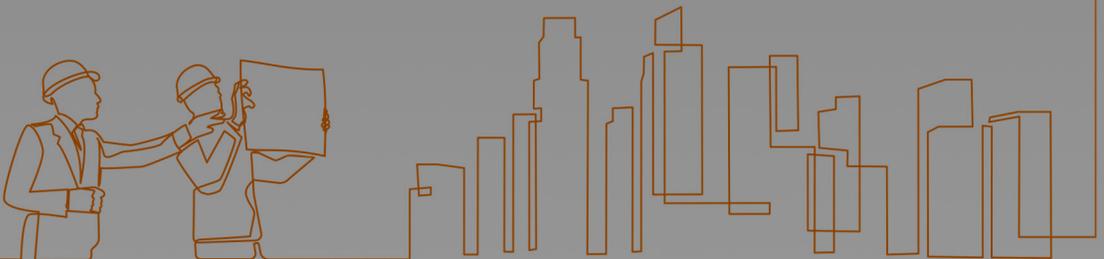


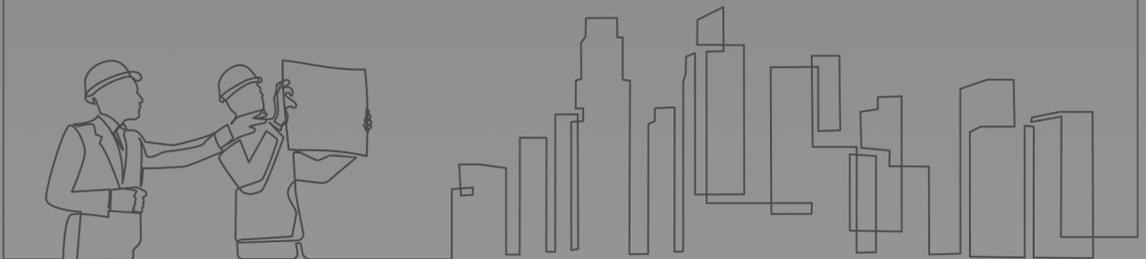
# TECNOLOGIA EM MATERIAIS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

**Edna Alves Oliveira  
Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco  
(Organizadores)**



# TECNOLOGIA EM MATERIAIS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

**Edna Alves Oliveira  
Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco  
(Organizadores)**



**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

## **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

## **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

## Tecnologia em materiais e processos construtivos

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Natália Sandrini de Azevedo  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Edna Alves Oliveira  
Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T255 Tecnologia em materiais e processos construtivos /  
Organizadores Edna Alves Oliveira, Luiz Antônio  
Melgaço Nunes Branco. – Ponta Grossa - PR: Atena,  
2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-589-1

DOI 10.22533/at.ed.891201811

1. Tecnologia. 2. Materiais e processos construtivos. I.  
Oliveira, Edna Alves (Organizadora). II. Branco, Luiz Antônio  
Melgaço Nunes (Organizador). III. Título.

CDD 601

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos.

## APRESENTAÇÃO

O homem sempre buscou na natureza, esse rico conjunto de elementos envolvendo mares, rios, lagos, terras, flora e fauna, sua capacidade de sobrevivência. Primitivamente caçando e coletando, vivendo no nomadismo até o surgimento das primeiras comunidades, quando sua capacidade e habilidades lhe permitiram perceber que não havia mais necessidade de tantos deslocamentos. A ideia de recurso como insumo estava clara. Havia abundância de materiais e com adequação ferramental a vida evoluía. Era o início de conquistas e realizações na área do conhecimento humano. Ocorriam, portanto, os primeiros passos no campo da experimentação científica, fato que permitiu, ao longo do tempo, a expansão da visão de mundo, bem como o domínio e controle cada vez mais maior dentro de uma vida já em sociedade.

Dentre as várias áreas do saber que evoluíram desde então, surge a engenharia como uma grande aplicadora desse conhecimento, transformando os recursos naturais ou gerando bens que são necessários e largamente utilizados para o desenvolvimento tecnológico. Dessa forma, a técnica, a metodologia e a instrumentação no mundo são uma constante e embasam toda a vida humana contemporânea. E tomada, então, como referencial, a tecnologia requer um olhar atento sobre o qual o trabalho repousa. Atualmente, o método científico tende a ser dominante e hegemônico, caracterizando-se por uma ciência experimental, por isso, a instrumentação e a medição são formas de garantir a confiabilidade de resultados. Para tal e perante tantas possibilidades de materiais, técnicas e ensaios, é necessário aprender a lidar com o novo que emerge a cada momento. Um dos paradigmas da educação que se aplica, nesse caso, é a formação de profissionais sobretudo na área tecnológica não apenas dotando-os de elementos técnicos para dominar uma realidade, mas permitindo-lhes compreender o significado e tendências dessa mesma realidade.

Nesse sentido, esta publicação é uma modesta contribuição a esse processo de formação e todos capítulos são oriundos de atividades de pesquisas desenvolvidas e conduzidas diretamente pelos autores.

Os organizadores desejam expressar agradecimentos a todos que graciosamente se dispuseram a colaborar nesta publicação e esperam que a leitura possa ser enriquecedora e fonte de inspiração.

