



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

4

Atena
Editora
Ano 2020



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

4

Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Camila Alves de Cremo

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

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. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

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 – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

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
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. 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
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

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. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a 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
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
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
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 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. Lilian 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. Me. 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. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
A642	<p>A aplicação do conhecimento científico na engenharia civil 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-171-8 DOI 10.22533/at.ed.718200907</p> <p>1. Engenharia civil – Pesquisa – Brasil. 2. Construção civil. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga.</p> <p style="text-align: right;">CDD 338.4769</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil 4” conta vinte e um capítulos sobre estudos realizados nas diversas áreas da engenharia civil.

A crescente preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais exige a busca por novas alternativas no uso de materiais de construção. A presente obra oferece vários estudos em que resíduos de diferentes materiais sejam utilizados na construção civil.

Em consonância com o meio ambiente, apresentamos estudos sobre obras de saneamento, com a finalidade de promover a saúde e melhoria na qualidade de vida de uma determinada população.

São apresentadas pesquisas sobre patologias na construção civil e obras de pavimentação, o que permite o desenvolvimento de planos de manutenção e prevenção de novas patologias.

Por fim, apresentamos estudos sobre o comportamento estrutural em determinadas obras, e pesquisas sobre as diferentes demandas que a engenharia civil nos proporciona.

Desejamos que esta obra desperte ao leitor para a aplicação e desenvolvimento de novas pesquisas, com o objetivo de enriquecer ainda mais os estudos nas diversas atuações da engenharia civil. Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE	
Augusto Felipe Chiella Vinícius Felipe Chiella Nathália Cortes Tosi Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
DOI 10.22533/at.ed.7182009071	
CAPÍTULO 2	17
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE PÓ DE VIDRO COMO UMA ADIÇÃO MINERAL EM CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA, EM CONJUNTO AO EMPREGO DE MICROSSÍLICA	
Vinícius Felipe Chiella Augusto Felipe Chiella Nathália Cortes Tosi Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
DOI 10.22533/at.ed.7182009072	
CAPÍTULO 3	35
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BLOCOS DE CONCRETO COMUNS E BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE CELULOSE PROVENIENTE DE PAPEL RECICLADO	
Mariana de Sousa Prazeres Eduardo Aurélio Barros Aguiar	
DOI 10.22533/at.ed.7182009073	
CAPÍTULO 4	49
ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO EMPREGO DE RESÍDUO CERÂMICO COMO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO	
Nathália Cortes Tosi Augusto Felipe Chiella Vinícius Felipe Chiella Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
DOI 10.22533/at.ed.7182009074	
CAPÍTULO 5	61
USO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (CBC) COMO REMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND – CASO COLOMBIA	
Juan Pablo Izquierdo Jimenez Maria Juliana Alvarez Arias Manuel Alejandro Rojas Manzano	
DOI 10.22533/at.ed.7182009075	
CAPÍTULO 6	79
ESTUDO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM RESÍDUO LIGNOCELULÓSICO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO	
Bruna Ferraz Carvalho Dantas Carlos Fernando de Araújo Calado Aires Camões	
DOI 10.22533/at.ed.7182009076	

CAPÍTULO 7 97

ESTUDO DO USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) DE MACEIÓ, COMO AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO

Raone Bruno de Oliveira Silva
Renato Antônio Santos Rolim
Marcos André Melo Teixeira
Pedro Gustavo dos Santos Barros

DOI 10.22533/at.ed.7182009077

CAPÍTULO 8 114

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE COBRE DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

Vinicius Lemos Pereira
Douglas Martins Sousa
Alan Monteiro Borges
Lygia Maria Policarpio Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.7182009078

CAPÍTULO 9 124

GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM JOÃO PESSOA: ESTUDO COMPARATIVO DO FLUXO DE ENTRADA NA USIBEN ENTRE OS PERÍODOS 2009/2010 E 2015/2018

Ubiratan Henrique Oliveira Pimentel
Gilson Barbosa Athayde Junior
Cristine Helena Limeira Pimentel
Samyr Sampaio Freire

DOI 10.22533/at.ed.7182009079

CAPÍTULO 10 133

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA MICROBACIA DO ARROIO BARRAÇÃO, MUNICÍPIO DE GUAPORÉ-RS

Fernando Frigo Migliorini

DOI 10.22533/at.ed.71820090710

CAPÍTULO 11 138

ANÁLISE DE ESTUDO DO RECALQUE DE EDIFICAÇÃO SITUADA EM ZONA SUL DA CIDADE DE QUITO - EQUADOR

Alexis Enríquez León

DOI 10.22533/at.ed.71820090711

CAPÍTULO 12 149

PATOLOGIA EM LAJES MACIÇAS DE EDIFÍCIO EMPRESARIAL

Bruno Matos de Farias
Ronaldo Garcia da Costa
Rebecca Alves da Silva
José Ricardo Cardoso Domingues

DOI 10.22533/at.ed.71820090712

CAPÍTULO 13 164

LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DE VIAS URBANAS DE MACAPÁ-AP

Beatriz da Silva de Brito
Alinne Emely dos Santos Duarte
Paulo Victor Prazeres Sacramento
Ruan Fabrício Gonçalves Moraes
Orivaldo de Azevedo Souza Junior

DOI 10.22533/at.ed.71820090713

CAPÍTULO 14 179

AVALIAÇÃO OBJETIVA E SUBJETIVA EM SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL EM TRECHO URBANO – ANÁLISE DA DISTÂNCIA ENTRE ESTAÇÕES DE AVALIAÇÃO EM SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS

Gustavo da Silva Schiavon

DOI 10.22533/at.ed.71820090714

CAPÍTULO 15 193

IMPACTO NO NÍVEL DE SOLICITAÇÕES DOS PILARES POR DIFERENTES MODELOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL

Ray Calazans dos Santos Silva

Luan Reginato

Danilo Pereira dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.71820090715

CAPÍTULO 16 209

SAPATAS: COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DE CÁLCULO ANALÍTICO POR MEIO DAS BIELAS-TIRANTES E O MEF (2D)

Denise Itajahy Sasaki Gomes Venturi

Matheus Rangel Venturi

DOI 10.22533/at.ed.71820090716

CAPÍTULO 17 224

VIGAS DE PONTES PROTENDIDAS ENTRE 20 E 40 METROS

Leonardo Lunkes Wagner

Denizard Batista de Freitas

DOI 10.22533/at.ed.71820090717

CAPÍTULO 18 238

PLANO DE MOBILIDADE URBANA – PMU: UMA BREVE ANÁLISE DA LEI 12.587/2012

Rodrigo Marques do Nascimento

Fábio Mendes Ramos

Daniel Martins Nunes

DOI 10.22533/at.ed.71820090718

CAPÍTULO 19 248

NOVO LABORATÓRIO DO CURSO DE EDIFICAÇÕES DO IFPA

Luciano Costa de Farias

Marcelo Martins Farias

Wellen Patrícia Farias dos Reis

Celestina de Lima Rezende Farias

Cleydimara Aquino de Brito

DOI 10.22533/at.ed.71820090719

CAPÍTULO 20 256

A QUALIFICAÇÃO DO PROFISSIONAL DE ENGENHARIA CIVIL NO MERCADO ATUAL E O SEU IMPACTO DE CUSTO PARA UMA EMPRESA FORMAL

Rafaela Cardoso Galace

Flávia Aparecida Reitz Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.71820090720

