



Integração de Fibras Vegetais e Micro-organismos na Argamassa: Potencial Biotecnológico para Captura de CO₂

Integration of Plant Fibers and Microorganisms in Mortar: Biotechnological Potential for CO₂ Capture

Leidson Ramos de Sousa

Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP). <https://orcid.org/0009-0006-5431-578X>

Itamar Victor de Lima Costa

Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP). <https://orcid.org/0009-0001-0653-5992>

Stefhanie Carmélia Matos Nunes

Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP). <https://orcid.org/0009-0006-0047-3301>

Galba Maria de Campos-Takaki

Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP). <https://orcid.org/0000-0002-0519-0849>

Resumo: A construção civil é responsável por uma parcela significativa das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂), predominantemente devido ao uso intensivo de cimento Portland. Nesse contexto, o emprego de fibras vegetais naturais associadas a micro-organismos surge como uma alternativa promissora para mitigar o impacto ambiental e aumentar a sustentabilidade dos compósitos cimentícios. Este trabalho aborda o potencial da incorporação de fibras vegetais em argamassas, aliada ao potencial biotecnológico de microrganismos para o desempenho do material. Os resultados analisados apontam para uma sinergia eficaz que contribui para a maior durabilidade e a redução de fissuração, como demonstrado pela fibra de bananeira, que alcançou até 40% de mitigação de fissuras e conferiu maior ductilidade ao compósito. Paralelamente, micro-organismos como o *Bacillus subtilis* induzem a biomineralização de carbonato de cálcio (CaCO₃), proporcionando autoconfiança (selagem de até 70% das fissuras) e elevando a resistência mecânica em até +30%. A tecnologia também possui um impacto ambiental positivo, uma vez que espécies como o *Bacillus cereus* e *Trichoderma* sp. demonstraram potencial na captura e fixação de CO₂, reforçando o papel do compósito como uma argamassa verde. Em suma, a sinergia entre fibras vegetais e microrganismos consolida-se como uma solução inovadora, resiliente e essencial para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) na construção civil.

Palavras-chave: argamassa biológica; fibra natural; autocura; bioconcreto; captura de CO₂; sustentabilidade.

Abstract: The civil construction sector is responsible for a significant share of global carbon dioxide (CO₂) emissions, mainly due to the intensive use of Portland cement. In this context, the use of natural plant fibers combined with microorganisms emerges as a promising alternative to mitigate environmental impact and enhance the sustainability of cementitious composites. This work addresses the potential of incorporating plant fibers into mortars, associated with the biotechnological capacity of microorganisms to improve material performance. The results analyzed indicate an effective synergy that contributes to greater durability and crack reduction, as demonstrated by banana fiber, which achieved up to 40% crack mitigation and provided greater ductility to the composite. At the same time, microorganisms such as *Bacillus*

subtilis induce the biomineralization of calcium carbonate (CaCO₂), providing self-healing (up to 70% crack sealing) and increasing mechanical strength by up to 30%). The technology also has a positive environmental impact, as species such as *Bacillus cereus* and *Trichoderma* sp. have shown potential for CO₂ capture and fixation reinforcing the role of the composite as a green mortar. In summary, the synergy between plant fibers and microorganisms stands out as an innovative, resilient solution essential to achieving the Sustainable Development Goals (SDGs) in the construction sector.

Keywords: Bio-mortar; Natural fiber; Self-healing; Bio-concrete; CO₂ capture; Sustainability.

INTRODUÇÃO

O setor da construção civil contribui com aproximadamente 8% das emissões globais de CO₂, sobretudo devido ao elevado consumo de cimento Portland (Azevedo, 2023). Essa realidade tem incentivado a busca por materiais alternativos, sustentáveis e de baixo carbono.

O uso de fibras vegetais naturais em compósitos cimentícios destaca-se como estratégia inovadora, ao mesmo tempo em que promove a valorização de resíduos agroindustriais e contribui para maior resistência mecânica, redução de fissuração e durabilidade (Gonçalves *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2021). Em paralelo, a biotecnologia aplicada à construção civil, como o uso de bactérias e fungos, vem ganhando destaque por possibilitar a biomineralização e a fixação biológica de CO₂, com destaque para espécies como *Bacillus subtilis* e *Trichoderma* (Nindhita *et al.*, 2023; UFSC, 2021).

