2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

BIOMINERALIZAÇÃO EM ARGAMASSA SEM ADIÇÃO DE CIMENTO PORTLAND

ALMEIDA, Jupira (1); THOMÉ, Antonio (2); ZANCHETTA, Alex Sander (3); DE LIRIO, Bernardo Henrique (4)

(1) Universidade de Passo Fundo – UPF; jupira.almeida@live.com
(2) Universidade de Passo Fundo – UPF; thome@upf.br
(3) Universidade de Passo Fundo – UPF; alex-zanchetta@hotmail.com
(4) Universidade de Passo Fundo – UPF; 155819@upf.br

RESUMO

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. Este estudo tem como objetivo produzir uma bioargamassa, sem a utilização de cimento Portland, utilizando a bactéria Sporosarcina pasteurii (CCT 0538 ATCC 11859), a qual tem boa capacidade de precipitação de carbonato de cálcio. Estes microrganismos quando cultivados com nutrientes adequados e em condições de temperatura controlada produzem um material conhecido como biocimento, o qual possui características encontradas no cimento Portland. Foi confeccionada uma biomassa contendo esporos da bactéria e materia organica vegetal de ervilhaca, a qual foi revitalizada para confeccionar corpos de prova, utilizando materiais pozolânicos como agentes ligantes. Foram testadas as resistências mecânicas de tração e compressão aos 28 dias. Os resultados mostraram que houve um aumento nas resistências utilizando os microrganismos, com destaque para o metacaulim. Estudos posteriores serão realizados para comprovação da eficácia na precipitação de carbonato de cálcio pelos microrganismos.

Palavras-chave: *Sporosarcina pasteurii. Biomineralização. Precipitação de carbonato de cálcio.*

ABSTRACT

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. This study aims to produce a bio-mortar, without the use of Portland cement, using the bacteria Sporosarcina pasteurii (CCT 0538 ATCC 11859), which has good calcium carbonate precipitation capacity. These microorganisms when grown with adequate nutrients and under controlled temperature conditions produce a material known as biocement, which has characteristics found in Portland cement. A biomass was made containing spores of the bacterium and organic matter of vetch, which was revitalized to make specimens using pozzolanic materials as binding agents. Mechanical tensile and compression strengths were tested at 28 days. The results showed that there was an increase in resistance using the microorganisms, especially the metakaolin. Subsequent studies will be carried out to prove the effectiveness in the precipitation of calcium carbonate by microorganisms.

Keywords*: Sporosarcina pasteurii. Biomineralization. Precipitation of calcium carbonate.*

1 INTRODUÇÃO

A produção de cimento no país em 2016 foi responsável pela emissão de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera de 22.415 tCO_2e (toneladas de dióxido de carbono equivalentes), segundo publicado na 5ª edição de dados sobre estimativas anuais de gases de efeito estufa no Brasil, do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações do governo federal (BRASIL-MCTI, 2016).

O uso do cimento está presente na maioria das obras de infraestrutura, principalmente na área de construção civil, com ele é possível se fazer misturas de argamassas para assentamento de paredes e revestimento de vedações verticais e horizontais, além de elementos estruturais, sendo esta área a que mais consome resursos naturais na obtenção de materiais para confecção de suas obras.

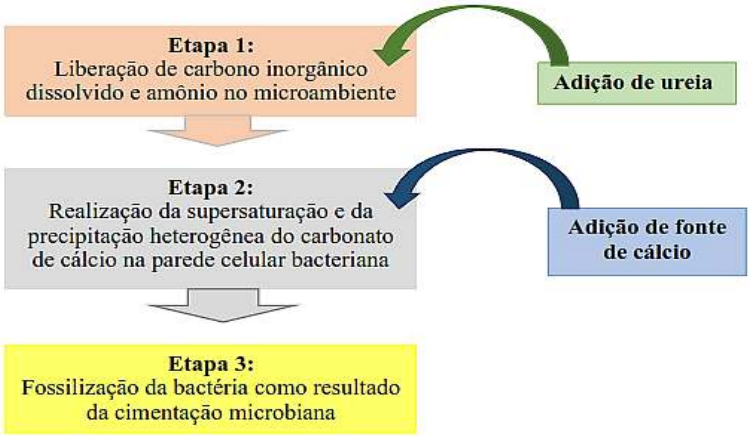
Para Tarczenski (2015), a busca por futuras mudanças na modelagem de objetos que exigem o uso do cimento deve levar em conta dois aspectos: a redução do impacto ambiental e a facilidade de formas de obtenção, referindo-se à exploração da natureza.