Edna Alves Oliveira

Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco

Belo Horizonte, agosto/2020

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE UMA HABITAÇÃO POR MEIO DE TRÊS MÉTODOS CONSTRUTIVOS**

Cynara Fiedler Bremer  
Mariana Tonini de Araujo

**DOI 10.22533/at.ed.8912018111**

### **CAPÍTULO 2..... 15**

#### **AVALIAÇÃO DA MICROESTRUTURA E DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE BACTÉRIAS DO GÊNERO BACILLUS SUBTILIS**

Gláucia Nolasco de Almeida Mello  
Samuel Ângelo Santiago

**DOI 10.22533/at.ed.8912018112**

### **CAPÍTULO 3..... 27**

#### **COMPORTAMENTO AO CISALHAMENTO DE MINI PAREDES EXECUTADAS COM BLOCOS ENCAIXÁVEIS DE SOLO CIMENTO**

Juliana Moreira Senna Guimarães  
Edna Alves Oliveira  
João Batista Santos de Assis

**DOI 10.22533/at.ed.8912018113**

### **CAPÍTULO 4..... 46**

#### **ESTUDOS DE IMPLANTAÇÃO DE COBERTURAS VERDES EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE**

Adriano de Paula e Silva  
Cristiane Machado Parisi Jonov  
Priscila Salvador Santos

**DOI 10.22533/at.ed.8912018114**

### **CAPÍTULO 5..... 65**

#### **PLANEJAMENTO DE CRONOGRAMAS FÍSICO FINANCEIROS UTILIZANDO LINHA DE BALANÇO E TECNOLOGIA BIM**

Danielle Meireles de Oliveira  
Sidnea Eliane Campos Ribeiro  
Aldo Giuntini de Magalhães  
Sérgio Geraldo dos Reis Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.8912018115**

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>75</b>
POSSIBILIDADE DE PRODUÇÃO DE ARGAMASSA E CONCRETO COM RESÍDUOS DE MARMORES E GRANITOS	
Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco	
André Ricardo de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8912018116</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>88</b>
TIJOLITO – SISTEMA AG CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA	
João Batista Santos de Assis	
Juliana Senna Guimarães	
Rúbia Nunes Vieira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8912018117</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>101</b>
VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS MISTOS EM CONCRETO E BLOCO CERÂMICO PARA VEDAÇÃO	
Jamile Salim Fuina	
Bernardo Caetano Chaves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8912018118</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>117</b>

## AVALIAÇÃO DA MICROESTRUTURA E DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE BACTÉRIAS DO GÊNERO *BACILLUS SUBTILIS*

**Gláucia Nolasco de Almeida Mello**

Profa. Dra. Pontifícia Universidade Católica de  
Minas Gerais  
gnamello@pucminas.br

**Samuel Ângelo Santiago**

Eng. Civil - Pontifícia Universidade Católica de  
Minas Gerais  
samuel.ssantiago@hotmail.com

**RESUMO:** Por ser um material frágil, o concreto sempre está propenso ao surgimento de fissuras e microfissuras que podem prejudicar a integridade da estrutura, pois, comprometem significativamente a sua resistência e a sua durabilidade. Uma alternativa para a cicatrização das microfissuras é a incorporação de bactérias ao concreto. Esta pesquisa apresenta um processo metodológico para a incorporação de bactérias do gênero *Bacillus Subtilis* ao concreto, verificando-se a sobrevivência ao longo do tempo e a influência da presença destas na resistência à compressão do concreto. Para esta investigação, o agregado graúdo do concreto foi parcialmente substituído por argila expandida impregnada com bactérias do gênero *Bacillus Subtilis* por meio de imersão em solução com probiótico. Os corpos de provas de concreto com e sem incorporação de bactérias foram analisados no MEV aos 58 e 263 dias. Em ambas as idades foi identificada a presença das bactérias e indícios de precipitação de carbonato de cálcio. Também foi constatada maior resistência à compressão dos corpos de prova da amostra de concreto com bactéria impregnada na argila expandida que na amostra de concreto sem bactéria impregnada.

**PALAVRAS-CHAVE:** concreto, fissuração, incorporação de bactérias

### EVALUATION OF MICROSTRUCTURE AND RESISTANCE TO COMPRESSION OF CONCRETE WITH BACTERIA *BACILLUS SUBTILIS* INCORPORATION

**ABSTRACT:** Because it is a fragile material, concrete is always prone to the appearance of cracks and microcracks that can damage the integrity of the structure, once they significantly compromise its strength and durability. An alternative for the healing of microcracks is bacteria incorporation into the concrete. This research presents a methodological process for the incorporation of bacteria *Bacillus Subtilis* into concrete, verifying survival over time and their influence on the compressive strength of concrete. Here, the coarse aggregate of the concrete was partially replaced by expanded clay impregnated with bacteria by immersion in solution with probiotic. The concrete specimens with and without the incorporation of bacteria were analyzed in the SEM at 58 and 263 days. At both ages, the presence of bacteria and evidence of calcium carbonate precipitation were identified. It was also verified greater resistance to compression of the specimens of the concrete sample with bacteria impregnated in the expanded clay than in the concrete sample without bacteria impregnated.

