

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2020

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2020

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 Cremona

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^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
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
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

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D451 O desenvolvimento sustentável na engenharia civil 2 /
Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João
Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-614-0

DOI 10.22533/at.ed.140202511

1. Engenharia civil. 2. Desenvolvimento sustentável. I.
Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João
(Organizador). III. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

Um dos grandes desafios enfrentados atualmente pelos engenheiros nos mais diversos ramos do conhecimento, é de saber ser multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas. Hoje exige-se que os profissionais saibam transitar entres os conceitos e práticas, tendo um viés humano e técnico.

Neste sentido este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber.

Para isso o mesmo traz temas correlacionados a engenharia civil, apresentando estudos sobre os solos e, bem como de construções e patologias, estando diretamente ligadas ao impacto ambiental causado e ao reaproveitamento dos resíduos da construção.

Destaca-se ainda a abordagem sob meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do estudo aprofundado sob eficiência energética em construções.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO AUTOMATIZADO EM INDÚSTRIA ESPECIALIZADA NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS E PISOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Andrezzo Julio Dantas Nascimento

Daniel de Jesus Lopes

João Luiz Cardeal Craveiro

Magno Santos Batista

DOI 10.22533/at.ed.1402025111

CAPÍTULO 2..... 14

AGREGADO MIÚDO PROVENIENTE DO RIO DOCE E SUA INFLUÊNCIA NA DURABILIDADE, RESISTÊNCIA E CARBONATAÇÃO DO CONCRETO

Luan Rangel dos Santos

Claudinei Antônio Montebeller

Lucas Soares Milanezi

Adriana Zamprogno

DOI 10.22533/at.ed.1402025112

CAPÍTULO 3..... 30

ANÁLISE DA ACELERAÇÃO DO RECALQUE DE UM ATERRO SOBRE SOLO MOLE

Talita Menegaz

Gisele Marilha Pereira Reginatto

Narayana Saniele Massocco

Rafael Augusto dos Reis Higashi

Thaís Ventura Chibiaqui

DOI 10.22533/at.ed.1402025113

CAPÍTULO 4..... 44

ANÁLISE DE RECALQUES EM ESTACAS ESCAVADAS EQUIPADAS COM O SISTEMA *EXPANDER BODY*

Fernando Feitosa Monteiro

Renato Pinto da Cunha

Carlos Medeiros Silva

Marcos Fábio Porto de Aguiar

DOI 10.22533/at.ed.1402025114

CAPÍTULO 5..... 55

ANÁLISE DE RISCO A ESCORREGAMENTO NA VILA COQUEIRAL REGIÃO NOROESTE DE BELO HORIZONTE

Charline Tarcilia Ferreira dos Santos

Lorrany Magescki Faria

Magno André de Oliveira

Eduarda Moreira Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.1402025115

CAPÍTULO 6.....	74
UTILIZAÇÃO DE BARREIRAS VERTICAIS NA REMEDIAÇÃO AMBIENTAL	
Luciana Regina Cajaseiras de Gusmão	
José Fernando Thomé Jucá	
Karla Salvagni Heineck	
DOI 10.22533/at.ed.1402025116	
CAPÍTULO 7.....	87
ESTUDO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM ALTAS TEMPERATURAS UTILIZANDO CINZA DA QUEIMA DE MADEIRA	
Marlon Hable	
Olaf Graupmann	
DOI 10.22533/at.ed.1402025117	
CAPÍTULO 8.....	106
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO COM USO DA VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO	
Kleber Marcelo Braz Carvalho	
José Renato de Castro Pessoa	
DOI 10.22533/at.ed.1402025118	
CAPÍTULO 9.....	121
ANÁLISE TENSÃO-DEFORMAÇÃO POR MEIO DO SOFTWARE PLAXIS 2D EM ESTACA HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA	
Arthur Duarte Dias	
Renato Pinto da Cunha	
Moises Antônio da Costa Lemos	
Gabriela de Athayde Duboc Bahia	
DOI 10.22533/at.ed.1402025119	
CAPÍTULO 10.....	133
UMA REVISÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Alex Gomes Pereira	
Benício de Moraes Lacerda	
Cristiano da Silva Vieira	
Emerson Diniz Viriato	
DOI 10.22533/at.ed.14020251110	
CAPÍTULO 11.....	147
ESTUDO DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL DE RIO VERDE, GO	
Marcel Sousa Marques	
Adriana Antunes Lopes	
Camila Ribeiro Rodrigues	
Katianne Lopes de Paiva	
Marcelo Mendes Pedroza	

Danielma Silva Maia
Enicléia Nunes de Sousa Barros
Daniel Rodrigues Campos
DOI 10.22533/at.ed.14020251111

CAPÍTULO 12..... 153

EVOLUÇÃO DA DIRETIVA EUROPEIA RELATIVA AO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS, O SUCESSO DE APLICAÇÃO PORTUGUÊS E OS DESAFIOS DO PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM EM EDIFICAÇÕES

