

PESQUISA DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NA ENGENHARIA CIVIL: O BIOCONCRETO

*Primeiro Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço**

*CEP – Cidade – Estado**

*Segundo Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço**

*CEP – Cidade – Estado**

*Terceiro Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço**

*CEP – Cidade – Estado**

Resumo: *O bioconcreto é um material que vem obtendo destaque em espaços de pesquisa de materiais inteligentes e sustentáveis, pela sua capacidade de cicatrização avançada, baseada na adição de bactérias ureolíticas. Neste trabalho, procedemos ao relato da pesquisa bibliográfica em torno do tema de bioconcreto, explorando também sua composição com geopolímeros de resíduos minerários. Ao final do processo, pudemos elencar materiais e métodos de modo a exibir um panorama do processo. O estudo deste material vem reforçando a necessidade de formação de equipes interdisciplinares. O trabalho com materiais inteligentes desde a formação acadêmica pode auxiliar a formar recursos humanos na área de construção civil mais aptos a desempenharem seu papel profissional forma mais eficaz, criativa e sustentável.*

Palavras-chave: *Bioconcreto. Materiais Alternativos. Educação na Engenharia.*

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil a formação técnica tradicionalmente se volta para as disciplinas de matemática, física e química. Mas, recentemente, a biologia tem sido inspiração e fonte de materiais alternativos inteligentes. Um material inteligente realiza um acoplamento entre campos físicos diferentes, e possui características fortes de adaptabilidade. Seu uso como tecnologia explora a capacidade de alteração de propriedades, esperando-se também que o material seja reparado, sem a necessidade de ação humana, quando houver necessidade (OLIVEIRA, 1994). Este tipo de material pode considerado relativamente novo e não é tão frequentemente estudado e trabalhado se comparado com materiais tradicionais na engenharia civil como o concreto de cimento Portland.

O concreto é um material de importância estratégica para a sociedade atual, sendo o segundo mais consumido mundialmente (KEMPTHORNE & MYERS, 2007). Apesar de sua importância, seu alto consumo torna-se um problema cada vez maior, uma vez que a produção do cimento Portland é poluente, sendo considerado um dos setores que mais impactam no



meio ambiente, desde a exploração das matérias primas utilizadas na produção deste material, como calcário, areia e argila, até a posterior geração de resíduos pela construção civil (SEVERO et al., 2013). Brasileiro & Matos (2015) afirmam que a geração de resíduos da construção e demolição já alcançou índices preocupantes, de aproximadamente 20% a 30% do fluxo de resíduos sólidos gerados pelas cidades de países desenvolvidos. Essa geração de resíduos é causada pelo desperdício nas obras de construções, reformas e demolições. Além disso a produção de cimento Portland é responsável por mais de 8% da emissão anual de CO₂ no mundo (HYDE, 2018). Outro problema ambiental também relacionado com o engendramento de detritos, que é comum, principalmente no Brasil, é a geração de resíduos provenientes de atividades minerárias, que de acordo com Menezes et al. (2002), que geram um grande impacto ambiental quando são descartados de forma indiscriminada. Ele explica que “em geral esses resíduos são descartados em lagos, rios, faixas de domínio de rodovias e ao redor das mineradoras ou empresas de beneficiamento”, o que causa uma série de agressões à fauna e flora locais, além de ataques à saúde e segurança da população.

Além disso, o concreto padrão produzido atualmente necessita de reparos constantes devido às patologias às quais está sujeito devido a fatores externos e internos e impedem o material de desempenhar corretamente sua função (LAPA 2008). De acordo com Salomão & Pinheiro (2020), estes processos podem ocorrer ao longo dos anos ou também já no início da construção, o que leva a redução da vida útil das estruturas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Bioconcreto é definido por ser um tipo de concreto que contém em sua composição bactérias que possuem a capacidade de precipitar carbonato de cálcio, o que leva a um aumento substancial em sua capacidade de selar as próprias fissuras que surgem no meio, consistindo uma propriedade desenvolvida de auto cicatrização do material. (CASTRO-ALONSO et al. 2019).