**KEYWORDS:** concrete, cracks, bacteria incorporation

## 1 | INTRODUÇÃO

Os principais motivos que tornam o concreto o material construtivo mais utilizado em todo o mundo são: o custo relativamente baixo, quando comparado a outros materiais; a facilidade de execução; a boa durabilidade; a flexibilidade de execução em diversas formas geométricas e, a sua alta resistência a compressão. Contudo, o concreto é um material frágil devido à sua propensão ao surgimento de fissuras (Schwantes-Cezario, et al., 2018; Joshi, Goyal, Mukherjee, & Reddy, 2019). Enquanto as fissuras mais largas podem prejudicar a integridade da estrutura, as microfissuras (menores que 0,2 mm) são geralmente consideradas não problemáticas. Contudo, as microfissuras podem comprometer significativamente a resistência do concreto e sua durabilidade uma vez que facilitam a penetração de substâncias líquidas ou gasosas (água, sulfatos, cloretos etc.) que, quando interagem quimicamente com os produtos de hidratação do concreto, provocam severos processos de degradação (Nguyen, Ghorbel, Fares, & Cousture, 2019; Joshi et al., 2019). As razões para a ocorrência de fissuras nas estruturas de concreto podem ter diversas causas, tais como: ações diretas, deformações impostas à estrutura, retração e fluência, corrosão das armaduras, processo de gelo e degelo etc. Independentemente do tratamento dado às causas do surgimento de fissuras no concreto, estas precisam ser seladas ou colmatadas. Um procedimento tradicional para a colmatação das fissuras é a injeção de nata de cimento, graute ou resinas epóxi. Contudo, visando garantir a durabilidade e melhorar o desempenho das estruturas de concreto armado, vários estudos (Jonkers & Schlangen, 2007; Joshi, Kumthekar, & Ghodake, 2016; Schwantes-Cezario, et al., 2018; Nguyen et al., 2019; Joshi et al., 2019) estão sendo realizados com objetivo de incorporar, ao concreto, micro-organismos que propiciem a autocicatrização das fissuras e microfissuras. Assim, o potencial das bactérias como agentes de autocura para fissuras tem sido objeto de investigações. Tais bactérias são formadoras de esporos resistentes a álcalis e pertencentes a um grupo específico, relacionadas ao gênero *Bacillus* (Jonkers, Thijssen, Muyzer, Copuroglu, & Schlangen, 2010; Tittelboom, Gruyaert, Rahier, & De Belie, 2012; Joshi, Kumthekar, & Ghodake, 2016; Nain, et al., 2019).

Alguns gêneros de bactérias, quando submetidas a condições ambientais que ameaçam a sua sobrevivência, como escassez de nutrientes ou de água, são capazes de formar estruturas denominadas esporos, a esse processo dá-se o nome esporulação. Os esporos bacterianos são células especializadas que podem resistir a estresses mecânicos e químicos extremos e podem permanecer vivos por até 200 anos (Schlagen, 1993 como citado em Jonkers & Schlangen, 2007). Na autocicatrização, os esporos bacterianos ficam inativos na matriz do concreto durante sua vida útil e poderão ser reativados com a presença da água. Esse procedimento promove precipitação do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), o que propicia a vedação das aberturas (Jonkers & Schlangen, 2007).

As bactérias do gênero *Bacillus Subtilis* que são bactérias que possuem a forma de bastonetes e são gram-positivas. Normalmente são encontradas na vegetação ou no solo e se mantêm vivas a temperaturas entre 25 a 35 °C, aproximadamente. As *Bacillus Subtilis* não são um tipo de bactéria patogênica e, portanto, podem ser utilizadas para a autocicatrização do concreto sem prejuízo para a saúde humana (Joshi, Kumthekar, & Ghodake, 2016). O concreto possui pH elevado, geralmente trabalha sob alta pressão e

apresenta um ambiente escasso de nutrientes, portanto, é considerado um ambiente hostil para as bactérias comuns, mas não para as do gênero *Bacillus Subtilis*, que são capazes de sobreviver em condições extremas (Nguyen et al., 2019; Nain et al., 2019).

Quando despertadas, as bactérias necessitarão de um substrato que possa ser convertido metabolicamente para  $\text{CaCO}_3$ , neste caso, o lactato de cálcio que será introduzido na matriz do concreto. Por esse motivo, além de esporos bacterianos, substratos adicionais foram testados para verificar a compatibilidade destes com o concreto (Jonkers & Schlangen, 2007). Para definir o melhor nutriente para a bactéria, que não interferisse na resistência do concreto, Jonkers et al. (2010) adicionaram alguns compostos orgânicos à pasta de cimento, tais como: acetato de cálcio, lactato de cálcio, peptona e extrato de levedura. Dentre os compostos testados, o que apresentou melhor rendimento e resultado no que diz respeito à resistência à compressão, foi o lactato de cálcio, superando a amostra de controle.

O lactato de cálcio serve de fonte de energia e sobrevivência para a bactéria *Bacillus Subtilis* e a interação entre eles produz um composto homogêneo ( $\text{CaC}_6\text{H}_{10}\text{O}_6$ ). O composto  $\text{CaC}_6\text{H}_{10}\text{O}_6$ , no estado sólido, reage com o oxigênio ( $\text{O}_2$ ) no interior da fissura, produzindo carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), no estado sólido, gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Após essa reação, os produtos se tornam reagentes, sendo que o gás carbônico reage com hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) presente na pasta do cimento, formando mais carbonato de cálcio sólido e água (Nguyen et al., 2019).

## 2 I PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Esta investigação baseou-se na metodologia de Mors e Jonkers (2013) para o encapsulamento das bactérias em argila expandida. A escolha dos produtos utilizados (probiótico, lactato de cálcio e ureia) também foi baseada nas recomendações dos trabalhos de Mors e Jonkers (2013) e Jonkers et al. (2010). Para a verificação da presença de bactérias no probiótico, estas foram impregnadas em vermiculita e o composto foi observado posteriormente.

### 2.1 Definição dos Traços

O traço, tomado em massa, escolhido para a confecção dos corpos de prova foi de 1 quilo de cimento para 3,38 quilos de areia, 1,44 quilos de brita e uma relação de água/cimento de 0,5, que pode ser expresso da seguinte forma: 1:3,38:1,44:0,5. No trabalho de referência de Mors e Jonkers (2013) não foi citada a resistência esperada do concreto para o traço adotado. É importante salientar que, devido à diferença natural dos materiais utilizados pelos autores e o que foi utilizado nesse trabalho, não é possível equiparar a resistência esperada. Esse traço foi alterado substituindo-se 30% do agregado graúdo por argila expandida. Alguns corpos de prova foram confeccionados com argila expandida impregnada com solução bacteriana e outros sem a impregnação da solução bacteriana, observar os traços no Quadro 1.