Dessa forma, essa tecnologia busca discutir os avanços recentes no uso de fibras vegetais e microrganismos em argamassas, destacando seu potencial na captura de CO₂ e na construção sustentável.

FIBRAS VEGETAIS EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

As fibras de bananeira, sisal, coco e bambu apresentam destaque na literatura por sua alta disponibilidade, baixo custo e propriedades mecânicas favoráveis, como resistência à tração e capacidade de controle de fissuras (Gonçalves *et al.*, 2022). Além disso, estudos indicam que essas fibras melhoram a ductilidade e a tenacidade das argamassas e compósitos, permitindo que os materiais suportem deformações sem rupturas catastróficas (Ferreira *et al.*, 2021).

Pesquisas demonstram que novos ligantes formulados com fibras vegetais podem absorver CO₂ durante o processo de cura, contribuindo para a redução de carbono e aumento da durabilidade do material. Esses achados reforçam a relevância das fibras naturais como componentes estratégicos em compósitos sustentáveis, especialmente em aplicações que visam à construção civil de baixo impacto ambiental.

Figura 1 - Diferentes tipos de fibras vegetais utilizadas em argamassas.



Fonte: autoria própria, 2025.

Micro-organismos na Captura de CO₂

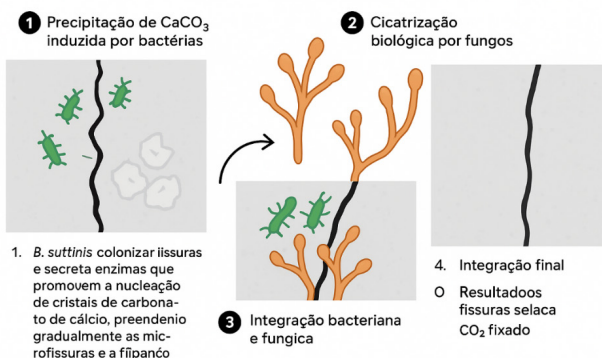
Bactérias do gênero *Bacillus*, como *Bacillus subtilis*, possuem a capacidade de induzir a precipitação de carbonato de cálcio (CaCO₃) por meio de processos bioquímicos que promovem a nucleação e crescimento de cristais de CaCO₃. Esse mecanismo não apenas contribui para o fechamento de fissuras em matrizes cimentícias, mas também atua na fixação de CO₂ no interior do material, promovendo um duplo benefício de conservação estrutural e mitigação de carbono (Nindhita *et al.*, 2023).

De forma complementar, fungos como *Trichoderma* apresentam elevado potencial de interação com a matriz cimentícia, participando de processos de cicatrização biológica e reforço do material. A atuação conjunta de microrganismos bacterianos e fúngicos caracteriza-se como uma biotecnologia emergente conhecida como cimento biológico autoconfiante, capaz de reparar fissuras de maneira contínua e natural, prolongando a vida útil do concreto e aumentando a sustentabilidade do sistema construtivo (Backes *et al.*, 2021).

A Figura 2 ilustra o mecanismo de atuação de bactérias e fungos na precipitação de CaCO₃ e na cicatrização de fissuras, evidenciando a integração entre processos biológicos e propriedades físico-químicas do cimento.

Figura 2 - Fluxograma mostrando o processo de biomineralização com *Bacillus subtilis* em fissuras de argamassa.

Mecanismo de ação de microrganismos no cimento



Fonte: autoria própria, 2025.

Associação Fibras + Micro-Organismos

A combinação de fibras vegetais com microrganismos é uma estratégia eficaz que potencializa a performance dos compósitos cimentícios, resultando em materiais de construção mais duráveis e sustentáveis.

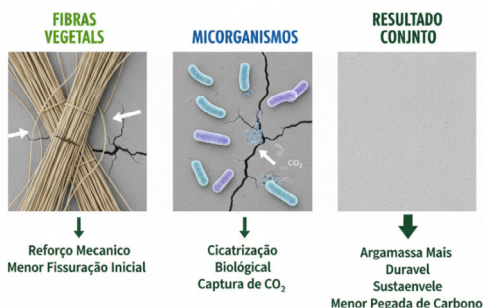
Cada componente desempenha um papel fundamental (Borges *et al.*, 2023):

- Fibras Vegetais: Atuam como reforço mecânico, contribuindo para uma menor fissuração inicial do material.
- Micro-organismos: Oferecem a capacidade de cicatrização biológica (autocura), reparando fissuras que possam surgir, além de promover a captura de CO_2 (carbonatação biológica).