A fim de aprimorar o potencial do bioconcreto, ele vem sendo combinado com o cimento geopolimérico, um ligante baseado em materiais naturais minimamente processados ou subprodutos de atividades industriais/minerárias combinados com um ativador geopolimérico altamente alcalino (DAVIDOVITS 2013). A combinação proporciona uma melhora na resistência à compressão e na durabilidade, entre outras características, quando comparado com o concreto convencional (TECH, J et al. 2015) e torna o produto mais interessante.

No bioconcreto com cimento geopolimérico, além dos agentes ureolíticos, também são adicionados resíduos minerários, utilizados na formação do geopolímero. A incorporação das bactérias, assim como a ativação geopolimérica dos resíduos, proporcionam uma melhora na permeabilidade e na capacidade de auto cicatrização do material (JONKERS, 2011). Nos geopolímeros, além de diminuição no tempo de cura também é alcançado um aumento da resistência do material (DAVIDOVITS, 2013).

Uma das características mais importantes do Bioconcreto é sua capacidade de auto regeneração, que acontece devido à ação de bactérias ureolíticas no material. Esse tipo de bactéria desempenha o papel de agente de autocicatrizante, com a capacidade de selar fissuras e trincas que surgem no próprio material através da produção e precipitação de minerais de carbonato de cálcio (JONKERS & SCHLANGEN, 2007). Este processo é chamado de biomineralização ou MICP (Do Inglês: *Microbially induced carbonate precipitation*), que se define pelo processo químico pelo qual organismos vivos sintetizam minerais inorgânicos, neste caso com o foco na precipitação de carbonato de cálcio, promovida pelas atividades metabólicas das bactérias em questão (REIS et al., 2017).

Outra característica deste material é o aumento no tempo de vida da estrutura já que trincas e fissuras que surgem no bioconcreto são reparadas pelas bactérias ainda no estado inicial, a estrutura tende a não ser comprometida (PAWAR & PAREKAR, 2018).

O aspecto geopolimérico do material também leva a uma série de características singulares. De acordo com Pinto (2006), o concreto que utiliza cimento geopolimérico em sua composição, se comparado com o que é composto de cimento Portland "são em geral mais resistentes do ponto de vista mecânico, apresentam maior durabilidade, estabilidade e atingem estes graus de comportamento mais rapidamente que os materiais fabricados com a utilização do cimento Portland". Davidovits (2013) constata que os cimentos geopoliméricos apresentam uma cura mais rápida do que o cimento Portland, além de ter a capacidade de formar fortes ligações com agregados à base de rochas e outros minerais. Logo, sua vida útil, assim como a resistência à compressão e resistência mecânica, são ampliadas.

Outros aspectos positivos são observados ao se combinar o bioconcreto com materiais geopoliméricos Chatterjee et al. (2019), em seus estudos obteve resultados de relativa importância ao fazer a junção destes dois materiais. A durabilidade do cimento geopolimérico, que já era maior quando comparada ao convencional, aumentou ainda mais com a incorporação de bactérias *Bacillus subtilis*. Este tipo de mistura também pode alcançar uma resistência à compressão maior do que é alcançada com o cimento Portland. Também existe baixa perda de força e peso, além de uma aparência mais uniforme e uma densidade maior (ANDALIB et al. 2015). O bioconcreto de resíduos minerários também possui vantagens econômicas e ambientais, já que o processo de geopolimerização é energeticamente mais eficiente que a produção do cimento Portland (BITENCOURT et al. 2012).

3 OBJETIVO E METODOLOGIA

O objetivo geral deste artigo é relatar a revisão bibliográfica documental em torno do tema bioconcreto expandida para geopolímeros e resíduos minerários. O processo de pesquisa foi veículo de aquisição de familiaridade com formatos de trabalho, materiais e métodos das pesquisas oriundas de outras áreas disciplinares.

Esta pesquisa desenvolveu uma revisão bibliográfica envolvendo revisões, artigos, dissertações e teses, sobre os assuntos de bioconcreto, geopolímeros e resíduos minerários. Foi realizada uma análise aprofundada de diversos estudos com vários formatos e autores diferentes sobre os temas de interesse à pesquisa.