CAPÍTULO 21	267
ANÁLISE OBSERVACIONAL GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE UM TRECHO DA RODOVIA DO CAFÉ	
Amanda Fernandes de Oliveira	
Leonardo Cesar de Souza Sowinski	
Gabrielly De Souza dos Santos	
Alex Sandro da Costa	
Mariana Alher Fernandes	
DOI 10.22533/at.ed.71820090721	
SOBRE OS ORGANIZADORES.....	280
ÍNDICE REMISSIVO	281

USO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (CBC) COMO REMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND – CASO COLOMBIA

Data de aceite: 01/06/2020

Juan Pablo Izquierdo Jimenez

Pontificia Universidad Javeriana Cali, Facultad
de Ingeniería y Ciencias, Programa de Ingeniería
Civil

Cali – Colombia

<https://orcid.org/0000-0002-0343-0212>

Maria Juliana Alvarez Arias

Pontificia Universidad Javeriana Cali, Facultad
de Ingeniería y Ciencias, Programa de Ingeniería
Civil

Cali – Colombia

<https://orcid.org/0000-0003-0779-4520>

Manuel Alejandro Rojas Manzano

Pontificia Universidad Javeriana Cali, Facultad
de Ingeniería y Ciencias, Programa de Ingeniería
Civil

Cali – Colombia

<https://orcid.org/0000-0001-5783-9112>

RESUMEN: La ceniza del bagazo de la caña es un residuo que se deriva del proceso de fabricación del azúcar. En la etapa de la molienda de la caña se produce una fibra (bagazo) que es utilizada en los propios ingenios, tanto para el inicio de la combustión en los hornos de producción de etanol, como para la generación de energía. Producto de la incineración de este

material se genera un nuevo residuo que es la ceniza de bagazo de caña (CBC). Debido a su posible impacto ambiental, el uso de esta ceniza en la construcción es una práctica que se ha venido implementado en algunos países productores. Este residuo se ha utilizado como adición o remplazo de agregado fino (Sales y Araújo, 2010). No obstante, su mayor potencial se da como como remplazo parcial del cemento Portland debido a que su composición química le brinda propiedades puzolánicas (Cordeiro, 2006; Oliveira de Paula, 2006; Giraldo Escandon et al., 2012). Varias investigaciones han constatado que el uso de la ceniza mejora las propiedades mecánicas del concreto (Camargo et al., 2014; Valencia et al., 2012; Onésippe et al., 2010). En Colombia, la región de cultivos de caña de azúcar comprende la zona norte del Cauca, la zona central del Valle del Cauca y la zona sur del departamento de Risaralda. Según ASOCAÑA (2018), el área comprendida de cultivo es de 243,232 hectáreas para el año 2017, además, se estima que en la producción del azúcar se generan alrededor de 6.5 millones de toneladas de Bagazo. De acuerdo con Sales y Araújo (2010), por cada tonelada de este material incinerado, se producen 25Kg de ceniza, que tras su molienda puede convertirse en remplazo parcial de cemento Portland. La

utilización de la ceniza como adición puzolánica ha sido satisfactoria en países como Brasil, siendo un ejemplo para los demás productores de azúcar a nivel mundial de cómo manejar este tipo de residuos. En Colombia por su parte, existen muy pocas investigaciones que constaten y corroboren los datos, siendo este un objeto de investigación muy importante para la región. Debido al impacto ambiental generado por la industria del cemento y la construcción, es importante promover el uso de residuos industriales, pues está demostrado que estas adiciones mejoran las distintas propiedades del concreto y así ayudan a que los denominados desechos, se puedan reincorporar al ciclo. Este trabajo tiene como fin hacer una revisión del estado del arte del uso de la Ceniza del Bagazo de la Caña como reemplazo del cemento Portland, dado que para un país como Colombia es importante la implementación y la ejecución de estudios que permitan viabilizar el uso seguro y funcional de estos materiales.

PALABRA-CLAVE: Ceniza de bagazo de caña, adiciones minerales, concreto, cemento, Colombia

USE OF SUGAR CANE BAGASSE ASH (SBA) AS PARTIAL REPLACEMENT FOR PORTLAND CEMENT – COLOMBIA CASE

ABSTRACT: Sugarcane bagasse ash is a residue that is derived from the sugar manufacturing process. In the stage of the cane's milling, a fiber (bagasse) is produced which is used in the sugar mills, both for the start of combustion in the ethanol production furnaces, and for energy generation. As a result of this material's incineration, a new residue is generated, which is cane bagasse ash. Due to its possible environmental impact, the use of this ash in construction is a practice that has been implemented in some producing countries. This waste has been used as an addition or replacement of fine aggregate (Sales and Araújo, 2010). However, its greatest potential is as a partial replacement for Portland cement because its chemical composition gives it pozzolanic properties (Cordeiro, 2006, Oliveira de Paula, 2006, Giraldo Escandon, et al, 2012). Several investigations have found that the use of ash improves the mechanical properties of concrete (Camargo et al., 2014, Valencia et al., 2012, Onésippe et al., 2010). In Colombia, the region of sugarcane crops includes the northern area of the Cauca department, the central zone of the Cauca Valley department and the southern zone of the department of Risaralda. According to ASOCAÑA (2018), the covered cultivation area was 243,232 hectares by the year 2017, and it is estimated that around 6.5 million tons of Bagasse are generated in sugar production. According to Sales and Araújo (2010), for each ton of this incinerated material, 25Kg of ash are produced, which after grinding can become a partial replacement of Portland cement. The use of ash as a pozzolanic addition has been satisfactory in countries like Brazil, being an example for other sugar producers worldwide of how to handle this type of waste. In Colombia, for its part, there are very few investigations that verify and corroborate the data, this being a very important research object for the region. Due to the environmental impact generated by the cement and construction

industry, it is important to promote the use of industrial waste, as it is demonstrated that these additions improve the different properties of the concrete and thus help so-called wastes can be reincorporated into the cycle. The purpose of this work is to review the cane bagasse's ash state of art as a replacement for Portland cement, given that for a country such as Colombia it is important to implement and carry out studies to make safe use viable. and functional of these materials.

KEYWORDS: Sugar cane bagasse ash, mineral addition, concrete, cement, Colombia

1 | INTRODUCCIÓN

La ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) se considera un residuo de la industria del azúcar, que tras pasar por una serie de procesos es desechado y utilizado en Colombia como material de relleno y como abono agrícola. En los últimos años, la necesidad de las industrias de aportar al desarrollo sostenible ha promovido estrategias para disminuir su huella de carbono y reutilizar la mayor parte de los desechos producidos en sus fábricas, lo que ha traído consigo un reto para los investigadores.

La construcción es una de las industrias que más huella de carbono generan en el mundo, pues los materiales de los que esta se fundamenta son principalmente a base de cemento, el cual para producirse requiere de un gasto energético considerable y explotación de recursos no renovables. Según Imbabi, Caregan y McKenna (2014), cada tonelada de cemento Portland ordinario (OPC) que se produce libera en promedio una cantidad similar de CO₂ a la atmósfera, lo que representa, aproximadamente, el 6% de todas las emisiones de gases efecto invernadero hechas por el hombre.

Debido a esto, el uso de alternativas a la producción del cemento toma importancia pues implicaría una disminución del impacto ambiental por la menor emisión de CO₂ (Fairbairn et al., 2010) y pueden traer efectos positivos en las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales cementicios. Las adiciones puzolánicas son muy utilizadas a nivel mundial, pues han sido fuente de investigación durante finales del siglo XX y lo que va del siglo XXI. El mecanismo de actuación consiste en que en una primera etapa la hidratación del cemento Portland forma Hidróxido de Calcio (Ca(OH)₂), posteriormente, este compuesto hidratado reacciona con la puzolana en presencia de agua formado Silicato de Calcio Hidratado (C-S-H) (Metha y Monteiro, 2014). De esta manera, se produce un refinamiento de la estructura porosa del material y, consecuentemente, un mejoramiento de la resistencia y de la impermeabilidad del sistema.