As buscas de novas técnicas visando reduzir a emissão de CO_2 vem resultando no estudo da utilização da atividade microbiológica, essa técnica consiste na produção de carbonato de cálcio em materiais derivados do cimento. Sendo uma técnica ambientalmente correta, a redução do CO_2 ocorre naturalmente no processo metabólico dos micro-organismos para que seja possível a produção do carbonato de cálcio (ALSHALIF et al., 2016; VERMA et al., 2015).

A biocimentação, em inúmeras pesquisas, mostrou-se capaz de melhorar a resistência de materiais a base de cimento, contribuindo para reduzir a porosidade dos mesmos, e desta forma limitando a passagem de água, protegendo estes materiais da ação deletéria provocadas pela umidade. Achal e Mukherjee (2015) esclarecem que a precipitação microbiana de carbonato induzida envolve reações bioquímicas complexas regidas por duas enzimas importantes: a urease e anidrase carbônica, produzidas por microrganismos utilizando ureia como substrato e fonte de cálcio para mineralização.

Wong (2015) define de forma bem simplificada o processo de cimentação microbiana para as bactérias tipicamente ureolíticas do gênero *Bacillus*, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Etapas de cimentação de bactérias ureolíticas do gênero *Bacillus*



Fonte: Adaptado de Wong (2015)

A precipitação de carbonato deve, teoricamente, ocorrer em ambientes naturais pelo aumento da concentração de cálcio e/ou carbonato em solução ou pelo

decaimento da solubilidade de cálcio e/ou carbonatos. A precipitação de calcita pode ocorrer abioticamente pela evaporação ou variação na temperatura ou pressão, ou bioticamente pela ação de microrganismos (WHIFFIN, 2004).

Bactérias com potencial ureolítico tem a capacidade de precipitar o carbonato de cálcio pela produção da enzima de urease, esta enzima é responsável por catalisar a hidrólise da ureia em CO_2 e amônia, resultando no aumento do pH e de concentração de carbonato no ambiente bacteriano. Quando estas bactérias entram em contato com um ambiente rico em cálcio a precipitação se forma em um mineral de estrutura definida, carbonato de cálcio na forma de calcita. (SIDDIQUE; CHAHAL, 2011).

Pesquisas desenvolvidas por Abo-El-Enein et al. (2012) e Reddy et al. (2011) comprovam o aumento de resistência a compressão da argamassa em até 33%, utilizando a precipitação de carbonato de cálcio na matriz da argamassa. Estes autores usaram o microrganismo como um adicional na argamassa convencional, constituida de cimento, cal e areia.

Um dos problemas enfrentados por pesquisadores, que buscam obter biocimentação em materiais cimentícios, é o uso dos microrganismos, pois os mesmos se utilizados de forma líquida possuem um tempo de vida curto. O presente trabalho trás a biomassa como coadjuvante principal para esse estudo, composta de material organico e esporos de microrganismos, a qual pode ser armazenada e utilizada posteriormente.

Este estudo buscou analisar os efeitos da utilização de microrganismos do genero bacillus nas propriedades da argamassa, sem a utilização de cimento Portland, utilizando o potencial ligante proveniente da precicitação de cálcio das bactérias, acrescida de material pozolânico e cal hidráulica. A bioargamassa produzida para este trabalho foi comparada apenas com argamassa feita com os mesmos materiais da bioargamassa, excluindo a solução bacteriana. Os prismas de argamassa e bioargamassa foram submetidos a testes de resistência a compressão e tração na flexão aos 28 dias.