4 DESENVOLVIMENTO

O estudo sobre o bioconcreto se iniciou o processo de reconhecimento das bactérias ureolíticas, que são utilizadas para realizar as funções de auto cicatrização, entre outras, no bioconcreto. Elas podem ser encontradas amplamente na natureza, em lagos alcalinos perto de vulcões (ABREU et al. 2019), no solo (SILVA, 2018), em ambientes cavernícolas (LIMA et al. 2019), no ar, na água em resíduos de plantas em decomposição (NAGARAJAN et al. 2017) e em diversos outros locais.

A variedade também se aplica ao número de espécies e gêneros diferentes. Nos estudos sobre bioconcreto podemos encontrar bactérias do gênero *Bacillus*, como a *Bacillus pseudofirmus*, *Bacillus cohnii* (JONKERS et al. 2010), *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis* (EUZÉBIO et al. 2017). Mas também são exploradas outros gêneros e espécies, como a *Sporosarcina pasteurii* (JONKERS & SHLANGEN, 2007) e a *Pseudomonas aeruginosa* (KIM et al. 2013).

Esse tipo de bactéria realiza um processo chamado de "Bioprecipitação de carbonato de cálcio", também conhecido como MICP (*Microbially induced carbonate precipitation*). De Muynck et al. (2010) define este processo como um método "baseado na formação bacteriana induzida de um carbonato compatível precipitado em calcário [...]". A interação dos diferentes subprodutos metabólicos com os íons de cálcio presentes no microambiente que ocorre no MICP leva a uma produção de minerais de carbonato de cálcio (CASTRO-ALONSO et al. 2019). Segundo JIANG et al. (2016), existem quatro fatores chave para a ocorrência dessa reação química: a concentração do carbono orgânico dissolvido, a concentração dos íons de cálcio, o pH e a presença dos sítios de nucleação.

No bioconcreto, a MICP está presente como uma reação governada por duas enzimas presentes nas bactérias ureolíticas, a *urease* e a *anidrase carbônica*. Para realizar as reações que resultam na precipitação do carbonato de cálcio em formato mineral elas utilizam a ureia como substrato, além de uma fonte de cálcio (ACHAL & MUKHERJEE, 2017). Vaghela & Pitroda (2019) citam três fatores principais que afetam a precipitação de calcita no bioconcreto: a constituição genética da bactéria, já que o concreto é um meio altamente alcalino, e nem todos os microrganismos suportam essas condições; o meio de cultura da bactéria, pois elas necessitam de componentes dietéticos para realizar o crescimento inicial; e a concentração celular das bactérias, pois as paredes celulares bacterianas são o local específico para a precipitação da calcita, então esta concentração se torna uma questão importante a ser calculada. As bactérias ureolíticas no bioconcreto também necessitam da presença de água e do contato com o oxigênio para realizar o processo de bioprecipitação. A medida que são produzidos, estes cristais de carbonato de cálcio se acumulam e aos poucos preenchem as fissuras e trincas que surgem no meio, de um modo que elas gradualmente deixem de existir. (MAGALHÃES; CORDEIRO & PEDERSOLI, 2017).

Vários autores exploraram esta capacidade microbiológica de reparar as próprias trincas e fissuras, além de outras características do bioconcreto em seus estudos, a fim de comprovar a eficácia da auto cicatrização bacteriana mesmo e desenvolver um material inteligente e sustentável. Um dos pioneiros deste tema, Henk Jonkers, realizou, com a participação de outros autores, uma série de estudos sobre este material. O cultivo das bactérias que ele utiliza é realizado com diversas substâncias combinadas, entre elas estão: peptona, extrato de carne e carbonato de sódio (JONKERS et al. 2010); cloreto de amônio, fosfato monopotássico, cloreto de cálcio, cloreto de potássio, cloreto de magnésio e extrato de levedura (JONKERS & SCHLANGEN, 2008). Em outro estudo, o meio de cultura líquido foi substituído por partículas de argila expandida carregadas com esporos de bactérias e lactato de cálcio como aditivos à mistura de concreto (JONKERS, 2011).