2 | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con las cifras presentadas por ASOCAÑA (2019), en Colombia, la producción de azúcar es una de las industrias más importantes y sólidas del territorio

nacional, concentrando su producción en el valle geográfico del río Cauca, el cual abarca 47 municipios, desde el norte del departamento del Cauca hasta llegar al sur del departamento de Risaralda. En total, Colombia cuenta con un área sembrada de 225,560 hectáreas y se reparte en 13 ingenios azucareros, los cuales producen un total de 6.5 millones de toneladas de bagazo de caña. Este subproducto, es utilizado para diferentes fines, la producción de bioetanol, la generación de energía, la fabricación de papel y como abono agrícola.

Este asunto toma importancia debido a que, como se observa en la Figura 1, Colombia se encuentra como uno de los principales productores de Bagazo de Caña en el mundo. Lo que justifica la realización de investigaciones con el objetivo de poder reincorporar este residuo al ciclo de los materiales, promoviendo la economía circular.

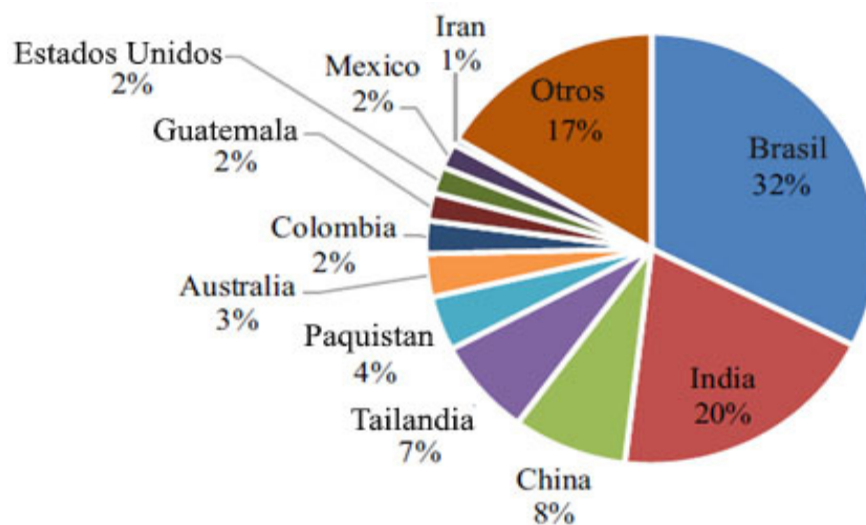


Figura 1 – Distribución de la producción mundial de bagazo de caña de azúcar en 2014 (Zareei et al., 2018).

Uno de los principales usos del bagazo en los ingenios es la generación propia de energía. Como se presenta en la Figura 2, el proceso empieza en las calderas, donde es incinerado este residuo para generar vapor de alta presión y así lograr mover los turbogeneradores que son encargados de transformar la energía para su posterior distribución. Producto de este proceso se obtiene la ceniza de bagazo de caña (CBC), que, por lo general en un país como Colombia, es desechada, generando residuos, impacto ambiental y pérdida de posibles subproductos para distintos fines.

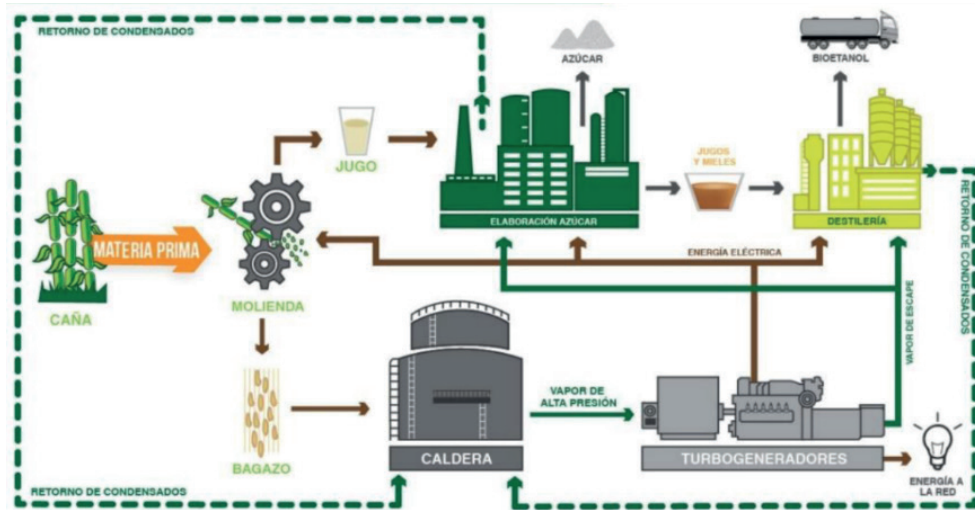


Figura 2 - proceso de cogeneración de energía (Asocaña, 2017).

3 I CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA DEL BAGAZO DE CAÑA

La CBC en la actualidad es poco utilizada, pues en algunos países como en Colombia, puede ser considerada como un desecho. En Brasil, se han venido desarrollando e implementando, diferentes usos para este material, dado que el área sembrada según la agencia EFE (2016) supera los nueve millones de hectáreas, lo que conlleva a una generación considerable de residuos de la industria. En la Figura 3 se puede observar el bagazo de la caña y la CBC obtenida después del proceso de incineración.



(a)



(b)

Figura 3 - Imágenes del a) Bagazo de Caña y b) CBC (Zareei et al., 2018).

Para poder viabilizar el uso de la CBC como subproducto de la industria azucarera, es fundamental conocer las propiedades de este material. A continuación, se hace una revisión con distintos autores que investigaron este ítem.

3.1 Propiedades Físicas

Cordeiro (2009), presenta en su estudio valores de diferentes propiedades de la

CBC. Otros autores como Zarrei et al. (2018), también realizaron una caracterización del material, en la Tabla 1 se presentan un cuadro comparativo de ambos autores con respecto a diferentes propiedades físicas.

Propiedades Físicas	Cordeiro (2009)	Zarrei et al. (2018)
Densidad (kg/m ³)	2530	1510
Superficie específica de Blaine (m ² /kg)	196	260
Diámetro promedio de partícula - D50 (µm)	76.3	-
Porcentaje pasa tamiz 45 µm (%)	67.4	-
Módulo de finura	-	1.04
Porcentaje de absorción (%)	-	0.8

Tabla 1 – Propiedades Físicas según Cordeiro (2009) y Zarrei et al (2018)

3.2 Propiedades Químicas

De acuerdo con Vidal (2012), la ceniza se produce a una temperatura entre los 700 y 900°C. Según lo encontrado por Cordeiro (2009), se puede notar que el porcentaje de sílice en la muestra es del 78.3% y al compararse con las investigaciones realizadas recientemente por la Universidad Nacional de Colombia (2012), Ali et al. (2017) y Vidal et al. (2012), se encuentra que estos datos oscilan entre 60% y 70%. En la tabla 2 se presenta un cuadro comparativo de la composición química de la CBC realizada por diferentes autores.