Traço	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	Argila impregnada com bactéria (kg)	Argila sem bactéria (Kg)	Água / Cimento
1	1	3,38	1,008	0,432	0	0,5
2	1	3,38	1,008	0	0,432	0,5

Quadro 1 - Traços determinados

Fonte: Autores (2018).

## 2.2 Produtos e Testes Preliminares

Ao invés de desenvolver a cultura da bactéria em laboratório para posteriormente utilizá-la no concreto, buscou-se no mercado um produto que as continha. O produto utilizado foi um probiótico de classe Fungicida Bactericida Microbiológico, com eficiência agrônômica comprovada para o cultivo de alface, cenoura, maçã, morango e uva, à base da bactéria *Bacillus Subtilis* QST 713, na concentração 13,68g/l, chamado Serenade, do fabricante Bayer de Mexico S.A.

Para comprovar a existência das bactérias *Bacillus Subtilis* no probiótico Serenade, foi realizado um teste preliminar com impregnação da bactéria em partículas de vermiculita. A vermiculita é um silicato hidratado de ferro, alumínio e magnésio com as seguintes características: alta porosidade, baixa densidade e alta capacidade de absorção e adsorção (Ugarte, Sampaio & França, 2008). Essas características se assemelham bastante a argila expandida por isso é possível a sua utilização para a comprovação da presença das bactérias. A vermiculita tem a capacidade de se expandir, e quando encontrada nessa situação, se torna quimicamente ativa e biologicamente inerte (Ugarte, Sampaio & França, 2008).

O procedimento adotado para a verificação da existência de bactéria no probiótico segue os seguintes passos: (i) aquecer 800 ml de água próximo ao estado de ebulição para melhor dissolução dos nutrientes a serem adicionados junto com o probiótico; (ii) deixar a água esfriar por 10 minutos, controlando a temperatura; (iii) adicionar 2 g de ureia e misturar constantemente até a sua completa dissolução; (iv) adicionar 6 g de lactado de cálcio e misturar até sua completa dissolução; (v) dessa solução, retirar 20 ml e logo em seguida adicionar 8 ml do produto Serenade, resultando em uma solução bacteriana com ureia e lactato de cálcio de 28 ml; (vi) homogeneizar essa solução, misturando de forma constante; (vii) adicionar, gradualmente, 8 g de vermiculita, até a mistura apresentar um aspecto pastoso. Nesta pesquisa, a amostra de vermiculita impregnada com bactérias permaneceu em repouso por 12 dias.

Para a confecção dos corpos de prova optou-se pela argila expandida da Cinexpan, tipo 0500, de densidade aparente 850 kg/m<sup>3</sup>, conforme manual do fornecedor. Esta foi separada dentro da faixa granulométrica pretendida entre o agregado miúdo (areia industrial) e o agregado graúdo (brita 0). Foi realizado o ensaio granulométrico de toda a argila, e foi utilizado o material retido entre as peneiras 1,18 mm e 4,75 mm, visto que a argila continha muitos finos em sua composição, o que afetaria a resistência final do concreto e não havia, na referência consultada, nenhum relato de imersão da bactéria em materiais finos. Após o peneiramento foi realizada a separação da argila que se encontrava nas granulometrias definidas como ideais para a pesquisa, ou seja, entre 1,18 mm e 4,75 mm.

## 2.3 Impregnação das Bactérias

De acordo com a bibliografia consultada, há dois métodos para adicionar as bactérias à mistura de concreto, o primeiro consiste na incorporação da solução contendo bactérias na água utilizada para a preparação do concreto (Ghosh, Mandala, Chattopadhyay, & Pal, 2005; Schwantes-Cezario et al., 2018; Nain et al., 2019). O segundo método é o encapsulamento das bactérias em argila expandida que posteriormente são adicionadas à mistura do concreto (Jonkers, 2011; Mors & Jonkers, 2013).

As bactérias são muito sensíveis, principalmente à variação de temperatura, pH baixo e desgaste mecânico devido à rotação da betoneira. Por isso, se ela não estiver acondicionada em um local onde permaneça inerte, ela pode morrer durante o processo. Sendo assim, adotou-se a metodologia de impregnação em argila expandida conforme proposto por Mors e Jonkers (2013).

As etapas do procedimento adotado para a incorporação das bactérias na argila expandida são: (i) aquecer 3 litros de água à 80°C que; (ii) deixar esfriar, controlando a temperatura até 30° aproximadamente; (iii) adicionar 4 g de ureia e misturar à água até dissolver; (iv) adicionar 96 g de lactato de cálcio e misturar até a dissolução completa; (v) adicionar 750 ml do probiótico Serenade, homogeneizar a solução, esperar 2 minutos para a estabilização; (vi) imergir 4 kg de argila expandida na solução e deixar em repouso por 24 horas para que seja realizado o processo de impregnação da bactéria dentro da argila expandida.

Nesta investigação, após as 24 horas, decorrido o processo de impregnação da bactéria, a argila foi retirada com cuidado do recipiente com o auxílio de uma peneira para eliminar o excesso de líquido. A argila expandida foi pesada e levada ao laboratório de tecnologia mineral do SENAI/FIEMG, no qual permaneceu em estufa por 8 dias a uma temperatura constante de 37 °C. Este processo foi realizado para que a bactéria terminasse seu processo de estabilização na argila até que ficasse totalmente inerte no agregado utilizado.

## 2.4 Confecção dos Corpos de Prova

Considerando os traços escolhidos, foram calculados os quantitativos dos materiais necessários para a moldagem de todos os corpos de prova. Foram adotados os pesos específicos fornecidos pelos fabricantes dos materiais adquiridos. O quantitativo de cada material utilizado está apresentado no Quadro 2.