Nestas pesquisas, são montados vários corpos de prova de composições diferentes, que variam de células vegetativas e esporos bacterianos a partículas de argila expandida com e sem incorporação do agente ureolítico e lactato de cálcio, além das espécies controle. O tempo de cura varia de acordo com a composição da mistura e o tipo do experimento. As principais verificações feitas são as de viabilidade das bactérias incorporadas e os efeitos da adição do agente bacteriano com seus nutrientes nas propriedades de resistência e autocicatrização. Em alguns desses estudos também foram realizados testes prévios para verificar a taxa de formação de esporos e precipitação de carbonato de cálcio das bactérias utilizadas.

No Brasil, Gabriela Lemke (2019) desenvolveu uma argamassa com a adição de microrganismos autocicatrizantes. Foram calculadas as dosagens das bactérias, cultivadas em um meio de cultura composto por peptona de caseína, extrato de levedura, glicose e ágar, e definidos os traços de cimento, água e agregados miúdos. Também foram adicionadas soluções nutritivas, com ureia e cloreto de cálcio, e de ativação da enzima urease, composta



por extrato de levedura e ureia. Foram feitos corpos de prova com substituição de 10% da água pela solução de bactérias com os ativadores e nutrientes necessários, corpos de prova controle, e outras espécies semelhantes às de controle, mas que foram borrifadas com uma solução de bactérias após o tempo de cura, que foi de 28 dias. Após o tempo de cura, os corpos de prova foram fissurados e a microscopia foi realizada e repetida depois de 7, 14 e 28 dias, a fim de verificar-se a auto-cicatrização das bactérias nas espécies.

Recentemente, também vem sendo desenvolvido um outro tipo de bioconcreto, composto com cimento geopolimérico ao invés do tradicional. No trabalho de Andalib et al. (2015), as bactérias foram isoladas de amostras de solo e cultivadas com extrato de levedura, peptona e água destilada, com a posterior adição de lactato de cálcio para ativação do mecanismo de biomineralização. O meio de bactérias foi adicionado aos corpos de prova controle, com cimento Portland, e às espécies geopoliméricas, compostas com cinzas de óleo de palma, cinzas volantes e uma solução ativadora de hidróxido e silicato de sódio combinados, além de um superplastificante para melhorar a trabalhabilidade da mistura. Depois da cura e desmoldagem, foram feitos testes de resistência à compressão e da velocidade de pulso ultrassônico. Por fim, as espécies foram imersas em uma solução com 5% de ácido sulfúrico para testar sua durabilidade contra agentes agressivos. Uma equipe cingapuriana (JADHAV et al. 2018), também desenvolveu um tipo de bioconcreto geopolimérico, mas este composto de metacaulim e uma solução de silicato de sódio como substância ativadora, além da adição de uma cultura de *Sporosarcina pasteurii* cultivada em peptona, uréia e cloreto de sódio. Os corpos de prova foram curados por 7 dias a uma temperatura de 60°C. Foram feitos testes para avaliar o vazamento e a viabilidade da aplicação dos esporos de bactéria no geopolímero à base de metacaulim, além da verificação da auto-reparação das trincas e fissuras.

5 RESULTADOS

Quanto às propriedades de resistência do bioconcreto os resultados foram variados. Em alguns casos, não houveram grandes variações nos valores obtidos de resistência à tração e à compressão (JONKERS & SCHLANGEN, 2007), outros obtiveram valores 50% menores na força compressiva (JONKERS, 2011). No entanto, esta queda na resistência do material não está relacionada com a adição das bactérias, mas com alguns componentes da cultura de cultivo das mesmas, como o acetato de cálcio e extrato de levedura (JONKERS et al. 2010). A resistência, no geral, varia com o uso de diferentes bactérias, concentrações celulares e tempo de cura (MUTITU et al. 2019). Já no bioconcreto composto com cimento geopolimérico, se comparado com o concreto composto por cimento Portland sem adição de bactérias, pode alcançar valores 70% superiores na resistência à compressão (CHATTERJEE; CHATTOPADHYAY & MANDAL, 2019). Além disso, quando mergulhada em uma solução ácida, o bioconcreto geopolimérico obtém perdas relativamente menores na resistência e no peso quando comparado com o concreto convencional. (ANDALIB et al. 2015).