A performance conjunta desses elementos resulta em uma argamassa mais durável, sustentável e com uma significativa redução na pegada de carbono, conforme o potencial descrito na literatura (Borges *et al.*, 2023).

Figura 3 - associação fibras vegetais + microrganismos na argamassa.

Compósito Sustentável: Fibras & Microrganismos



Fonte: autoria própria, 2025.

A figura ilustra de forma clara o mecanismo de ação duplo que otimiza a argamassa:

Fibras Vegetais: A primeira seção mostra as fibras atuando como reforço. Elas são incorporadas para mitigar o surgimento de fissuras, garantindo um reforço mecânico e uma menor fissuração inicial.

Micro-organismos: A seção central destaca a função biológica. Os microrganismos (bactérias) são mostrados em um processo de reparo, simbolizando a cicatrização biológica (autocura) de eventuais rachaduras. Além disso, a referência à CO₂ ressalta a capacidade de captura de carbono, tornando o material um “sequestrador” de poluentes.

O resultado conjunto é a síntese desses benefícios: Uma argamassa mais durável, sustentável e com menor pegada de carbono. a imagem, assim, resume o conceito de um material de construção inovador que prioriza o desempenho estrutural e a responsabilidade ambiental.

FASES DE PREPARAÇÃO

Fase 1: Seleção e Preparação dos Materiais

Esta fase foca em garantir que os componentes estejam prontos para a mistura e sejam compatíveis com a matriz cimentícia.

Seleção da Matriz Cimentícia:

- Definir o tipo de cimento (ex: CP II, CP V).
- Selecionar o agregado miúdo (areia) e a água.

Preparação das Fibras Vegetais:

- Seleção: Escolher a fibra vegetal (ex: sisal, bananeira, celulose) com base na disponibilidade e potencial de reforço mecânico.

- Tratamento: Realizar o corte da fibra no comprimento desejado e, se necessário, aplicar um tratamento superficial (ex: alcalino com NaOH) para melhorar a adesão à matriz cimentícia e a durabilidade.
- Caracterização: Determinar propriedades físicas das fibras, como teor de umidade, densidade e resistência à tração.

Preparação dos Microrganismos (Agentes de Cura):

- Seleção: Escolher a estirpe bacteriana (ex: *Bacillus subtilis*) conhecida por induzir a precipitação de carbonato de cálcio (CaCO₃).
- Cultivo: Multiplicar as bactérias em um meio de cultura específico.
- Incorporação: Preparar as bactérias para incorporação na argamassa, geralmente na forma de esporos encapsulados ou adicionadas diretamente à água de amassamento, juntamente com o nutriente precursor (Ca²⁺).

Fase 2: Dosagem e Produção dos Compósitos

Esta fase envolve a definição das proporções da mistura e a moldagem dos corpos de prova.

Definição do Traço

- Estabelecer um traço de referência (argamassa convencional).
- Definir as proporções de incorporação:
- Teor de Fibras: Determinar o percentual de fibra (em volume ou massa) para o reforço mecânico.
- Concentração Bacteriana: Definir a concentração ideal de células/esporos por volume de argamassa.

A tabela 1 mostra abaixo a proporção do traço para mistura.

Tabela 1 - Traço (Cimento:Areia) e o Fator Água/Cimento (A/C) são definidos para garantir o desempenho da matriz que receberá os aditivos.

Componente	Proporção Sugerida	Referência / Comentário
Traço em Volume	1:3 a 1:4 (Cimento:Areia)	Traços comuns para argamassas cimentícias, sendo ajustados para otimizar o desempenho estrutural (Tessaro <i>et al.</i> , 2020).
Fator Água/Cimento (A/C)	0,50 a 0,60	Essencial para garantir a resistência mecânica e durabilidade da matriz. A inclusão da solução bacteriana deve ser contabilizada neste fator (Nindhita <i>et al.</i> , 2023).

Fonte: autoria própria, 2025.

a) Adição de fibras vegetais

A adição de fibras naturais, como a de bananeira, visa especificamente o reforço mecânico e a redução da fissuração inicial da argamassa (Gonçalves *et al.*, 2022). A dosagem ideal busca um equilíbrio entre o ganho de resistência e a manutenção da trabalhabilidade (Azevedo, A. G. S. USP, 2023).