2 MATERIAIS

Os materiais utilizados para o estudo foram sílica de casca de arroz, metacaulim, pó de ágata, calcário calcítico, cal hidráulica, areia e a bactéria *Sporosarcina pasteurii*. Para a produção da biomassa utilizou-se como matéria organica a ervilhaca, e para a revitalização da biomassa utilizou-se a ureia fertilizante. As principais características dos materiais empregados são descritos na tabela 1, onde apresenta-se as suas principais características químicas, obtidas por meio de ensaios de fluorescencia de raio X (FRX), análises de laboratório e informações de fabricantes.

a) Sílica de casca de arroz: cinzas provenientes da queima da casca de arroz. Esta queima é feita a céu aberto, em fornalhas e também em fornos com controle de temperatura. Vale ressaltar que a temperatura da queima influencia na sílica contida na amostra. Tais teores variam entre 90% e 95% da silica, como produto final obtem-se um material leve que dispõem grande potencial pozolânico.
b) Metacaulim: produto da calcinação e moagem de argilominerais cauliníticos. Constitui um tipo de pozolana formada essencialmente por partículas lamelares com estrutura predominantemente não cristalina (ABNT NBR 15984). O metacaulim é constituído basicamente de sílica (SiO) e alumina (Al_2O_3) na fase amorfa, a qual é

capaz de reagir com o hidróxido de cálcio Ca(OH) gerado durante a hidratação do cimento Portland.

c) Pó de ágata: Resíduo proveniente do beneficiamento das ágatas, composto por sílica (SiO) microcristalina com características similares a dos silicatos com potencial pozolânico.

d) Calcário Calcítico: Calcário com maior concentração de óxido de cálcio (CaO) e baixo teor de óxido de magnésio (MgO), indicado para a correção do solo que possui alta deficiência em cálcio. Material utilizado como fonte de cálcio na ativação dos microrganismos para o processo de precipitação de carbonato de cálcio.

e) Cal hidráulica: A cal é um ligante utilizado a muitos anos na construção civil, com grande sucesso. A cal hidráulica se destingue das demais por possuir um certo grau de hidraulicidade, além de conferir mais resistencia mecânica que as demais.

f) Areia: agregado miúdo, de classificação média, proveniente do Rio Guaíba. Por ser considerado um material inerte, não foi realizado ensaios de caraterização química.

g) *Sporosarcina pasteurii*: bactéria do gênero bacillus (CCT 0538 ATCC 11859) é um microrganismo produtor de urease, desta forma agente precipitador de calcite. Responsável pelo processo da precipitação de carbonato de cálcio, o qual é induzida apartir de condições ambientais adequadas. Suportando vida em ambientes altamentes alcalinos e classificada com gram-positiva, esta bactéria tem a capacidade de segregar grandes volumes da enzima urease (enzima responsável pela degradação da ureia em amônia e bicarbonato, o que diminui o pH do local em que está presente e favorece a sua proliferação).

h) Ervilhaca: A ervilhaca comum (*Vicia sativa. L*) é uma leguminosa anual de verão, cultivada nas regiões do sul do Brasil, esta planta tem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico (N2), desta forma, uma excelente matéria orgânica capaz de conservar microrganismos que possuem a característica de esporolar, ou seja, quando da falta de água se protegem criando esporos (forma latente de alguns micorganismos, como por exemplo os bacillus).

i) Ureia fertilizante: É o fertilizante sólido de maior concentração de Nitrogênio, e por isso, é um tipo de composto que tem como principal função fornecer esse elemento para as plantas.

Tabela 1 – Materiais e suas principais características químicas

Material	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**SO_3**	**MgO**	**CaO**	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**
	Concentração em %								
Sílica casca arroz	93,97	1,14	0,07	0,09	0,80	0,69	-	-	-
Metacaulim	55,64	37,04	2,24	0,08	1,00	0,12	-	-	-
Pó de ágata	92,05	3,63	1,72	-	0,60	0,86	-	-	-
Cal hidráulica*	64,62				17,99	29,04	-	-	-
Calcário Calcítico	10,52	4,43	3,32	0,18	2,10	77,29	-	-	-
Ervilhaca	-	-	-	-	-	-	3,21	2,61	4,79
Ureia*	-	-	-	-	-	-	46,00	-	-

* Informações fornecidas pelo fabricante.