Em um estudo de Henk Jonkers (2008), após uma análise microscópica das trincas e fissuras nos corpos de prova, constatou-se que os compostos com bactérias e lactato de cálcio produziram minerais de calcita de até 100µm, um contraste expressivo com as espécies controles e com adição apenas de lactato de cálcio, que precipitaram minerais entre 2 e 5µm. Em outro caso, observou-se novamente a precipitação expressiva de cristais minerais nos corpos de prova bacterianos, enquanto os de controle não tiveram indícios da produção de cristais em sua superfície. (JONKERS & SCHLANGEN, 2007). No bioconcreto geopolimérico, mesmo com a presença de materiais alcalinos, as bactérias permanecem viáveis e capacitadas de fechar as fissuras e trincas do material. (JADHAV et al. 2018).



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados dos diversos artigos, estudos, revisões e etc. trabalhados nesta pesquisa é possível concluir que o bioconcreto é um material que apresenta diversas vantagens ao ser utilizado. Ao ser aplicado nas construções, pode melhorar a resistência mecânica, entre outras, da estrutura, aumentar seu tempo de vida, e diminuir a necessidade de reparos de patologias que surgem na mesma. O material também apresenta diversas vantagens ecológicas, já que o processo realizado pelas bactérias demanda de uma baixa quantidade de energia, e com a utilização das mesmas para reparar as trincas e fissuras do concreto, evita-se o gasto de material excedente que se utilizaria para realizar a mesma função.

Ao tratar-se do aspecto econômico, o valor atual do bioconcreto tem um custo aproximadamente 40% maior quando comparado ao concreto convencional. No entanto, autores como Jonkers (2011) explicam que ao longo do tempo, o investimento no material acaba economizando mais dinheiro a longo prazo. Abreu et al. (2019), mostra em seu estudo que a aplicação do Bioconcreto gera uma diminuição ou até mesmo a inexistência de gastos com o reparo de patologias de corrosão da armadura, uma vez que isso é causado inicialmente pela exposição gerada pelas trincas e fissuras. SILVA, 2018 comprova que cerca de 69% de todas as patologias do concreto são deste tipo concluindo que, com a aplicação do Bioconcreto, os gastos com reparos diminuiria e geraria uma economia na construção. A diminuição desses gastos, em alguns anos, superaria o investimento maior que o Bioconcreto necessita.

Uma solução bioeficiente pode ser o bioconcreto geopolimérico, que utiliza resíduos minerários na estrutura do material. Além de ser mais econômica, esta opção oferece uma maior resistência a esforços, a partir da redução de trincas e fissuras no concreto e uma redução na absorção de água, levando a uma ocorrência menor de infiltrações no material. O uso dos geopolímeros no bioconcreto também o torna um material mais sustentável, pois com o cimento geopolimérico, torna-se desnecessário o uso do cimento Portland. Além disso, com o uso dos geopolímeros, também cria-se uma utilidade para os resíduos minerários, evitando seu acúmulo ou descarte em locais indevidos.

7 DISCUSSÃO E ESTUDOS FUTUROS

A iniciação científica permitiu ao estudante aprender a buscar, compilar e cruzar dados de modo a obter resultados inteligíveis e inteligentes a partir do labirinto de informações disponível atualmente auxiliar a conversão para conhecimento. Além disso, ao tratar-se de um tema interdisciplinar, vai ficando evidente, à medida que o aluno avança na investigação, que essas equipes não podem ser integrados apenas por profissionais de uma área.

Portanto, é importante a existência de cada vez mais estudos sobre este tipo de material, e que o assunto seja explorado de forma mais frequente no meio das engenharias, uma vez que pode existir desinformação por parte de profissionais da área sobre os avanços no estudo do tema.

O tema está em pleno desenvolvimento tecnológico e suas aplicações são variadas se integrando ao elenco de soluções inteligentes que estão atualmente sendo testadas no âmbito da construção civil. Espera-se que uma profusão de materiais inteligentes e sustentáveis como o bioconcreto, que auxiliarão neste desenvolvimento de forma mais ecológica e eficiente, sejam desenvolvidos com frequência cada vez maior e que os futuros profissionais estejam preparados para lidar com a pesquisa interdisciplinar necessária para lidar com eles.