A tabela abaixo mostra a porcentagem de fibras vegetais para cada traço.

Tabela 2 - Adição de Fibras Vegetais Naturais.

Parâmetro	Faixa Sugerida	Referência / Comentário
Dosagem de Fibras	0,5% a 2,0% em volume do compósito (argamassa).	Esta faixa é frequentemente utilizada em pesquisas com fibras naturais (sisal, celulose, etc.) para garantir o reforço contra fissuração sem comprometer a trabalhabilidade excessivamente (Gonçalves <i>et al.</i> , 2022).
Tipo de Fibras	Fibras naturais lignocelulósicas (ex: Sisal, Bananeira, Celulose).	A escolha deve ser baseada em estudos que comprovem a eficácia em reduzir fissuras e fornecer resistência à tração na flexão (Ferreira <i>et al.</i> , 2021).

Fonte: autoria própria, 2025.

Ponto de Partida para Testes:

Recomenda-se iniciar o estudo com um traço de 1:3 e A/C=0,55, utilizando 1,0% de fibras vegetais em volume. Este valor representa um ponto médio na faixa que tende a maximizar o reforço (Gonçalves *et al.*, 2022) antes que a trabalhabilidade comece a ser significativamente comprometida.

b) Procedimento de Mistura:

- Misturar os componentes secos (cimento e areia).
- Adicionar as fibras de forma gradativa para garantir a dispersão homogênea e evitar a formação de “bolas”.
- Adicionar a água de amassamento (contendo ou não os microrganismos) e misturar até obter a trabalhabilidade desejada.

c) Moldagem e Cura:

- Moldar os corpos de prova (cilindros, prismas ou cubos) de acordo com as normas técnicas.
- Garantir um processo de cura adequado (ex: cura úmida) que seja compatível com a sobrevivência e atividade dos microrganismos.

Fase 3: Caracterização e Avaliação do Desempenho

O foco é avaliar os benefícios da combinação de fibras e microrganismos em termos mecânicos, de durabilidade e sustentabilidade.

Avaliação da Performance Mecânica (Reforço das Fibras):

- Resistência à Compressão e Tração na Flexão: Comparar os grupos com e sem fibras para quantificar o aumento da resistência e a tenacidade.
- Módulo de Elasticidade: Avaliar a rigidez do material.

Avaliação da Durabilidade e Autocura (Ação dos Microrganismos):

- Indução de Fissuras: Submeter os corpos de prova a ensaios de flexão controlada para induzir microfissuras com largura predefinida (ex: 0,1 mm a 0,3 mm).

- Monitoramento da Cicatrização: Acompanhar a evolução da largura e profundidade das fissuras ao longo do tempo (em ambiente de cura propício) usando microscopia ou testes de permeabilidade para comprovar o fechamento biológico.

Avaliação da Sustentabilidade (Captura de CO₂):

- Fixação de CO₂ por carbonatação biológica (microrganismos), realizar a medição da absorção de dióxido de carbono ao longo do tempo, comparando com o grupo controle.
- Realizar Análise de Ciclo de Vida (ACV) simplificada para estimar a redução da pegada de carbono do compósito final.

A figura abaixo mostra o diagrama do processo.

Figura 4 - Diagrama do processo.



Fonte: autoria própria, 2025.

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DAS FIBRAS VEGETAIS

A incorporação de fibras vegetais em matrizes cimentícias representa uma estratégia fundamental no desenvolvimento de materiais de construção mais sustentáveis e com desempenho aprimorado. O principal objetivo desse reforço é mitigar a fragilidade inerente à argamassa e ao concreto, especialmente no que tange à fissuração por retração plástica e ao ganho de ductilidade.

Conforme consolidado na literatura, a eficácia das fibras varia significativamente em função de sua natureza química, morfologia e da interação com a matriz. A Tabela 3 sintetiza resultados-chave de diferentes estudos que exploraram a capacidade de distintas fibras naturais em reduzir a fissuração, servindo de base comparativa para a avaliação do potencial da fibra de bananeira em compósitos cimentícios.

Tabela 3 - Comparação do desempenho de fibras vegetais em compósitos cimentícios.