Composición Química				
	Vidal et al. (2012)	Ali (2017)	Giraldo (2012)	Cordeiro (2009)
Método Implementado	Fluorescencia de rayos X (FRX)	*	Fluorescencia de rayos X (FRX)	Difracción de rayos X (DRX)
SiO ₂	67.05%	72.00%	60.07%	78.34%
Al ₂ O ₃	6.00%	4.98%	8.7%	8.55%
Fe ₂ O ₃	5.55%	2.96%	5.57%	3.61%
CaO	3.85%	6.50%	3.4%	2.15%
MgO	2.75%	1.98%	2.90%	1.65%
K ₂ O	3.85%	1.93%	4.5%	3.46%
Na ₂ O	1.05%	0.61%	1.17%	0.12%
So ₃	-	-	-	-
MnO	-	-	-	0.13%
P ₂ O ₅	-	-	-	1.07%
Pérdidas por ignición	7.35%	-	4.37%	0.42%
Tamaño de partícula (µm)	60.50	-	-	-
*	Sin información del método implementado			

Tabla 2- Composición química CBC por diferentes autores.

Como se puede observar en la Tabla 2, la CBC posee un alto contenido de sílice, trascendental para que puede clasificarse como una adición puzolánica, por lo que tendrá un efecto positivo en las propiedades mecánicas y asociadas a la durabilidad del concreto. Cabe aclarar que existe una variación en la composición entre los autores, esto puede ser debido a diferentes factores como el tipo de caña, la zona geográfica en la que se encuentre, las variaciones del clima, la existencia o no de un proceso de quema controlada, la temperatura de incineración, entre otras.

4 | USOS DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (CBC) EN LA CONSTRUCCIÓN

Diversas investigaciones se han desarrollado para viabilizar el uso de la CBC en actividades referentes a la construcción. Faria, Gurgel y Holanda (2012), sugieren que la ceniza de bagazo de caña puede ser utilizada en ladrillos de arcilla, pues concluyen en su trabajo que es un material rico en sílice, el cual se cristaliza y ayuda a reducir la plasticidad de la mezcla arcillosa, siempre y cuando se garantice máximo un 10% de remplazo.

Cabe indicar que según la revisión del estado del arte se determinó que el uso de la CBC tiene gran potencial cuando se aplica en materiales a base de cemento. Principalmente, como agregado y como reemplazo o adición al cemento.

4.1 Como Agregado Fino

Algunos estudios fueron realizados para viabilizar el uso de la CBC como remplazo parcial del agregado fino. Sin embargo, como lo indica Giraldo (2012) debido a sus características químicas y sus altos contenidos de sílice y alúmina, tiene un uso muy amplio como remplazo parcial del cemento Portland.

Modani y Vyawahare (2013) investigaron el posible uso de la CBC como remplazo del agregado fino, encontrando que con un porcentaje de remplazo entre 10% y 20% la resistencia a los 28 días aumenta sin afectar la trabajabilidad, como se muestra en la Figura 4. Al mismo tiempo, analizan que este aumento puede ser debido a la reacción puzolánica de la ceniza. Por su parte, concluyen que reemplazos superiores al 30% incrementan la porosidad el concreto.

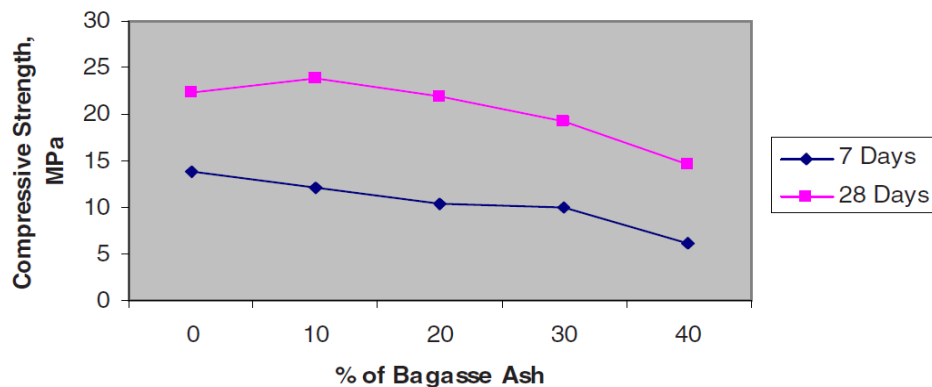


Figura 4 - Resistencia a la compresión del concreto en función del reemplazo de CBC por agregado fino (Modani y Vyawahare, 2013)

Sales y Araujo (2010) evaluaron diferentes tipos de CBC como sustitución del agregado fino en concretos y morteros. Los resultados de este estudio indicaron que las muestras de ceniza presentaban propiedades físicas similares a las de la arena natural. Los morteros producidos con CBC en lugar de arena mostraron mejores resultados en las propiedades mecánicas que las muestras de referencia, como se puede observar en la Figura 5.

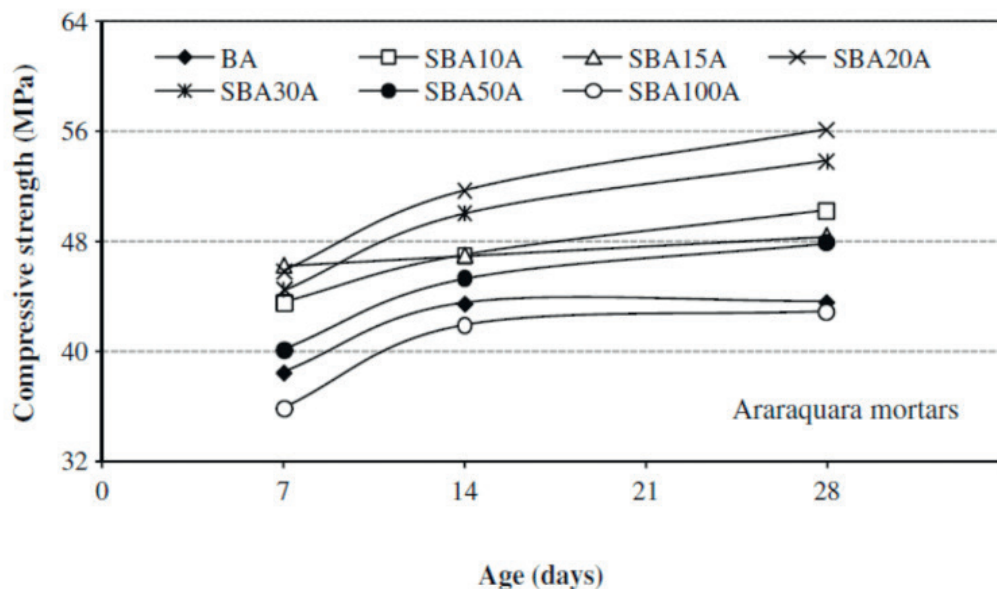


Figura 5 - Resistência a la compresión de morteros con CBC (SBA) en el tiempo (Sales y Araujo, 2010)

Macedo et al. (2014) determinaron que el uso de la ceniza como remplazo parcial del agregado fino en morteros es positiva, pues aumenta la resistencia de estos. Concluyen que, debido al efecto físico de mayor empaquetamiento promovido por el tamaño de partículas, se disminuye el tamaño de los poros, evitando así el ingreso de agentes agresivos.

4.2 Como reemplazo de Cemento

Debido a la alta presencia de sílice y el grado de reacción puzolánica que posee la CBC cuando es finamente molida, su uso como reemplazo para el cemento Portland ha venido en aumento, siendo una adición mineral muy útil para zonas productoras como Brasil y Colombia. Varios autores han investigado el comportamiento de los concretos con esta clase de puzolana, tanto en estado fresco como en estado endurecido y además en varios ámbitos, no solo en concretos sino en morteros y adoquines para pavimento.