A importância de desenvolver recursos humanos que adaptados à utilizar a pesquisa como forma de aprendizado guarda relação estreita com o ritmo necessário cada vez mais

intenso da demanda sobre este tipo de soluções. A partir da interação com os pares em espaços de intercâmbio de saberes estes profissionais da construção estarão aptos a integrar os esforços pela busca de ecoeficiência no setor.

Na sequência desta revisão esperamos montar um painel de variações dos materiais e métodos elencados considerando sua aplicação na construção civil, que juntamente com esta revisão bibliográfica, possa dar um suporte a trabalhos futuros de cultivo, confecção e ensaios em laboratório do bioconcreto composto com resíduos minerários.

Agradecimentos

A Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (DPPG-CEFET-MG) e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo reconhecimento e oferta de bolsa para esta iniciação científica.

REFERÊNCIAS

ABREU, Brendon Garcia *et al.* BIOCONCRETO. **Diálogos Interdisciplinares**, v. 8, n. 2, p. 45-55, 2019.

ACHAL, Varenym; MUKHERJEE, Abhijit. A review of microbial precipitation for sustainable construction. **Construction and Building Materials**, v. 93, p. 1224-1235, 2015.

ANDALIB, Ramin *et al.* Environ Treat. Geo-polymer Bacterial Concrete Using Microorganism. **Journal of Environmental Treatment Techniques**, v. 3, n. 4, p. 212-214, 2015.

BITENCOURT, C. S. *et al.* A geopolimerização como técnica para a aplicação do resíduo de bauxita. **Cerâmica**, v. 58, n. 345, p. 20-28, 2012.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil (Literature review: reuse of construction and demolition waste in the construction industry). **Cerâmica**, v. 61, p. 178-189, 2015.

CASTRO-ALONSO, María José *et al.* Microbially Induced Calcium carbonate Precipitation (MICP) and its potential in Bioconcrete: Microbiological and molecular concepts. **Frontiers in Materials**, v. 6, p. 126, 2019.

CHATTERJEE, Avishek *et al.* Bacterium-incorporated fly ash geopolymer: a high-performance, thermo-stable cement alternative for future construction material. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 21, n. 9, p. 1779-1789, 2019.

CHATTERJEE, Avishek; CHATTOPADHYAY, Brajadulal; MANDAL, Saroj. Bacterium amended 100% fly ash geopolymer. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing LLC, 2019. p. 020013.

DAVIDOVITS, Joseph. Geopolymer cement. A review. Geopolymer Institute, **Technical papers**, v. 21, p. 1-11, 2013.

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.

EUZÉBIO, Luíz Antônio; ALVES, Thiago Rodrigues; FERNANDES, Vítor Andrade. Estudo exploratório de concreto com introdução de *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, acetato de cálcio e ureia. 2017.

HYDE, Roisin. **Geopolymer – A concrete foundation for a sustainable future**. TEDxFulbrightDublin, Dublin, Nov. 2018. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=oq_he4a51cY. Acesso em: 20 mai. 2020.

JADHAV, Umesh U. *et al.* Viability of bacterial spores and crack healing in bacteria-containing geopolymer. **Construction and Building Materials**, v. 169, p. 716-723, 2018.

JIANG, Ning-Jun *et al.* Ureolytic activities of a urease-producing bacterium and purified urease enzyme in the anoxic condition: Implication for subseafloor sand production control by microbially induced carbonate precipitation (MICP). **Ecological engineering**, v. 90, p. 96-104, 2016.

JONKERS, Henk M. *et al.* Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete. **Ecological engineering**, v. 36, n. 2, p. 230-235, 2010.

JONKERS, Henk M. Bacteria-based self-healing concrete. **Heron**, 56 (1/2), 2011.

JONKERS, Henk M. Self-healing concrete. **Ingenia, marzo**, v. 46, p. 39-43, 2011.

JONKERS, Henk M.; SCHLANGEN, Erik. Crack repair by concrete-immobilized bacteria. In: **Proceedings of the first international conference on self healing materials**. 2007. p. 20.

JONKERS, Henk M.; SCHLANGEN, Erik. Development of a bacteria-based self healing concrete. In: **Proc. int. FIB symposium**. 2008. p. 425-430.

KEMPTHORNE, D.; MYERS, M. D. **Mineral commodity summaries 2007**. US Geological Survey, Washington, 2007.