Fonte: os autores

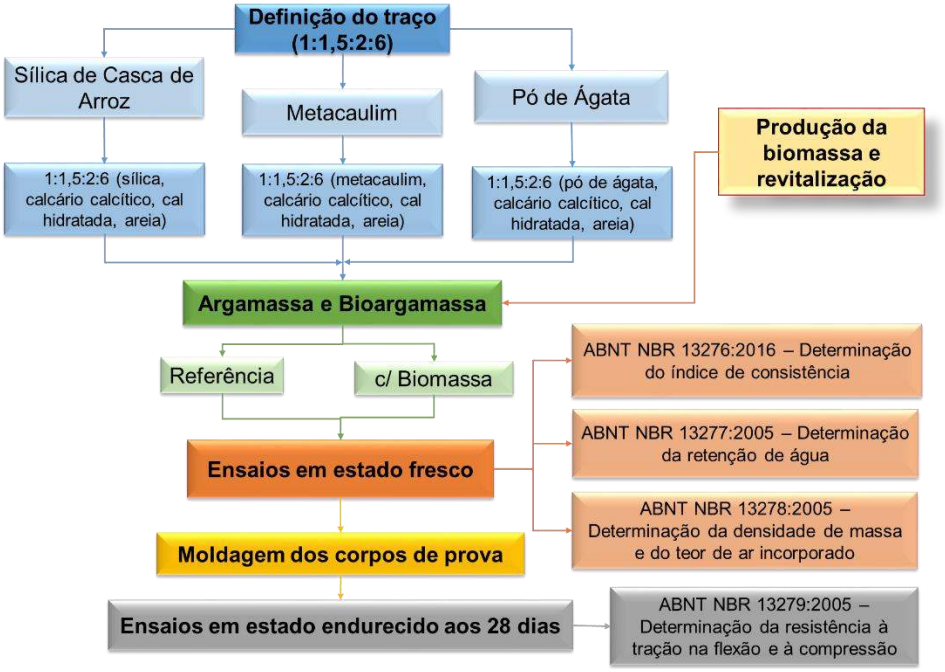
3 MÉTODO

Foram atribuídos ensaios para a verificação da capacidade de resistência a tração e compressão da argamassa e da bioargamassa, ambos sem a presença de

cimento. As amostras feitas com argamassa, sem adição de cimento, nem microrganismos, foi denominada referencia. O traço escolhido com características usuais em argamassa convencionais foi 1:1,5:2:6 (material pozolanico: calcário calcítico: cal hidraúlica: areia).

O método experimental consistiu nas etapas descritas no fluxograma da Figura 2 e, na Tabela 2 encontra-se os materiais utilizados, em peso, representando o traço definido.

Figura 2 – Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: Os autores

Tabela 2 – Quantitativo de materiais usados no estudo (Traço 1:1,5:2:6)*

Amostra	Material pozolânico (g)			Demais materiais (g)				
	Sílica casca arroz	Metacaulin	Pó ágata	Calcário calcítico	Cal hidraulica	Areia	Água	Solução bacteriana revitalizada
Referencia	75	-	-	450	600	1650	291,40	-
	-	75	-	525	300	1800	267,85	-
	-	-	225	450	600	1575	294,50	-
c/ Biomassa	75	-	-	450	600	1650	-	291,40
	-	75	-	525	300	1800	-	267,85
	-	-	225	450	600	1575	-	294,50

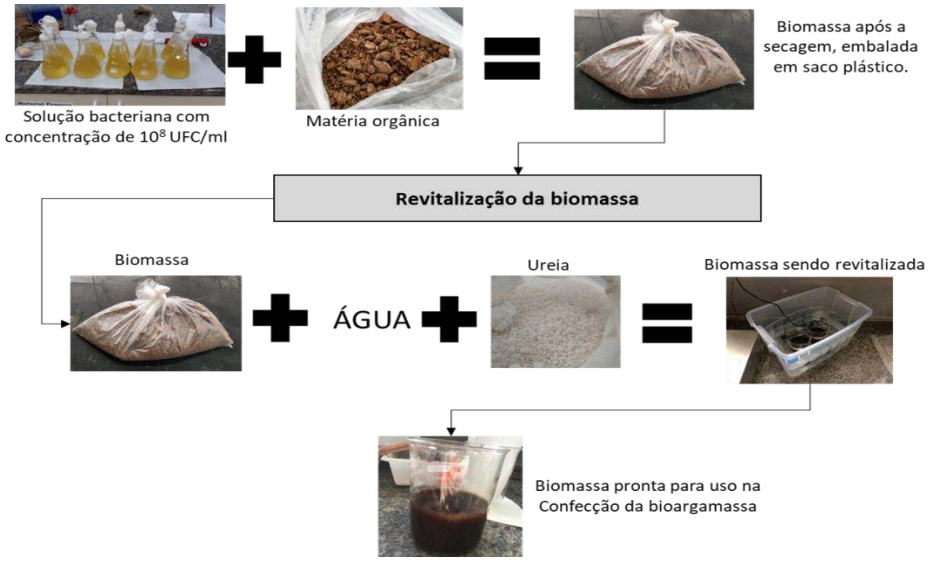
* Quantitativo para cada forma de corpo de prova, com três moldes prismáticos