Ali et al. (2017) encontraron que el uso de la CBC es viable pues mejora las propiedades físicas y mecánicas del material cementicio, debido a los posibles efectos que tiene por sus componentes químicos. También determinaron que el porcentaje de remplazo ideal es del 5%. Además, concluyen que la utilización de este material no es solo una estrategia para la disminución de desperdicios, sino una opción viable para realizar concretos verdes y construcciones sostenibles.

Los distintos estudios que se han realizado cuentan con múltiples variables como el tipo de cemento a utilizar, la relación agua/cemento, el porcentaje de remplazo del cemento, el tipo de agregado, entre otros. Sin embargo, para evaluar la efectividad de la CBC como adición mineral del cemento Portland es fundamental analizar la actividad puzolánica, varios autores coinciden en que, a los 28 días, este parámetro debe estar

por encima del mínimo que dictamina la ASTM C618 que es del 75%, estando entre los valores de 90% y 100%, como se presenta en la Figuras 6 y 7.

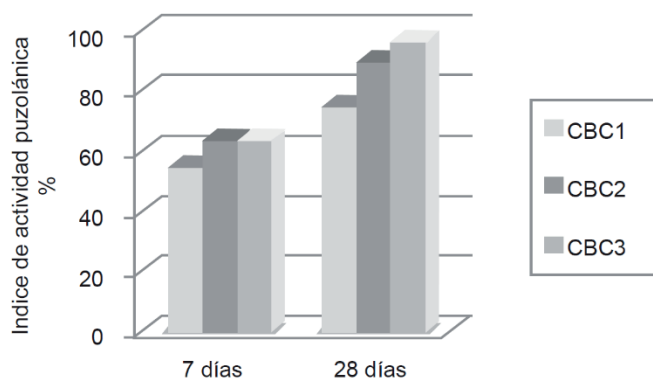


Figura 6 - Actividad Pozzolánica CBC (Giraldo, 2012)

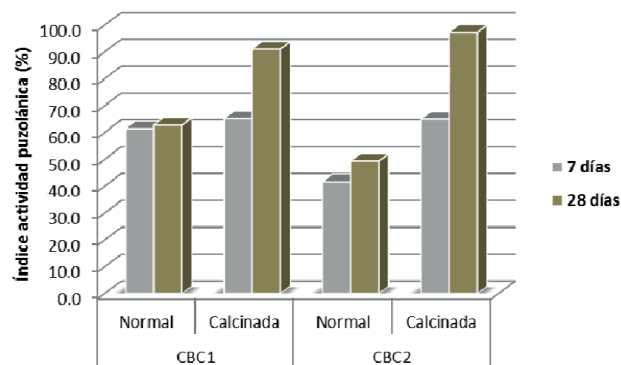


Figura 7 - Actividad Pozzolánica CBC (Vidal et al., 2012)

Vidal et al. (2012) investigaron la actividad pozzolánica de este residuo encontrando que fue superior al 91%, pero al mismo tiempo sugieren que se debe hacer un estudio detallado de la cantidad necesaria para que el concreto se desempeñe de la mejor manera a largo plazo. Cordeiro (2009) analizó el comportamiento pozzolánico de la CBC, uno de los resultados más importantes de su investigación, es que la reacción pozzolánica aumenta a medida que el tamaño de partícula disminuye.

Mansaneira et al. (2017) evaluaron dos tipos de CBC como reemplazo de cemento, una natural o cruda, y otra producida en laboratorio (calcinada a una temperatura de 600°C durante 6 horas). Encontraron que la ceniza calcinada posee mayor fase amorfa y, por lo tanto, mayor reactividad. Concluyen que independiente del tipo de ceniza, tiene que efectuarse previamente un proceso de molienda para promover la reacción pozzolánica.

Rajasekar et al. (2018), evaluaron el uso de la CBC en la producción de concretos de ultra-alto desempeño (UHPC) y determinaron que para una óptima reacción pozzolánica se debe hacer un curado térmico con vapor, además de que al adicionar la ceniza se aumenta la velocidad de las reacciones de hidratación, por lo tanto, se alcanza una resistencia a la compresión en menor tiempo.

Caicedo (2016) en su trabajo, sugiere que la utilización de la CBC como adición mineral en concretos disminuye los costos de producción, lo que implicaría así un nuevo modelo económico para las distintas industrias. En el estudio realizado, se encontraron altos porcentajes de actividad pozzolánica para las distintas muestras.

4.2.1 Efecto en las propiedades en Estado Fresco

Según Cordeiro (2009) uno de los principales efectos de la CBC es que mejora

la reología del concreto. Ali et al. (2017) estudiaron el efecto del reemplazo de CBC en el concreto, en la Tabla 3 se presentan los resultados en estado fresco en función del contenido de ceniza (0%, 5% y 10%) con dos dosificaciones distintas.

Sr.No.	Proporción de mezcla	Porcentaje de reemplazo del cemento Portland Ordinario con CBC	Valor promedio de Slump (mm)	Incremento
1	M20 (1:1 ½:3)	0%	27.89	-
2		5%	42.50	34%
3		10%	51.12	45%
4	M15 (1:2:4)	0%	31.94	-
5		5%	37.48	15%
6		10%	44.64	28%

Tabla 3 - resultados ensayos en estado fresco con reemplazo de CBC (Ali, et al, 2017)

Se observa la modificación de las propiedades en estado fresco a medida que se adiciona la CBC, pues se nota un aumento en su trabajabilidad, lo que quiere decir que, tan solo al hacer el reemplazo ya se está mejorando esta propiedad que es importante para la colocación correcta del concreto en obra.

Bahurudeen et al. (2014) estudiaron la compatibilidad de aditivos superplastificantes y cementos con reemplazo de CBC por medio de ensayos como el cono march y el mini-slump. Concluyen que la dosis de saturación del superplastificante se incrementó con el aumento del reemplazo de ceniza. Así mismo, el superplastificante a base de éter policarboxílico es más compatible con el cemento mezclado que el de base de naftaleno sulfonado.

4.2.2 Efecto en las Propiedades Mecánicas del Concreto

Jagadesh et al. (2018) investigaron las propiedades mecánicas de los concretos con adición de ceniza. Encontraron que la densidad se incrementa con el aumento de la CBC, pasando de 2,409 kg/m³ a 2,422 kg/m³. Adicionalmente, concluyen que existe una relación directamente proporcional entre las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, resistencia a la compresión y a la flexión) y la densidad del concreto, independiente de la edad del concreto. Lo anterior, se puede observar en la Figura 8.

