Como visto acima, estudos apontam a viabilidade de biomineralização utilizando a bactéria *Bacillus cereus* como agente no mecanismo autônomo. Isso pode ser destacado tanto pela alta capacidade de produção da enzima urease, como também pela capacidade de, através da produção da enzima, catalisar a reação de hidrólise de ureia, precipitando através de reações químicas posteriores o carbonato de cálcio.



Uma vez iniciado o mecanismo e precipitado o carbonato de cálcio dar-se início a autocicatrização (biomineralização). E, como visto nos estudos referenciados, a precipitação de carbonato de cálcio propiciada pela presença de *Bacillus cereus*, melhora a resistência à tração e à compressão do concreto.

Os estudos demonstram que a utilização de bactérias, em evidência a bactéria objeto de estudo, nos mais variados meios pode melhorar a eficiência e diminuir os impactos causados por produtos químicos que possam ter resultados análogos.



REFERÊNCIAS

- ALSHALIF, Abdullah Faisal et al. Melhoria das propriedades mecânicas do bioconcreto usando *Enterococcus faecalis* e *Bacillus cereus*. *Pesquisa em Engenharia Ambiental*, v. 24, n. 4, p. 630-637, 2019.
- BARBOSA, Jonathan Lima; DE OLIVEIRA VALIN JR, Marcos. Análise de patologias em juntas de dilatação em ponte de concreto: estudo de caso em Cuiabá-MT. In: *TECNOLOGIA EM CONTROLE DE OBRAS: 20 ANOS DE CONTRIBUIÇÕES DO IFMT PARA CONSTRUÇÃO CIVIL*. Editora Científica Digital, 2023. p. 426-443.
- CARNEIRO, LRS et al. CONCRETO AUTOCICATRIZANTE PELA INTRODUÇÃO DE BACTÉRIAS—UMA REVISÃO. In: *XV CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PATOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN-XVII CONGRESSO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN*. 2019.
- DA SILVA, Leandro Souza. INDÚSTRIA BRASILEIRA DO CIMENTO: CONSUMO E IMPACTOS AMBIENTAIS. *CONSTRUINDO*, v. 14, n. 1, 2022.
- DE MUYNCK, Willem; DE BELIE, Nele; VERSTRAETE, Willy. Microbial carbonate precipitation in construction materials: a review. *Ecological engineering*, v. 36, n. 2, p. 118-136, 2010.
- DINIZ, L.; SOUZA, Orientador Bruna. Conceito e Manutenção de Patologias na Construção Civil. In: *PGSSCOGNA Forum Engenharia Civil*. 2023.
- GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações. Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.
- HUANG, Xu; KAEWUNRUEN, Sakdirat. Self-healing concrete. In: HUANG, Xu; KAEWUNRUEN, Sakdirat. *New Materials in Civil Engineering*. [S. l.]: Elsevier, 2020. p. 825-856. ISBN 9780128189610. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818961-0.00027-2>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- KULKOVA, Iryna et al. Promoção do crescimento de plantas usando *Bacillus cereus*. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 24, n. 11, p. 9759, 2023.
- LAHMANN, Daniel; EDVARDESEN, Carola; KESSLER, Sylvia. Autogenous self-healing of concrete: Experimental design and test methods□ A review. *Engineering Reports*, v. 5, n. 1, p. e12565, 2023.
- MAHMOOD, Faisal et al. Bioconcreto auto-reparador usando *Bacillus subtilis* encapsulado em nanopartículas de óxido de ferro. *Materials*, v. 15, n. 21, p. 7731, 2022.
- MELLO, Vinícius; PACHECO, Fernanda; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. Técnicas e metodologias de biomineralização na cicatrização de fissuras do concreto. *Revista de Arquitetura IMED*, v. 8, n. 2, p. 164-182, 2019.
- NUNES, Priscila. Patologias das construções: conheça os principais tipos - Blog OrãFascio. 2 jun. 2021. Disponível <https://www.orcafascio.com/papodeengenheiro/patologias-das-construcoes>. Acesso em: 28 fev. 2025.
- PRIYOM, Sudipto Nath et al. Eficácia da bactéria *Bacillus Cereus* na melhoria das propriedades do concreto por meio da bioprecipitação. *Revista Iraniana de Ciência e Tecnologia, Transactions of Civil Engineering*, v. 47, n. 6, p. 3309-3320, 2023.



REYAD, Amany M.; MOKHTAR, Gehad. Impacto do *Bacillus cereus* MG708176 imobilizado nas características do concreto autocicatrizante de base biológica. *Scientific Reports* , v. 13, n. 1, p. 500, 2023.

SCHMOELLER, Francieli; LIMA, Maryangela Geimba de. Inibidores de corrosão para estruturas de concreto armado: uma revisão. *CONCRETO & Construções*, v. XLIX, n. 103, p. 34-38, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.4322/1809_7197.2021.103.0002. Acesso em: 16 mar. 2025.

SHANMUGAM, K.; ANGELINE, P.; PREETHI, V. IDENTIFICAÇÃO DE UM NOVO *Bacillus cereus* KOV15 ISOLADO DE COMUNIDADES MICROBIANAIS DO SOLO, PRODUZINDO CARBONATO DE CÁLCIO, RUMO A MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO MAIS VERDES. *Oxidation Communications* , v. 45, n. 1, 2022.

SILVA, Marcela Tavares de Araújo; ROCHA, Joaquin Humberto Aquino; MONTEIRO, Eliana Cristina Barreto. Estimação da profundidade de fissuras em concreto através da velocidade de ondas ultrassônicas. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 24, p. e12522, 2019.

SILVAB, Y. B.; SARUBBOB, Leonie A.; BENACHOURA, Mohand. Biomineralization of calcium carbonate by *Bacillus cereus* for self-healing biocement. *Chem. Eng. Transact*, v. 79, p. 97-102, 2020.

SOHAIL, Muazzam Ghous et al. Bio self-healing concrete using MICP by an indigenous *Bacillus cereus* strain isolated from Qatari soil. *Construction and Building Materials*, v. 328, p. 126943, 2022.

WEIMER, B. F.; THOMAS, M.; DRESCH, F. *Patologia das estruturas*. Portos Alegre, Rio Grande do Sul. Grupo A, 2018. Disponível: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595023970/>>.