Fonte: os autores

Pada cada material pozolânico utilizado confeccionou-se seis amostras de argamassa (referencia) e seis de bioargamassa (com microrganismo).

O uso da bactéria na confecção da bioargamassa é feita apartir de uma biomassa, composta de matéria orgânica e esporos de *Sporosarcina pasteurii* (CCT 0538 ATCC 11859) secos em temperatura ambiente, embalados e armazenados, que quando da utilização é revitalizada em banho maria por aproximadamente 2 horas, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma das etapas de produção e revitalização da biomassa



Fonte: Os autores

4 RESULTADOS

Os ensaios com o traço 1:1,5:2:6 (material pozolânico, calcário calcítico, cal hidráulica e areia) foram realizados com a adição de biomassa revitalizada, com o microrganismo *Sporoscarcina pasteurii* (CCT 0538 ATCC 11859) e, sem a adição de microrganismos, denominados de referência. Estes ensaios foram realizados com os 3 materiais pozolânicos, separadamente (sílica de casca de arroz, metacaulim e pó de ágata), para cada ensaio foi feito amostra sem e com microrganismo, sendo a sem denominada referencia.

No ensaio de índice de consistência, tanto para a argamassa (referencia) quanto para a bioargamassa foi adicionada água para obter um índice dentro do limite de 260 mm ± 5 mm. Para o ensaio de retenção de água a média das amostras ficou entre 95 e 97 %. Os ensaios de densidade de massa e teor de ar incorporado, obteve-se resultados variando entre 1984,00 a 2108,00 kg/m³ e 82 a 85 %, respectivamente.

Os corpos de prova confeccionados com os materiais pozolânicos estudados são mostrados na Figura 4. Os resultados obtidos para resistência a tração e compressão encontram-se nas Figuras 5 e 6.

Figura 4 – Corpos de prova em estado endurecido. (a) Pó de Ágata; (b) Sílica de Casca de Arroz; (c) Metacaulim



(a) (b) (c)

Fonte: Os autores

Figura 5 – resistência à tração

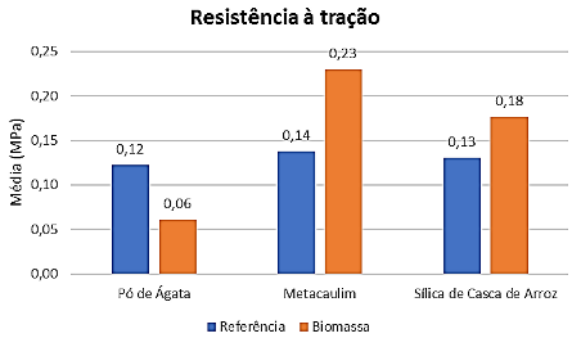
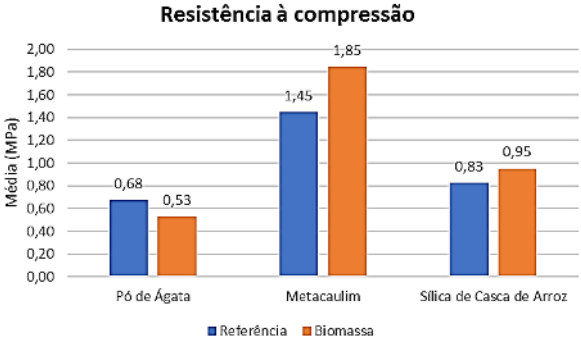


Figura 6 – Resistência à compressão



Fonte: Os autores

Levando em consideração os resultados obtidos nos ensaios, o Pó de Ágata obteve seus resultados de referência maiores, sendo o dobro na tração e de 28,3% a mais na compressão. Já, o metacaulim e a Sílica de Casca de Arroz, obtiveram melhores resultados quando se utilizou a biomassa. No entanto, entre os dois materiais o metacaulim sobressaiu a Sílica de Casca de Arroz nas moldagens com biomassa, havendo um aumento de 27,8% nos resultados de tração e de 94,7% na compressão. Sendo assim, observou-se que dentre os três materiais utilizados, somente o Pó de Ágata não apresentou bons resultados quando teve da adição dos microrganismos.