Tipo de fibra	Benefícios principais	Redução de fissuração (%)	Referência
Bananeira	Maior ductilidade, aproveitamento de resíduos	35–40%	Gonçalves <i>et al.</i> , (2022)
Sisal	Resistência à tração elevada	25–30%	Tessaro <i>et al.</i> , (2020)
Coco	Boa aderência à matriz cimentícia	20–25%	Ferreira <i>et al.</i> , (2021)
Bambu	Leve, resistente e abundante	30–35%	Azevedo, A. G. S. USP (2023)

Fonte: autoria própria, 2025.

A Tabela 3 fornece um panorama comparativo da contribuição de quatro tipos de fibras vegetais na otimização de argamassas, com foco na redução da fissuração, um indicador crucial de durabilidade e vida útil do material.

Destaque para a Fibra de Bananeira (Melhor Desempenho)

A fibra de bananeira se destaca com a maior faixa de redução de fissuração, variando entre 35% a 40% (Gonçalves *et al.*, 2022). Este desempenho superior é diretamente atribuído ao seu alto teor de celulose e à sua estrutura lignocelulósica, que confere maior ductilidade ao compósito.

A alta redução de fissuração sugere que a fibra de bananeira é altamente eficaz em atuar como uma ponte de tensão entre as microfissuras, controlando a propagação e o crescimento dessas falhas desde os estágios iniciais de cura. Além disso, o benefício de aproveitar um resíduo agrícola abundante confere à fibra de bananeira um duplo valor: técnico e ambiental.

Comparação com Fibras Tradicionais

As demais fibras naturais apresentam um desempenho robusto, mas ligeiramente inferior à bananeira em termos de controle de fissuras:

- **Sisal (25%–30%):** Conhecida por sua elevada resistência à tração, a fibra de sisal (Tessaro *et al.*, 2020) oferece um reforço estrutural significativo. A sua faixa de redução, embora menor que a da bananeira, é considerada um marco de bom desempenho, reforçando a importância da rigidez e da resistência na interligação da matriz.
- **Bambu (30%–35%):** O bambu (Azevedo, 2023) se aproxima do desempenho da fibra de bananeira. Sua eficácia é justificada pela sua natureza leve e resistente, características que contribuem para uma distribuição de tensões mais uniforme, controlando o fenômeno da fissuração.
- **Coco (20%–25%):** A fibra de coco (Ferreira *et al.*, 2021) tem sua força na boa aderência à matriz cimentícia. Embora apresente a menor redução

percentual entre as fibras listadas, a capacidade de aderência é vital para a durabilidade a longo prazo, impedindo a desagregação do compósito após o surgimento das fissuras.

A fibra de bananeira (Gonçalves *et al.*, 2022) apresenta o maior potencial para o controle de fissuras iniciais, sendo a opção mais promissora do ponto de vista do desempenho mecânico e da sustentabilidade.

A seleção ideal de uma fibra não se baseia apenas no percentual de redução de fissuração, mas também na otimização da interação matriz-fibra e na sustentabilidade da cadeia de suprimentos, critérios nos quais as fibras agrícolas, como a de bananeira, se destacam.

Desempenho de Micro-organismos na Biomineralização

O conceito de autocura biológica em materiais cimentícios revolucionou a busca por maior durabilidade e sustentabilidade na construção civil. Diferente da cura tradicional, que depende de agentes químicos ou poliméricos, a autocura mediada por microrganismos utiliza processos biológicos para reparar falhas estruturais.

O mecanismo principal reside na capacidade de bactérias e fungos de induzir a precipitação de carbonato de cálcio (CaCO3) – um material quimicamente compatível com a matriz cimentícia – atuando como um “cimento biológico” que sela as fissuras. A Tabela 4 sintetiza a contribuição de três diferentes microrganismos nessa frente, destacando seu potencial para aumentar a resistência e promover a selagem de fissuras.

Tabela 4 - Efeitos dos microrganismos na resistência e autoconfiança de argamassas.

Microrganismo	Função principal	Ganho em re-sistência (%)	Autocura (fissuras seladas)	Referência
Bacillus subtilis	Precipitação de CaCO ₃ , selagem de fissuras	+30%	Até 70%	Nindhita <i>et al.</i> , 2023
Bacillus cereus	Fixação de CO ₂ e bio-mineralização parcial	+20%	Até 55%	Backes <i>et al.</i> , (2021)
Trichoderma sp.	Fixação indireta de carbono, interação biológica	+15%	Até 40%	Borges <i>et al.</i> , (2023)

Fonte: autoria própria, 2025.