Para a produção dos corpos de prova, os seguintes materiais foram utilizados: Cimento Portland CP IV-32 RS pega rápida, areia industrializada e brita 0 (agregado miúdo), água potável, partículas de argila expandida com diâmetro entre 1,18 a 4,75 mm, seguindo-se as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2015). As partículas de argila expandida, sem a impregnação bacteriana, foram saturadas com água, por 30 minutos, antes de serem inseridas na betoneira, pois sua alta taxa de absorção de água poderia afetar a hidratação da pasta de cimento. Além disso, a ausência de saturação pode causar a flutuação dessas partículas no concreto fresco.

Material	Traço concreto sem bactéria	Traço concreto com bactéria
Cimento CP II-Z 32	8,90 Kg	8,90 Kg
Areia fina	30,082 Kg	30,082 Kg
Brita 0	8,97 Kg	8,97 Kg
Água	4,45 L	4,45 L
Argila expandida	3,84 Kg	3,84 Kg

Quadro 2 - Quantitativos de materiais

Fonte: Autores (2018)

Foram moldados 3 corpos de prova de 5 centímetros de diâmetro por 10 centímetros de altura (5 cm x 10 cm) e 6 corpos de prova de 10 centímetros de diâmetro por 20 centímetros de altura (10 cm x 20 cm) para cada um dos traços apresentados no Quadro 2, totalizando 18 corpos de prova. Os cilindros menores (5 cm x 10 cm) foram utilizados nas análises visuais no microscópio eletrônico de varredura (MEV) e no microscópico óptico. Já os cilindros maiores (10 cm x 20 cm) foram utilizados para caracterização mecânica da resistência à compressão.

## 2.5 Indução de Fissuras e Observação dos Corpos de Prova

Após 14 dias de cura em câmara úmida, um corpo de prova (5 cm x 10 cm) de cada traço foi levado à prensa manual onde foi aplicada força de compressão para induzir as fissuras. Os corpos de prova fissurados, de concreto com bactérias, foram umidificados diariamente até o dia da análise, com o objetivo de propiciar o desenvolvimento das reações que desencadeariam o processo de precipitação do carbonato de cálcio. Aos 58 dias, as fissuras foram observadas em um microscópio óptico da fabricante ZEISS, no laboratório de metalografia da PUC Minas com o objetivo de verificar indícios de precipitação de carbonato de cálcio próximo as fissuras superficiais. Desses mesmos corpos de prova de concreto com bactérias foram retirados alguns testemunhos, aos 58 e 263 dias, que foram examinados no MEV da fabricante JEOL JSM, do laboratório de microscopia da PUC Minas.

## 3 | RESULTADOS E ANÁLISE

Após 12 dias em repouso, houve aglutinamento em vários pontos da amostra de vermiculita impregnada com a solução bacteriana e disposta em condições de temperatura ambiente. O que permite supor que as bactérias são capazes de se desenvolver quando associadas ao lactato de cálcio e a ureia, mesmo em condições externas naturais. Além disso, para confirmar a presença ativa das bactérias na amostra, esta foi submetida à análise por meio de MEV.

As micrografias das análises da vermiculita impregnada utilizando-se o MEV estão apresentadas na Figura 1. A micrografia da Figura 1a (ampliação 550x) foi gerada aos 12 dias e a da Figura 1b (ampliação 1000x) aos 58 dias. A análise aos 58 dias após a impregnação foi realizada com o objetivo de verificar a capacidade de sobrevivência das

bactérias ao longo do tempo. Foi possível constatar a presença dos esporos bacterianos também nessa análise, conforme ilustrado na Figura 1b. Contudo, não foi realizada uma contagem da colônia então, não se pode afirmar ao certo se a quantidade de esporos variou durante o período avaliado.

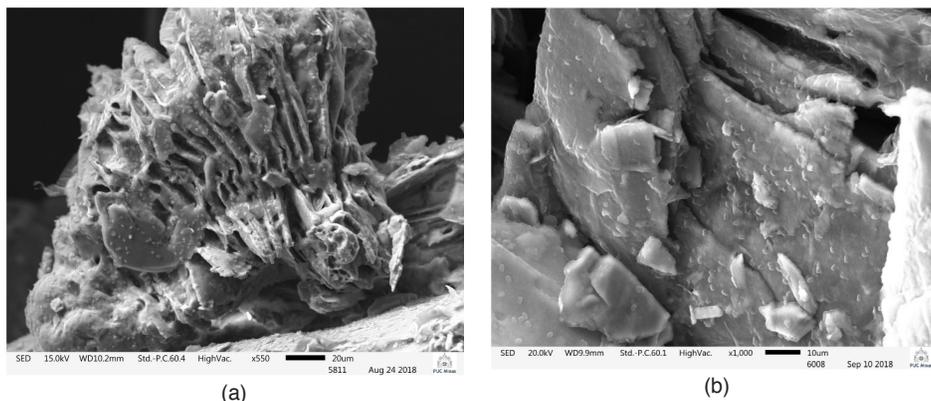


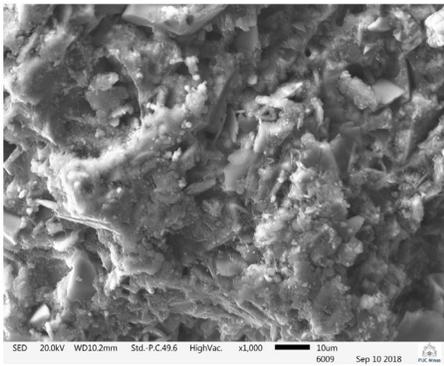
Figura 1 – Micrografias da vermiculita impregnada com solução bacteriana: (a) 12 dias após a impregnação e (b) 58 dias após a impregnação