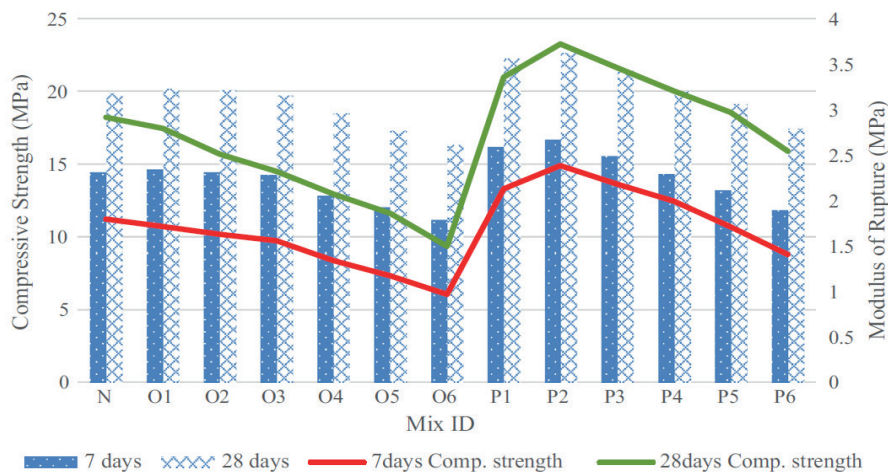


Figura 8 – Módulo de Rotura y Resistencia a la Compresión, O: CBC original, P: CBC procesada (Jagadesh et al., 2018)

Cordeiro (2009), en su estudio determina que el uso de la CBC ayuda a las propiedades mecánicas del concreto con adiciones del 20%. En la Figura 9 se presentan los resultados de la resistencia a compresión de los concretos ensayados en el estudio de Ali et al. (2017).

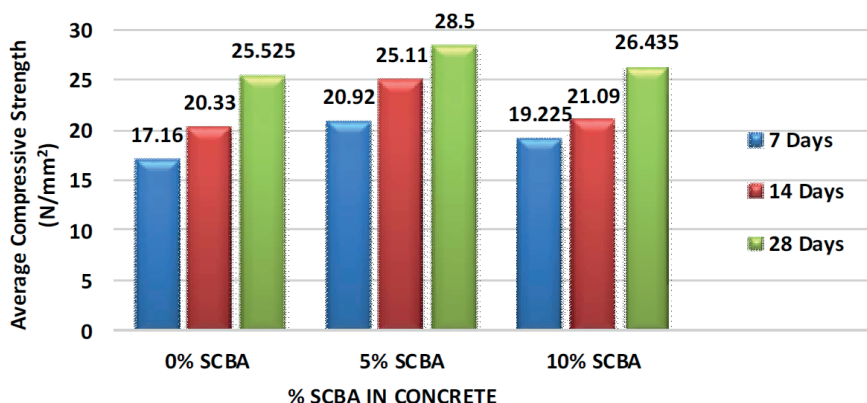


Figura 9 - Resultados ensayos en estado endurecido con remplazo de CBC (Ali, et al, 2017)

Se puede observar que la resistencia de los concretos con ceniza puede ser superior que la del concreto de referencia. Según los autores, la cantidad óptima de remplazo es el 5%.

La ceniza también ha sido utilizada como filler en la fabricación de concretos autocompactantes. Moretti et al. (2018) determinaron que la CBC puede ser utilizada en este tipo de concretos sin efectos negativos en las propiedades en estado fresco (satisfacen los requisitos de autocompatibilidad) ni en las propiedades mecánicas.

Otra aplicación de la CBC es en concretos de alta resistencia, los investigadores Rukzon y Chindapasirt (2012) evaluaron remplazos de hasta el 30%. Concluyen que el contenido óptimo, que produjo el mayor incremento de la resistencia a la compresión, fue el 10%. Por último, también Rajasekar et al. (2018) estudiaron el uso de la CBC

como adición puzolánica en concretos de ultra-desempeño (UHPC). Determinaron que es posible fabricar concretos hasta de 310 MPa de resistencia a la compresión con un reemplazo de 15% de ceniza, valor superior a la mezcla de referencia sin CBC.

4.2.3 Efecto en la Durabilidad del Concreto

La durabilidad del concreto es una propiedad que está íntimamente asociada con el ingreso de agentes agresivos y, por lo tanto, con la porosidad y la permeabilidad del material. De acuerdo con Cordeiro (2009), el uso de la CBC incrementa la resistencia a la penetración de iones de cloruro. Valencia et al. (2012) estudiaron la corrosión en morteros armados con ceniza. Concluyen que hubo un mejor desempeño cuando se usó la CBC y que depende tanto de su composición, como de su morfología y tamaño de partícula.

Rerkpiboon et al. (2015) evaluaron las propiedades asociadas a durabilidad en concretos con reemplazos hasta del 50% de CBC. Los autores encontraron que la incorporación de la ceniza causó una disminución en la profundidad de penetración de iones cloruro en el concreto, como se observa en la Figura 11. Lo anterior, demuestra el efecto positivo en la durabilidad del uso de la CBC en el concreto

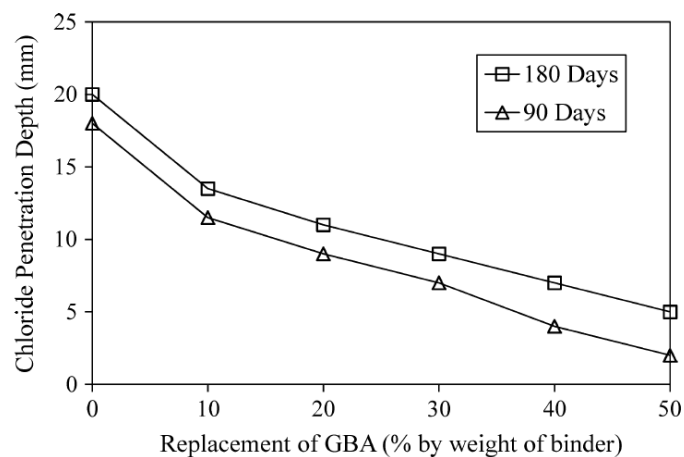


Figura 10 – Profundidad de penetración de cloruros en función del reemplazo de CBC (Rerkpiboon et al. 2015).

Bahurudeen et al. (2015) estudiaron el desempeño de la durabilidad mediante cinco metodologías: ensayo de permeabilidad al oxígeno, prueba rápida de penetración de cloruro, ensayo de conductividad de cloruro, ensayo de absorción de agua, ensayo de permeabilidad al agua y prueba de permeabilidad al aire Torrent. Los resultados de esta investigación muestran que el uso de CBC mejora notablemente el desempeño del concreto. Se observó bajo calor de hidratación, aumento de la resistencia por la reacción puzolánica y reducción significativa de la permeabilidad debido al refinamiento de los poros.

Rukzon y Chindaprasirt (2012) encontraron que, aunque con el aumento del

reemplazo de la CBC se incrementó la porosidad total del concreto de alta resistencia, hubo un efecto positivo en las propiedades asociadas a durabilidad como el coeficiente de penetración de cloruros (Figura 11).

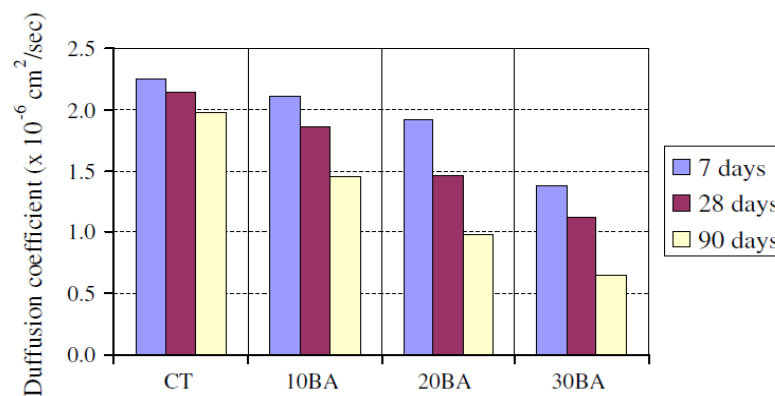


Figura 11 – Coeficiente de penetración de cloruros en función del reemplazo de CBC (Rukzon y Chindaprasirt, 2012).