KIM, Wooseong *et al.* Spaceflight promotes biofilm formation by *Pseudomonas aeruginosa*. **PloS one**, v. 8, n. 4, p. e62437, 2013.

LAPA, José Silva. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Monografia, Especialização em Construção Civil– Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LEMKE, Gabriela Hansen *et al.* **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE FISSURAS EM PASTA CIMENTÍCIA COM BIOMINERALIZAÇÃO DE BACILLUS SUBTILIS**. Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2019.

LIMA, Isabelly Ribeiro *et al.* Isolamento de organismos ureolíticas em cavernas calcárias com potencial de confecção de concreto auto cicatrizante. In: **Congresso Interdisciplinar- ISSN: 2595-7732**. 2019.

- MAGALHÃES, Isadora; CORDEIRO, Julia; PEDERSOLI, Sabrina. **Concreto Biológico.** Tecnologia das Construções CEFET-MG, Mai. 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=yPmecDUuGsI> . Acesso em: 04 mai. 2020.
- MENEZES, Romualdo R.; NEVES, Gelmires de A.; FERREIRA, Heber C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002.
- MUTITU, Karanja D. *et al.* Effects of biocementation on some properties of cement-based materials incorporating Bacillus species bacteria—a review. **Journal of Sustainable Cement-Based Materials**, v. 8, n. 5, p. 309-325, 2019.
- NAGARAJAN, V. *et al.* A study on the strength of the bacterial concrete embedded with Bacillus Megaterium. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 4, n. 12, p. 1784-1788, 2017.
- PAWAR, Suyog S.; PAREKAR, S. R. **Bacteria based Self-Healing Concrete**. 2018.
- PINTO, Amândio Teixeira. **Introdução ao estudo dos geopolímeros**. Universidade De Trás-Os-Montes E Alto Douro: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2006.
- REIS, Luann Guilherme Vieira *et al.* Bioprecipitação de Carbonato de Cálcio por Bactérias Ureolíticas e suas aplicações. **Centro Científico Conhecer**, Goiânia, Dez. 2017.
- SALOMÃO, Pedro Emílio Amador; PINHEIRO, Alexandre Victor Silva. The Potential of Living Concrete as an Alternative to Regenerate Structures Exposed to Aggressive Environments. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. 142911819, 2020.
- SERGIO, DE ALMEIDA OLIVEIRA. **OS MATERIAIS INTELIGENTES E SUAS APLICAÇÕES**. 1994. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SEVERO, Cibelle Guimarães Silva *et al.* Ativação alcalina de resíduos minerais com NaOH. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 8, n. 2, 2013.
- SILVA, Daniel Gonçalves *et al.* **Aplicação de bactérias biocimentantes no tratamento de patologias de revestimentos de argamassa**. 2018.
- SILVA, Daniel Henrique. **Recuperação de estruturas de concreto – Corrosão das Armaduras – Estudo levantado no Centro Oeste de Minas Gerais**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 10, Vol. 02, pp. 64-77 Outubro de 2018. ISSN:2448-0959.
- TECH, J. Environ Treat. Geo-polymer Bacterial Concrete Using Microorganism. **Journal of Environmental Treatment Techniques**, v. 3, n. 4, p. 212-214, 2015.
- VAGHELA, Kishor B. & PITRODA, Jayeshkumar R. Microbial Mineral Precipitation to Develop the Properties of the Concrete – A Review. **International Journal on Emerging Technologies**, 2019.



RESEARCH OF ALTERNATIVE MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING: BIOCONCRETE

Abstract: *Bioconcrete is a material that has been gaining prominence in research spaces as an intelligent and sustainable material, due to its advanced healing capacity, based on the addition of ureolytic bacteria. In this work, we proceed to the report of the bibliographic research around the bioconcrete theme, also exploring its composition with geopolymers of mining residues. At the end of the process, we were able to list materials and methods in order to show an overview of the process. The study of this material has reinforced the need to form interdisciplinary teams. Working with smart materials since academic training can help to train human resources in the area of civil construction more able to perform their professional role in a more effective, creative and sustainable way.*

Keywords: *Bioconcrete, Alternative Materials, Education in Engineering*