5 CONCLUSÕES

Observando-se as características químicas dos materiais pozolânicos, tanto o pó de ágata quanto a sílica de casca de arroz, possuem altos percentuais de sílica, e percentuais de carbonato de cálcio parecidos, o fato de as amostras com pó de ágata apresentarem valores inversos aos demais, provavelmente ocorreu erro na confecção da amostra, como na revitalização da biomassa, que poderia ser a não ativação dos microrganismos, ou na dosagem dos materiais. Fato este que deve ser investigado posteriormente.

O metacaulim, tanto na resistência a tração, como na compressão, obteve bons resultados com a adição dos microrganismos, o que demonstra um bom potencial de utilização deste material como material ligante associado aos microrganismos.

Este estudo faz parte de uma pesquisa maior, e que carece ainda de outras investigações, como análise da microestrutura utilizando Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e Fluorescência de Raio X, das amostras secas, para comprovação do aumento da produção de calcita pela adição de microrganismos.

REFERÊNCIAS

ABO-EL-ENEIN, S. A. et al. Application of microbial biocementation to improve the physico-mechanical properties of cement mortar. **HBRC Journal**, Cairo, v. 9, n. 1, p. 36-40, 12 February 2012. ISSN 1687-4048. Disponivel em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687404812000260?via%3Dihub#!>. Acesso em: 17 mar. 2018. Doi: https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2012.10.004.

ACHAL, Varenyam; MUKERJEE, Abhijeet. A review of microbial Precipitation for sustainable construction. **Construction and Building Materials**. Vol. 93, may 2015, pg. 1224-1235. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.051. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815005000>. Acesso em: 24 jun. 2016.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ALSHALIF, A., F. et al. Carbon Dioxide (CO2) Sequestration In BioConcrete, An Overview, **MATEC Web of Conferences**, n. 103, 2016. Disponível em: <https://www.matecconferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/17/matecconf_iscee2017_05016.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2018. Doi: 10.1051/matecconf/20171030

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil**. 5. ed. Brasília, 2020. Disponível em: <https://issuu.com/mctic/docs>. Acesso em 06 set. 2020.

REDDY , V. S. et al. Strength Enhancement of Cement Mortar using Microorganisms - An Experimental Study. **International Journal of Earth Sciences and Engineering**, India, v. 04, n. 06, p. 933-936, October 2011. ISSN 0974-5904. Disponivel em: <https://www.researchgate.net/publication/268329038_Strength_Enhancement_of_Cement_Mortar_using_Microorganisms_-An_Experimental_Study >. Acesso em: 16 mar. 2018.

SIDDIQUE, R.; CHAHAL, N. K. Effect of ureolytic bacteria on concrete properties. **Construction and Building Materials**, Patiala, v. 25, n. 10, p. 3791-3801, 11 April 2011. ISSN 0950-0618 Disponivel em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811001504?via%3Dihub>. Acesso em: 17 mar. 2018. Doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.010.

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.

VERMA, R. K. et al. Bio-Mineralization and Bacterial Carbonate Precipitation in Mortar and Concrete. **Public Science Frameword**, Roorkee, v. 1, n. 1, p. 5-11, 4 April 2015. Disponivel em: <http://www.publicscienceframework.org/journal/allissues/bio.html>. Acesso em: 22 mar. 2018.

WIFFIN, Victoria S.. **Microbial $CaCO_3$ precipitation for the production of biocement**. Tese de doutorado. School of Biological Sciences & Biotechnology. Murdoch University. Western Australia. 2004. 162 pg. Disponível em: <http://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/399/>. Acesso em: 01 ago. 2016.

WONG, Leong Sing. Microbial cementation of ureolytic bacteria from the genus *Bacillus*: a review of the bacterial application on cement-based materials for cleaner production. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 93, 15 abr. 2015, pg. 5-17, doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615000232>. Acesso em: 30 mar. 2016.