Lo presentado anteriormente, muestra que la incorporación de CBC en el concreto causa efectos positivos en las diferentes propiedades del concreto (trabajabilidad, propiedades mecánicas y durabilidad). De esta forma, toma importancia la continuidad de las investigaciones que puedan promover el uso de este residuo en la industria de la construcción.

5 | USO DE LA CBC PARA LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA

Hasta el momento en Colombia, el uso de la ceniza como adición parcial del cemento Portland posee pocas investigaciones, las más reconocidas se han realizado en el departamento del Valle del Cauca debido a que es la región en donde más se produce el azúcar a base de caña.

El uso de la CBC como adición del cemento Portland para la fabricación de adoquines para pavimentos fue estudiado por Caicedo (2016). En esta investigación se encontró que el uso de este material ayuda a que la resistencia del concreto aumente superando incluso las resistencias de un concreto tradicional. Adicionalmente, se detalla en el proyecto el análisis de precios unitarios (APU) para la fabricación de estos y su viabilidad. Este estudio fue realizado para la construcción de una de las estaciones del sistema integrado de transporte masivo MIO y en conclusión es una metodología constructiva, ecológica y viable para una región productora.

Otra investigación fue realizada por Giraldo et al. (2012), sobre la ceniza como adición mineral para el cemento Portland con el objetivo de fabricar elementos de construcción. En este trabajo se realizó la caracterización química y física, demostrando la reacción

puzolánica a los 28 días, lo cual apoya las investigaciones de otros autores en el tema.

La utilización de la ceniza de bagazo de caña en morteros ha sido un tema de estudio para investigadores de las universidades de la región. Caicedo y Henao (2015), encontraron en su investigación, que los morteros con adiciones de CBC aumentan su resistencia a los 56 días entre 2.5% y 5.0%, además la resistencia a flexión aumenta de forma significativa en aproximadamente 40%. Por su parte, concluyen que las disminuciones en emisiones de CO₂ disminuyen sustancialmente si se empieza a utilizar este tipo de desechos industriales.

6 | CONCLUSIONES

La producción de caña de azúcar en Colombia va en aumento, generando mayor cantidad de desperdicios de industria; países como Brasil, han empezado a implementar el uso de la ceniza de bagazo de caña en el cemento, encontrando en ello una solución a la disposición final de estos residuos.

Según la caracterización química de la CBC, esta posee un alto contenido de sílice, en promedio 70%. Otro parámetro importante es el tamaño de partícula, por lo que se hace necesario un proceso previo de molienda. Lo anterior, hacen que este material tenga una elevada actividad puzolánica a los 28 días (cercana al 100%), lo que viabiliza su uso en la construcción como adición mineral para el cemento Portland, ya sea en concretos de resistencia normal o de mayores prestaciones.

Las propiedades en estado fresco de los concretos con adición de CBC, se ven mejoradas por esta incorporación, aumentando la fluidez del concreto, haciéndolo más trabajable.

Se comprobó una mejora en las propiedades en estado endurecido del material cementicio, tanto mecánicas como de durabilidad, debido a la disminución de la porosidad promovida por la reacción puzolánica, aumentando la resistencia a distintos tipos de esfuerzos y el desempeño al ataque de agentes agresivos.

En Colombia, la investigación sobre este tipo de adiciones puzolánicas es deficiente. Debido a la importancia de este material para la industria azucarera, es primordial que se generen proyectos de investigación que busquen viabilizar el uso seguro y confiable de este subproducto. La posible utilización de la CBC como material de construcción significaría un impacto económico positivo para regiones productoras como el Valle del Cauca.

El uso de materiales cementantes alternativos conlleva una disminución del impacto ambiental, principalmente, porque se reduciría la extracción de recursos naturales no renovables y la emisión de gases efecto invernadero, así como se aprovecharía un desecho industrial reincorporándolo al ciclo y evitando su disposición final en rellenos

sanitarios y la contaminación del suelo o del recurso hídrico.

REFERENCIAS

- Ali, N. et al. (2017) 'Potential Mixture of POFA and SCBA as Cement Replacement in Concrete – A Review', MATEC Web of Conferences, 103, p. 8.
- ASOCAÑA (2017) 'Generación de energía a partir de bagazo de caña', *Cogeneración* p. 10.
- ASOCAÑA (2018) 'ASPECTOS GENERALES Impulsando a Colombia'. *Informe Annual 2017 -2018* p.70
- ASOCAÑA (2019) 'El Sector Azucarero Colombiano En La Actualidad'. Cali, Colombia: ASOCAÑA, Sector Agroindustrial de la Caña. Recuperado: <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Becerra, A., Buitrago, A. and Pinto, P. (2016) 'Sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia', *Ingeniería Solidaria*, 12(20), pp. 133–149.
- Caicedo, S. H. y Henao, S. (2015). Evaluación De La Ceniza Proveniente Del Bagazo De Caña De Azúcar Como Material Cementante Alternativo Para La Elaboración De Morteros. Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana de Cali.
- Caicedo, C. (2016). Diseño del pavimento articulado con adoquines compuestos por reciclado de concreto como agregado fino y ceniza proveniente del bagazo de la caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento portland. Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana de Cali.
- Cannavam Ripoli, C. T. and Cunali Ripoli, L. M. (2008) 'Ventajas del aprovechamiento del residuo para quema y producción de vapor', *Visão Agrícola*, 8(8), pp. 22–24. Available at: http://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec_v13_no21_2009_p24-26.pdf.
- Cordeiro, G. C. et al. (2009) 'Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete', *Cement and Concrete Research*, 39(2), pp. 110–115. doi: 10.1016/j.cemconres.2008.11.005.
- Ernesto, C. et al. (2012) 'Ceniza de bagazo de caña como aditivo al cemento Portland para la Fabricación de elementos de construcción.pdf', pp. 77–78.
- Fairbairn, E. M. R., Americano, B. B., Cordeiro, G. C., Paula, T. P., Toledo Filho, R. D., & Silvano, M. M. (2010). Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO2 emissions reduction and potential for carbon credits. *Journal of Environmental Management*, 91(9), 1864–1871. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.04.008>
- Faria, K. C. P., Gurgel, R. F., & Holanda, J. N. F. (2012). Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. *Journal of Environmental Management*, 101, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.032>
- Herrera, J., Osorio, J. and Varón, F. (2007) 'Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar', *Dyna*, 153, p. 11.
- Imbabi, M. S., Carrigan, C., & McKenna, S. (2012). Trends and developments in green cement and concrete technology. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 1(2), 194–216. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2013.05.001>
- Jagadesh, P., Ramachandramurthy, A., & Murugesan, R. (2018). Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete. *Construction and Building Materials*, 176, 608–617. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.037>