A Tabela 4 ilustra o impacto direto de diferentes microrganismos nas propriedades de argamassas, mensurado pelo ganho de resistência à compressão e pela eficácia na autocura.

Destaque para o Bacillus subtilis (Maior Eficácia)

O desempenho da bactéria *Bacillus subtilis* vêm sendo demonstrado por vários pesquisadores, destacando-se as pesquisas realizadas por Schwantes-

Cezario, (2019), Nindhita *et al.* (2023), Nindhita *et al.* (2024) e mais recente por Cahyati *et al.* (2025), onde todos destacaram o desempenho notável, atingindo um ganho de resistência de até +30% e uma capacidade de autocura de até 70% das fissuras.

A superioridade do *B. subtilis* é frequentemente atribuída à sua eficiência na precipitação de CaCO_3 e à sua capacidade de sobrevivência em ambientes alcalinos (como a matriz cimentícia) sob a forma de esporos. O ganho significativo de resistência (+30%) indica que o CaCO_3 precipitado não só sela as fissuras, mas também densifica a microestrutura da argamassa, melhorando as propriedades globais do material.

Comparação com Outros Gêneros de Microrganismos

As outras cepas listadas, embora eficazes, mostram um desempenho intermediário ou alternativo:

- *Bacillus cereus* (Ganho de +20%, Autocura de até 55%): O *B. cereus* (Backes *et al.*, 2021) também utiliza o princípio da biomineralização, muitas vezes associado à fixação de CO_2 (dióxido de carbono) durante o processo metabólico. Seu desempenho sugere que, embora não seja tão potente quanto o *B. subtilis*, ele ainda oferece uma melhoria substancial na integridade estrutural e na redução da porosidade do material.
- *Trichoderma* sp. (Ganho de +15%, Autocura de até 40%): Este gênero, tipicamente fúngico, demonstra um potencial menor em ganhos de resistência e autocura (Borges *et al.*, 2023). Sua função é descrita como fixação indireta de carbono, sugerindo um mecanismo de reparo mais dependente de interações biológicas complexas e menos focado na precipitação maciça de CaCO_3 . Seu uso pode ser considerado em aplicações onde o foco é a sustentabilidade e a interação com outros aditivos biológicos, em detrimento do desempenho máximo de autocura.

Sinergia e Conclusão Parcial

A análise indica claramente que o *Bacillus subtilis* é o microrganismo de escolha quando se busca a máxima resistência e eficácia de autocura.

A eficácia dos microrganismos listados demonstra que a tecnologia de autocura é uma solução viável para aumentar a durabilidade e a vida útil de compósitos cimentícios. Em um projeto que combina fibras (para prevenir microfissuras) e microrganismos (para selar microfissuras), a escolha do *B. subtilis* representa o componente mais forte para o reparo ativo e a densificação da matriz.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração de fibras vegetais e microrganismos em argamassas representa um avanço tecnológico crucial, sinalizando uma mudança de paradigma na

construção civil em direção a práticas mais sustentáveis e resilientes. A análise dos resultados demonstra que essa sinergia cria um compósito cimentício com desempenho otimizado em duas frentes: reforço passivo e reparo ativo.

No campo do reforço passivo, as fibras vegetais atuam como a primeira linha de defesa contra falhas estruturais. A fibra de bananeira (Gonçalves *et al.*, 2022) se destaca com a maior capacidade de redução de fissuras, chegando a 40%, devido à sua elevada ductilidade, superando o sisal (25%–30%) e o bambu (30%–35%). Este benefício não só aumenta a durabilidade do material, mas também promove a Gestão de Resíduos Sólidos, integrando subprodutos agrícolas de baixo valor agregado à cadeia da construção.

Paralelamente, a introdução de micro-organismos ativa um mecanismo de reparo ativo e autoconfiança (autocura). O *Bacillus subtilis* (Nindhita *et al.*, 2023) é o mais eficaz, responsável por selar até 70% das fissuras e proporcionar um ganho de resistência de até +30% por meio da precipitação de CaCO₃. Este processo de biomineralização não só cura o material, como também contribui para a fixação de CO₂ na matriz cimentícia (Borges *et al.*, 2023), oferecendo um benefício direto na mitigação das mudanças climáticas.