Jaime Francisco de Sousa Resende
Andrea Lucia Teixeira Charbel
Teresa Cristina Nogueira Bessa Assunção

DOI 10.22533/at.ed.14020251112

CAPÍTULO 13..... 164

DESEMPENHO COMERCIAL DE EDIFÍCIOS CORPORATIVOS COM SELO AMBIENTAL NA REGIÃO DO PORTO MARAVILHA – RJ

Gustavo Ezequiel Andrés

DOI 10.22533/at.ed.14020251113

SOBRE OS ORGANIZADORES 178

ÍNDICE REMISSIVO..... 179

ESTUDO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM ALTAS TEMPERATURAS UTILIZANDO CINZA DA QUEIMA DE MADEIRA

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 07/09/2020

Marlon Hable

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Contestado – UnC
Mafra, Santa Catarina, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-6865-0590>

Olaf Graupmann

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Contestado – UnC
Mafra, Santa Catarina, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-2227-1437>

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo estudar a resistência a compressão de corpos de prova com porcentagens da areia substituídos por cinza de madeira, em condições normais e em períodos de exposição a elevadas temperaturas. Pois atualmente a quantidade de resíduos depositados na natureza é elevada, e esses resíduos podem ser utilizados como aditivos para o concreto, reduzindo o descarte desses materiais na natureza, quando adicionados ao concreto podem diminuir a necessidade de areia sem afetar as propriedades mecânicas, também reduzir a demanda da extração de areia das jazidas naturais amenizando o impacto ambiental. Realizamos pesquisas bibliográficas relacionadas ao tema para criar um procedimento para ensaiar as amostras. Elaborados traços com substituição de 0, 2, 5, 8 e 10% da areia do concreto por cinza, submetidos a temperatura

ambiente e de 500, 821, 927 e 1029°C em tempos de 30 min, 1hr e 2hr. Posteriormente as amostras passaram pelo ensaio de compressão apontando que em condições ambiente de temperatura qualquer porcentagem de substituição de 2 a 10% da areia por cinza se torna vantajosa. Para altas temperaturas os traços que tiveram melhor e parecido desempenho na resistência a compressão foram os de 0 e 5% de substituição da areia por cinza.

PALAVRAS-CHAVE: Cinza de Madeira. Fogo. Resistência à compressão. Concreto.

STUDY OF THE RESISTANCE OF CONCRETE AT HIGH TEMPERATURES USING ASH FROM WOOD BURNING

ABSTRACT: The objective of this work was to study the compressive strength of test specimens with sand percentages substituted by wood ash under normal conditions and in periods of exposure to high temperatures. As currently the amount of waste deposited in nature is high, and these residues can be used as additives for concrete, reducing the disposal of these materials in nature, when added to the concrete can reduce the need for sand without affecting the mechanical properties, also reduce the demand for the extraction of sand from the natural deposits, thus reducing the environmental impact. We performed bibliographic research related to the subject to create a procedure to test the samples. Traces with replacement of 0, 2, 5, 8 and 10% of concrete sand by ash, submitted to ambient temperature and 500, 821, 927 and 1029 ° C in times of 30 min, 1hr and 2hr. Subsequently the samples passed the compression test indicating

that under ambient temperature conditions any substitution percentage of 2 to 10% of the sand per ash becomes advantageous. For high temperatures the traces that had better and similar performance in the compressive strength were those of 0 and 5% of substitution of sand by ash.

KEYWORDS: Wood Ash. Fire. Compressive strength. Concrete.

1 | INTRODUÇÃO

Para ASHLEY [1], a resistência ao fogo é definida como a capacidade do membro estrutural de suportar a exposição a um incêndio sem perda de função de carga ou a capacidade de agir como uma barreira para espalhar um incêndio. Também podemos caracterizar a resistência ao fogo como a resistência à compressão do concreto depois de um período de exposição a altas temperaturas, a NBR 15200 [5] trata essas definições como função corta-fogo onde a estrutura tem a capacidade de isolante térmico e de estanqueidade de passagem de chamas, e a função de suporte onde ela se mantém estável evitando o colapso parcial ou global da estrutura.

Segundo UMASABOR e OKOVIDO [33], podemos dividir a resistência ao fogo em duas zonas. A zona normal com até uma hora de exposição ao fogo e a zona de segurança com até duas horas de exposição ao fogo. Desta forma as obras precisam ser pensadas e projetadas de maneira que em uma ocorrência de incêndio a estrutura se mantenha segura tempo suficiente para saída de todos os usuários. Para a NBR 15200 [5] o objetivo da verificação ao fogo é que a estrutura deve limitar o risco a vida humana, o risco a vizinhança, da própria sociedade e o risco da propriedade exposta ao fogo. Entretanto, a compreensão do real comportamento de estruturas expostas ao fogo, bem como testes experimentais estão sendo aprimoradas com o passar dos anos, a fim de aumentar a segurança aos usuários.