- Kane, S. N., Mishra, A. and Dutta, A. K. (2016) 'Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016)', *Journal of Physics: Conference Series*, 755(1). doi: 10.1088/1742-6596/755/1/011001.
- Loh, Y. R. et al. (2013) 'Review Sugarcane bagasse - The future composite material: A literature review', *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., 75, pp. 14–22. doi: 10.1016/j.resconrec.2013.03.002.
- Le, D. H., Sheen, Y. N., & Lam, M. N. T. (2018). Fresh and hardened properties of self-compacting concrete with sugarcane bagasse ash–slag blended cement. *Construction and Building Materials*, 185, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.029>
- Macedo, P.C.; Pereira, A.M.; Akasaki, J.L.; Fioriti, C.F.; Payá, J.; Pinheiro, J.L. (2014) Performance of mortars produced with the incorporation of sugar cane bagasse ash, *Revista Ingeniería de Construcción*, Vol. 29, pp. 187–199.
- Madurwar, M. V., Ralegaonkar, R. V. and Mandavgane, S. A. (2013) 'Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 38, pp. 872–878. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.09.011.
- Mangi, S. A. et al. (2017) 'Utilization of sugarcane bagasse ash in concrete as partial replacement of cement', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 271(1). doi: 10.1088/1757-899X/271/1/012001.
- Modani, P. O. and Vyawahare, M. R. (2013) 'Utilization of bagasse ash as a partial replacement of fine aggregate in concrete', *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 51(NUICONE 2012), pp. 25–29. doi: 10.1016/j.proeng.2013.01.007.
- Metha, P.K. y Monteiro, P.J.M. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. Fourth Edition, Ed: MacGraw-Hill. 2014.
- Modani, P. O., & Vyawahare, M. R. (2013). Utilization of bagasse ash as a partial replacement of fine aggregate in concrete. *Procedia Engineering*, 51(NUICONE 2012), 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.007>
- Moretti, J. P., Nunes, S., & Sales, A. (2018). Self-compacting concrete incorporating sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 172, 635–649. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.277>
- Onésippe, C. et al. (2010) 'Sugar cane bagasse fibres reinforced cement composites: Thermal considerations', *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. Elsevier Ltd, 41(4), pp. 549–556. doi: 10.1016/j.compositesa.2010.01.002.
- Paula, M. O. de (2006) 'Potencial Da Cinza Do Bagaço Da Cana-De-Açúcar Como Material De Substituição parcial de cimento portland'.
- Roca, G. et al. (2006) 'Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: características físicas', *Encontro de Energia no Meio Rural*, (6), p. 10.
- Rajasekar, A., Arunachalam, K., Kottaisamy, M., & Saraswathy, V. (2018). Durability characteristics of Ultra High Strength Concrete with treated sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 171, 350–356. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.140>
- Rerkpiboon, A., Tangchirapat, W., & Jaturapitakkul, C. (2015). Strength, chloride resistance, and expansion of concretes containing ground bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 101, 983–989. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.140>
- Sales, A. and Lima, S. A. (2010) 'Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement', *Waste Management*. Elsevier Ltd, 30(6), pp. 1114–1122. doi: 10.1016/j.wasman.2010.01.026.

SRINIVASAN, R. and Sathiya, K. (2018) 'Experimental Study on Bagasse Ash in Concrete', *International Journal for Service Learning in Engineering, Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship*, 5(2), pp. 60–66. doi: 10.24908/ijse.v5i2.2992.

Valencia, G. et al. (2012) 'Estudio de Durabilidad y Corrosión en Morteros Armados Adicionados con Toba Volcánica y Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar', *Revista de la Construcción*, 11(2), pp. 112–122.

Vidal, D. et al. (2012) 'Estudio comparativo de cenizas de bagazo de caña como adición puzolánica', *Revista Colombiana de Materiales*, pp. 93–99.

Zareei, S. A., Ameri, F., & Bahrami, N. (2018). Microstructure, strength, and durability of eco-friendly concretes containing sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 184, 258–268. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.153>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adição Mineral 1, 2, 3, 4, 7, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 22, 31

Adiciones Minerales 62

Agregado Cerâmico 49, 53, 55, 57, 58

Análise Estrutural 193, 194, 208, 217

Argamassa 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 25, 26, 30, 33, 46, 49, 51, 57, 58, 59, 81, 85, 86, 90, 95, 96, 97, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 121, 123, 149, 153, 157, 158, 159, 160

Argamassa de Assentamento 49, 113

Argamassas 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 21, 25, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 79, 80, 82, 83, 95, 96, 97, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 106, 111, 112, 114, 115, 116, 118, 123, 130, 132

Autonivelante 1, 2, 3, 4, 9, 15, 16

Avaliação Funcional 165

B

Baixo Custo 59, 114, 115, 239, 261

Bioetanol 64, 79, 80, 81, 95

C

Canalização 133, 136

Cimento 61, 62, 63, 67, 68, 69, 70, 71, 74, 75, 76

Colombia 61, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 74, 75, 76

Concreto 15, 17, 18, 19, 20, 29, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 59, 60, 61, 62, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 79, 80, 81, 82, 95, 96, 100, 101, 105, 108, 116, 123, 128, 129, 130, 139, 140, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 159, 161, 162, 163, 169, 199, 201, 202, 207, 208, 210, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 233, 236, 237, 269

Construção 1, 2, 3, 16, 36, 38, 46, 47, 48, 49, 50, 59, 60, 79, 80, 86, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 107, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 122, 124, 125, 126, 130, 131, 132, 139, 141, 144, 145, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 157, 161, 162, 163, 164, 177, 179, 185, 194, 210, 237, 243, 246, 247, 248, 250, 255, 256, 257, 259, 260, 261, 264, 265

Contrapiso 2, 3, 15, 104

D

Demolição 49, 52, 59, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 107, 111, 112, 113, 124, 126, 132

Dimensionamento 133, 134, 135, 136, 137, 152, 197, 210, 213, 217, 221, 224, 225, 226, 229, 230, 231, 235, 237

Drenagem em Pavimentos 165

E

Edifício Empresarial 149, 150

Elementos Finitos 209, 210, 213, 216, 217, 219, 221, 222, 223

Esgotamento Sanitário 133, 134, 135, 137

F

Fundações 147, 209, 210, 211, 213, 223

G

Granito (RCMG) 1, 2

L

Laje Maciça 150, 152, 153, 154

Lignina 80, 81, 82, 83, 96

M

Macapá 164, 165, 170, 171, 174, 175, 177, 178

P

Patologia 33, 149, 150, 151, 162, 163, 167, 178

Pavimentos 74, 130, 151, 164, 165, 166, 167, 169, 170, 171, 175, 178, 180, 191, 192, 193, 194, 195, 197, 198, 199, 201, 204, 205, 206, 207, 208

Pavimentos Isolados 193, 195, 197, 198, 199, 204, 205, 207, 208

Pilar 156, 193, 195, 196, 197, 198, 199, 205, 206, 214, 215

Pórtico Plano 193, 195, 199, 204, 205, 206, 207, 208

R

Recalque 138, 142, 145

Reciclagem de RCD, 49

Redes Coletoras 133, 136

Rejeito de Cobre 114, 115, 116, 117, 119, 123

Resíduo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 29, 31, 32, 36, 37, 38, 49, 50, 51, 52, 53, 58, 59, 60, 79, 80, 81, 82, 83, 90, 91, 93, 94, 95, 97, 98, 100, 102, 103, 114, 115, 132

Resíduo de Corte 1, 2, 3, 4, 15

Resíduo Reciclado 2

Resistência Mecânica 12, 14, 15, 17, 49, 51, 54, 55, 56, 57, 105, 115, 116, 120

Risco 138, 139, 147, 195, 226, 251, 255

S

Saneamento 107, 133, 134, 135, 137, 178, 182, 240, 279

Sapatas 209, 210, 211, 212, 213, 214, 216, 223

Solo 69, 71, 123, 135, 138, 139, 141, 143, 146, 147, 166, 168, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217, 220, 221, 222, 240, 267, 268, 269, 272, 273, 274, 276, 277, 279

Subsistência 138, 147

Sustentabilidade 80, 115, 240

T

Teoria da Elasticidade 209

V

Vigas 156, 157, 195, 196, 198, 199, 201, 208, 224, 225, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236

 **Atena**
Editora

2 0 2 0