Essa inovação tecnológica possui um forte alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Ela apoia diretamente o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) ao promover uma industrialização sustentável e construir infraestruturas mais resilientes e duráveis. Além disso, contribui com o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), transformando o material de construção em um potencial sequestrador de carbono e reduzindo a pegada ecológica da cadeia do cimento, uma das mais poluentes do mundo.

Apesar da promessa, a consolidação dessa tecnologia enfrenta desafios significativos, especialmente relacionados à escalabilidade industrial, à durabilidade de longo prazo em diversas condições ambientais (Backes *et al.*, 2021) e aos custos de produção devido à necessidade de incorporar microrganismos e nutrientes específicos. Contudo, o alto desempenho técnico e o imperativo da sustentabilidade indicam que os avanços recentes devem superar esses obstáculos, consolidando o compósito de fibras e microrganismos como uma alternativa viável e essencial para o futuro da Biorremediação.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, A. G. S. **Novo cimento com fibras vegetais absorve gás poluente e tem maior durabilidade.** Jornal da USP, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/novo-cimento-com-fibras-vegetais-absorve-gas-poluente-e-tem-maior-durabilidade/>. Acesso em: 01 out. 2025.
- BACKES, J. C.; LEÃO, A.; VERONA, L. B.; RECH, J. C.; RECH, A. S. **Aplicação de microrganismos em compósitos cimentícios: potencial para captura de CO₂.** 2021. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/238381>. Acesso em: 01 out. 2025.

BORGES, P. M.; RIGO, E.; POSSAN, E.; ANDRADE, J. J. O. **Biotecnologia aplicada em materiais cimentícios**. In: CONRESOL 2023 – Congresso Nacional de Resíduos Sólidos, Sustentabilidade e Meio Ambiente, 2023. Anais. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2023/VII-006.pdf>. Acesso em: 01 out. 2025.

CAHYATI, M.D.; HUANG, Wei-Hsing; HSU, Hsieh-Lung; WINATA, C. **Self-healing investigation on engineered cementitious composites incorporating *Bacillus subtilis* immobilized in silica gel**. Case Studies in Construction Materials, v. 23, December 2025, e05130. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e05130>

FERREIRA, C. L. da C.; LIMA, L. B.; SIQUEIRA, R. A. **Avaliação do desempenho de fibras naturais em compósitos para construção civil no Brasil: sustentabilidade e inovação**. Revista FT, 2021. Disponível em: <https://revistافت.com.br/avaliacao-do-desempenho-de-fibras-naturais-em-compósitos-para-construcao-civil-no-brasil-sustentabilidade-e-inovacao/>. Acesso em: 01 out. 2025.

GONÇALVES, G. P.; TEIXEIRA, E. O.; ROSTAGNO, P. V. **Potencial uso da fibra de bananeira como reforço de argamassas para reduzir a fissuração**. In: CONTECC 2022 – Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2022. Disponível em: <https://www.confءa.org.br.pdf>. Acesso em: 01 out. 2025.

NINDHITA, K. W.; ZAKI, A.; ZEYAD, A. M. **Effect of *Bacillus subtilis* on the mechanical and self-healing properties of cementitious composites**. Scientific Reports, v. 13, n. 11234, 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-34837-x>. Acesso em: 01 out. 2025.

SCHWANTES-CEZARIO, N. **Effects of *Bacillus subtilis* biocementation on the mechanical properties of mortars**. Rev. IBRACON Estrut. Mater. 12 (01) • Feb 2019 • <https://doi.org/10.1590/S1983-41952019000100005>

TESSARO, A. B.; GONÇALVES, M. R. F. *et al.* **Desempenho de compósitos cimentícios com fibras vegetais. Ambiente Construído, v. 20, n. 1, 2020**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/WFKRXZx97g3P8MsZDLzyC4P>. Acesso em: 01 out. 2025.

NINDHITA, K.W.; ZAKI, A.; ZEYAD, A.M. **Effect of *Bacillus Subtilis* Bacteria on The Mechanical Properties of Corroded Self-Healing Concrete**. Fracture and Structural Integrity, February 202418(68):140-158. DOI:10.3221/IGF-ESIS.68.09

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP) e ao Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais (CEMACBIOS) pelo apoio técnico científico, a CAPES pela concessão de bolsas para L.B.S. , I.V. , S.N., e ao CNPq G.M.C.T. (Processo: 312241/2022-4).