Fonte: Autores (2018)

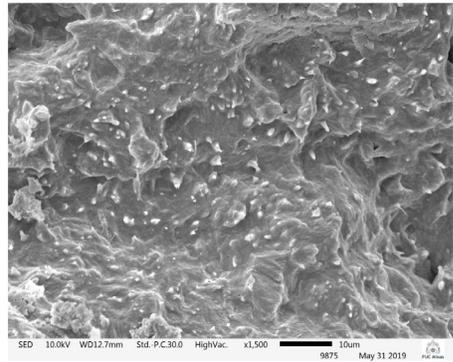
### 3.1 Verificação da Presença de Bactérias nos Testemunhos

Foram moldados corpos de prova de 5 centímetros de diâmetro por 10 centímetros de altura (5 cm x 10 cm) para as análises visuais no microscópio óptico e no MEV. Esses corpos de prova foram submetidos a um carregamento que seria suficiente para provocar-lhes algumas fissuras. Dos corpos de prova de concreto com bactéria, fissurados, foram retirados os testemunhos para as análises em ambos os microscópios.

Foi obtida a micrografia por meio do microscópio óptico, aos 58 dias do testemunho de concreto com bactéria mas, o funcionamento do microscópio se dá por meio da incidência de feixe luz diretamente sobre a amostra analisada e, como nesse caso a superfície da fissura é rugosa, não foi possível verificar a formação do  $\text{CaCO}_3$ , pois, superfícies rugosas tendem a não refletir a luz de forma a obter micrografias nítidas. Após a análise com o microscópio óptico, os mesmos testemunhos foram analisados no MEV para examinar a microestrutura e possíveis sinais de precipitação de calcita, como resultado de atividade microbiana. Ambas as micrografias da Figura 2 são de testemunhos do corpo de prova de concreto com bactérias. Tanto na micrografia da Figura 2a quanto da 2b, é possível identificar pontos brancos característicos de carbonato de cálcio precipitado, o que indica a presença de bactérias. A primeira foi captada de um testemunho retirado do corpo de provas no 58º dia após a moldagem deste, com uma ampliação de 1000x. Já a segunda imagem (Figura 2b), foi captada de um testemunho retirado do mesmo corpo de provas, 263 dias após a sua moldagem, com ampliação de 1500x.



(a)

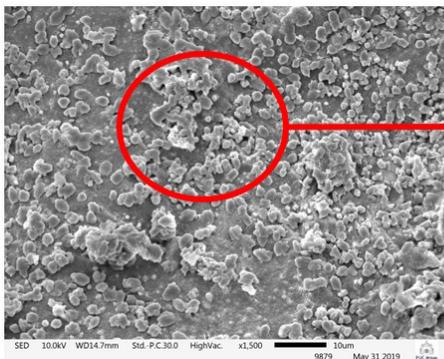


(b)

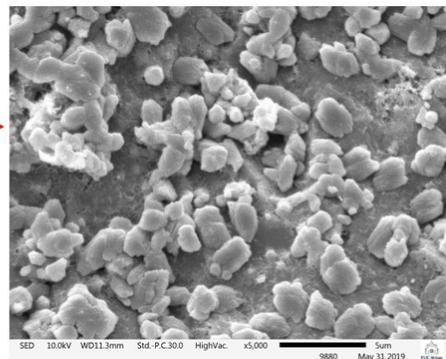
Figura 2 – Micrografias obtidas de MEV de testemunho de concreto com bactérias: (a) 58 dias após a moldagem e (b) 263 dias após a moldagem.

Fonte: Autores (2018)

As Figuras 3, 4 e 5 exibem as análises da microestrutura do concreto com bactérias pré-fissurado, aos 263 dias. Essas micrografias são de três testemunhos retirados dos corpos de provas de concreto com bactérias para a segunda análise MEV, que foi realizada 205 dias após a primeira análise. Na micrografia da Figura 3 as imagens do primeiro testemunho foram obtidas com uma sub aceleração de 10.000 volts e as imagens das Figuras 4 e 5 com uma sub aceleração de 15.000 volts. Para todos os testemunhos, foram estabelecidas ampliações de 1500x e 5000x.



(a)



(b)

Figura 3 – Micrografias obtidas de MEV do testemunho 1 de concreto com bactérias aos 263 dias após a moldagem (a) ampliação 1500x e (b) ampliação 5000x.

Fonte: Autores (2018)

Por meio da análise MEV, percebe-se a presença abundante de minerais, que provavelmente são precipitações de carbonato de cálcio e se formaram devido a conversão metabólica bacteriana do lactato de cálcio (Figuras 3, 4 e 5). Na micrografia ampliada (Figura 5b) tem-se uma concentração mais abundante da formação de cristais de  $\text{CaCO}_3$ . Em ambas as imagens da Figura 4, há indícios da formação de etringita com formato de agulha, ver indicações das setas.

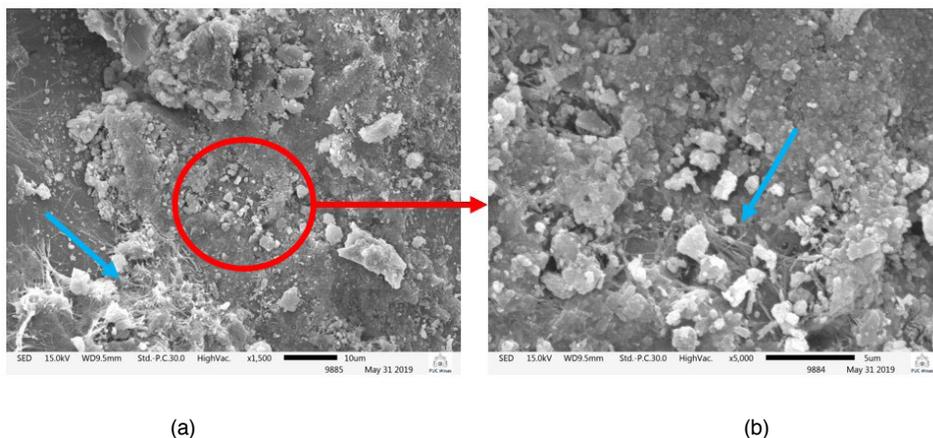


Figura 4 – Micrografias obtidas de MEV do testemunho 2 de concreto com bactérias aos 263 dias após a moldagem (a) ampliação 1500x e (b) ampliação 5000x.

Fonte: Autores (2018)

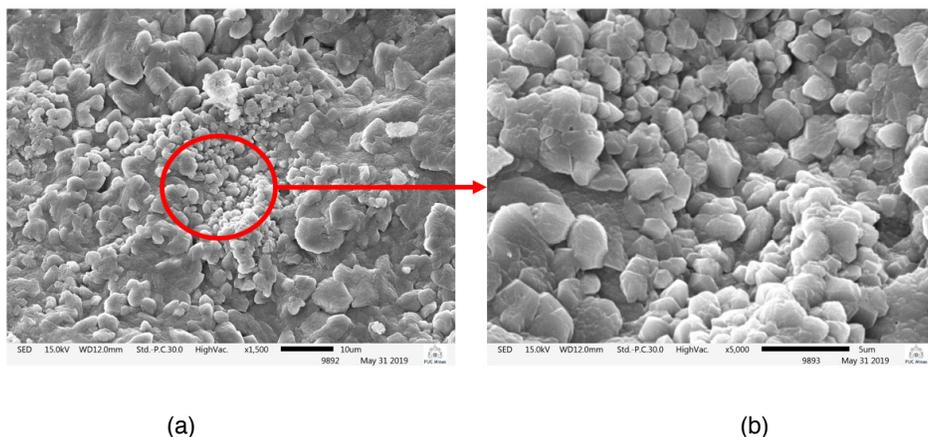


Figura 5 – Micrografias obtidas de MEV do testemunho 3 de concreto com bactérias aos 263 dias após a moldagem (a) ampliação 1500x e (b) ampliação 5000x.

Fonte: Autores (2018)

### 3.2 Resistência Mecânica

Para cada traço determinado no Quadro 2, foram moldados 6 corpos de prova para serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão. Os resultados obtidos para os corpos de prova de concreto com argila expandida sem bactéria e com argila expandida com bactéria, estão apresentados nos Quadros 3 e 4, respectivamente. A resistência média à compressão do traço com argila expandida impregnada com bactérias (traço 1 no Quadro 1) foi superior ao traço com argila expandida sem incorporação de bactéria (traço 2 no Quadro 1).

Traço de Concreto com Argila Expandida sem Bactéria			
Traço	Corpo de prova	Carga (kN)	Resistência (MPa)
2	1	126,49	16,11
2	2	127,40	16,22
2	3	128,60	16,37
2	4	130,86	16,66
2	5	130,78	16,65
Ca2	6	130,69	16,64
Média		<b>129,14</b>	<b>16,44</b>

Quadro 3 - Resistência de compressão concreto com argila sem bactéria

Fonte: Autores (2018)

Traço de Concreto com Argila com Bactéria			
Traço	Corpo de prova	Carga (kN)	Resistência (MPa)
3	1	200,96	25,59
3	2	215,10	27,39
3	3	215,54	27,44
3	4	206,32	26,27
3	5	210,38	26,79
3	6	207,63	26,44
Média		<b>209,32</b>	<b>26,65</b>

Quadro 4 - Resistência de compressão concreto com argila e bactéria

Fonte: Autores (2018)

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Um grande problema associado à fissuração do concreto é o aumento drástico de sua permeabilidade provocando o risco de degradação das estruturas ou elementos estruturais isolados, pela entrada de água e outros produtos químicos agressivos. A precipitação mineral mediada por bactérias pode resultar na diminuição das fissuras e conseqüentemente da

permeabilidade do material. Como as bactérias funcionam como catalisador, um composto precursor mineral adequado precisa ser adicionalmente incorporado na matriz para fornecer um mecanismo de reparo verdadeiramente autônomo. Nesta investigação, ficou evidente que as bactérias incorporadas no produto utilizado, Serenade, juntamente com o lactato de cálcio, representam um agente curativo de dois componentes que mediam a produção de quantidades abundantes de precipitados do tipo mineral.

Os resultados obtidos com a análise no MEV para a vermiculita aos 12 dias e aos 58 dias atestaram a sobrevivência da bactéria contida no produto utilizado, o probiótico Serenade. Verificou-se também a presença da bactéria *Bacillus Subtilis* na amostra do concreto aos 58 dias e mais tarde, aos 263 dias, como observado nas Figuras 3, 4 e 5.

Por meio do ensaio de resistência à compressão do concreto, os corpos de prova com incorporação de bactérias do gênero *Bacillus Subtilis* apresentaram maior resistência à compressão, como é possível observar nos resultados apresentados nos Quadros 3 e 4. Considerando a média apresentada nos Quadros 3 e 4, a resistência da amostra de concreto com bactéria impregnada na argila expandida (traço 1 no Quadro 1) foi superior (62,5%) à resistência da amostra de concreto sem bactéria impregnada na argila expandida (traço 2 no Quadro 1). Esse aumento da resistência à compressão quando há incorporação de bactérias em argamassas (Ghosha et al., 2005) e em concreto projetado (Chahal et al., 2012) já foi verificado por alguns investigadores. Os autores acreditam que o aumento da resistência à compressão deve-se principalmente à consolidação dos poros dentro de concreto por meio da precipitação induzida por carbonato de cálcio.

Para trabalhos futuros sugere-se a preparação de concreto variando a porcentagem de argila expandida com e sem bactéria, substituindo o agregado graúdo. Além disso, pode-se testar traços diferentes do adotado neste estudo, já que aqui o trabalho foi baseado em estudos realizados por autores estrangeiros (Jonkers, 2011; Mors & Jonkers, 2013). Outra sugestão seria variar a concentração de probiótico e do lactato de cálcio e avaliar a influência da variação de ambos na resistência à compressão do concreto.

Outros testes também podem ser considerados para a verificação da ocorrência do precipitado de carbonato de cálcio, por exemplo, ela poderia ser observada com maior clareza por meio de análise de difração de raios-x que possibilita além da verificação da microestrutura do  $\text{CaCO}_3$  e a quantificação do carbonato presente no corpo de prova. Outra técnica que pode ser adotada para verificação de carbonato de cálcio é espectroscopia Raman, pois esta análise baseia-se na captura de vibrações das ligações que são características do  $\text{CaCO}_3$ .

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2015. *NBR 5738. Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova - Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT.

Chahal, N., Siddique, R., & Rajor, A. (2012). *Influence of bacteria on the compressive strength, water absorption and rapid chloride permeability of fly ash concrete*. Construction and Building Materials, 28, 351-356. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.042>

Ghosh, P., Mandala, S., Chattopadhyay, B.D., & Pal, S. (2005). *Use of microorganism to improve the strength of cement mortar*. Cement and Concrete Research, 35, 1980-1983. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.03.005>

Jonkers, H. M. & Schlangen, E. (2007). *Crack repair by concrete-immobilized bacteria*. Proceedings of First International Conference on Self-Healing Materials. Noordwijk aan Zee, Netherlands. Springer. Restaurado de <http://extras.springer.com/2007/978-1-4020-6250-6/documents/9.pdf>

Jonkers, H. M. (2011). *Bacteria-based self-healing concrete*. Heron Journal, 56(1/2), 1-12. Restaurado de <https://heronjournal.nl/56-12/56-12.html>

Jonkers, H. M., Thijssena, A., Muyzer G., Copuroglua, O., & Schlangen, E. (2010). *Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete*. Ecological Engineering, 36, 230-235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.036>

Joshi, K. A., Kumthekar, M. B., & Ghodake V. P. (2016). *Bacillus subtilis bacteria impregnation in concrete for enhancement in compressive strength*. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 3(5), 1229-1234. Restaurado de <https://www.irjet.net/archives/V3/i5/IRJET-V3I5252.pdf>

Joshi, S., Goyal, S., Mukherjee, A., & Reddy, M. S. (2019). *Protection of concrete structures under sulfate environments by using calcifying bacteria*. Construction and Building Materials, 209, 156-166. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.079>

Mors, R M, & Jonkers, H M. (2013). Practical Approach for Production of Bacteria-Based Agent-Contained Light Weight Aggregates to Make Concrete Self-Healing. Anais do 4a Conferência Internacional sobre Materiais de Autocura [Proceedings of the 4th International Conference on Self-Healing Materials, Ghent, Belgium, 16-20 June 2013], 240–243. Restaurado de <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A3078d20c-2173-4c13-a4d7-106207c78577>

Nain, N., Surabhi, R., Yathish, N.V., Krishnamurthy, V., Deepa, T., & Tharannum, S. (2019). *Enhancement in strength parameters of concrete by application of Bacillus bacteria*. Construction and Building Materials, 202, 904-908. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.059>

Nguyen, T. H., Ghorbel, E., Fares, H., & Cousture, A. (2019). *Bacterial self-healing of concrete and durability assessment*. Cement and Concrete Composites, 104. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103340>

Schwantes-Cezario, N., Peres, M.V.N.do N., Fruet, T.K., Nogueira, G.S.F., Toralles, B.M., & Cezario, D. de S. (2018). *Crack filling in concrete by addition of Bacillus subtilis spores – Preliminary study*. DYNA, 85(205), 132-139, June, 2018. <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v85n205.68591>

Tittelboom, K. van, Gruyaert, E., Rahier, H., & Belie, N De. (2012). *Influence of mix composition on the extent of autogenous crack healing by continued hydration or calcium carbonate formation*. Construction and Building Materials, 37, 349-359. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.026>

Ugarte, J. F. O., Sampaio, J. A., & França, S. C. A. *Rochas e Minerais Industriais*. CETEM, 2a Edição, p.865, 2008

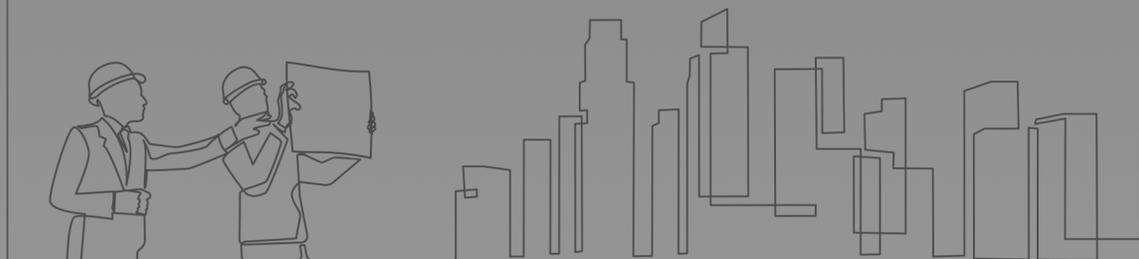
# TECNOLOGIA EM MATERIAIS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

@atenaeditora 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 



# TECNOLOGIA EM MATERIAIS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

@atenaeditora 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