GEORGALI e TSAKIRIDIS [20] e HANDOO et al. [22], relatam que altas temperaturas são muito prejudiciais ao concreto afetando sua densidade, elasticidade, aparência superficial e a resistência à compressão.

DEMIRBOĞA et al. [18], WANG [34] e AYDIN [14] relatam que a melhor maneira de melhorar a resistência ao fogo do concreto é fazer a substituição do cimento por materiais pozolânicos dentre estes a escória granulada de alto forno, cinza volante, cinza de casca de arroz, sílica ativa são os aditivos minerais comumente mais usados no concreto.

YÜZER et al. [36], realizou um estudo das propriedades do concreto quando exposto a temperaturas de 100, 200, 300, 600, 900 e 1200°C, em concretos com e sem sílica ativa. O autor concluiu que até 300°C a resistência a compressão das amostras praticamente não tiveram alterações, de 300°C 600°C iniciaram-se as diminuições da resistência a compressão, a 900°C as perdas de resistência já estavam na ordem de 55% para concretos normais, para concretos com sílica ativa

as perdas de resistência foram evidentes a partir de 600°C, porém em temperaturas de 900°C a perda de resistência foi de 75%, e segundo seus estudos não houveram mudanças significativas entre 900 e 1200°C.

LI et al. [25], fez estudos sobre as propriedades dos concretos de diferentes resistências características expostos a altas temperaturas. As amostras foram expostas a temperaturas de 200, 400, 800 e 1000°C e resfriados a temperatura ambiente. Ele concluiu que a resistência a compressão mantida das amostras com resistência característica de 70 Mpa, foram de 82,3%, 63,2%, 58,1% e 27,3% para as temperaturas de 200, 400, 800 e 1000°C respectivamente. Também concluiu que, quanto maior a resistência característica do concreto maior a perda de resistência em altas temperaturas.

A NBR 5628 [6] prevê uma curva padrão de temperatura-tempo que especifica a qual temperatura se encontra o incêndio devido ao tempo em que ele está ocorrendo, já a NBR 15200 [5], apresenta um fator de redução, tanto de resistência como também módulo de elasticidade para o concreto conforme a temperatura em que a estrutura foi exposta.

Nos estudos realizados por LI et al. [25] na microestrutura do concreto danificada pelo fogo, foram feitas observações que mostraram que o processo de fissuração da superfície do concreto por desidratação iniciou-se a partir de 100°C e terminou em 540°C onde toda a água livre foi removida. O craqueamento e amolecimento da superfície do concreto ocorreu entre 450 e 500°C devido a decomposição do $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Fissuras profundas no concreto indicaram temperaturas superiores a 700°C, a cor cinza apontou temperaturas maiores que 800°C.

Como não é viável se estudar estruturas de concreto em alta temperatura pois existe uma demanda de equipamentos específicos, LUCCIONI et al. [26], SANAD et al. [29], e XIAO e KÖNIG [35], elaboraram modelos numéricos e computacionais para análise de estruturas que sofreram algum evento de exposição a alta temperatura, podendo apontar o seu grau do dano. esses métodos foram comparados junto a ensaios em amostras reais e garantidos a sua eficácia.

No entanto, levando em consideração a finalidade da estrutura a mesma deve atender certas exigências de resistência ao fogo, e os materiais devem ser empregados a fim de suprir tal necessidade. Para isso muitas vezes existe a necessidade de melhorar algumas das propriedades dos concretos, e alguns elementos minerais podem fazer isso.

O aumento da população, a expansão da urbanização, o aumento do modo de vida, devido às inovações tecnológicas exigiram uma enorme quantidade de recursos naturais na indústria da construção, o que resultou na escassez de recursos. Essa escassez motiva os pesquisadores a utilizarem os resíduos sólidos gerados pelas atividades industriais, de mineração, domésticas e agrícolas, retrata

PRUSTY et al. [28].

BOUZOUBAA et al. [15], usaram misturas minerais, como sílica ativa, cinza volante e escória de alto forno, para verificar os ganhos nas propriedades do concreto, GRAUMPMANN et al. [21] relata que substituições de 5% do agregado miúdo do concreto por cinza de aterro sanitário confere ao concreto maior resistência a compressão em idades iniciais.

A adição de materiais pozolânicos ao cimento para melhorar as propriedades de argamassa e concreto tornou-se recentemente uma questão emergente nas indústrias de cimento e construção afirma TULASHIE et al. [32].

Muitos materiais pozolânicos são obtidos dos resíduos industriais e agrícolas, o que acaba tornando muito viável a sua utilização.

Pozolânas de resíduos agrícolas estão recebendo mais atenção agora, já que seus usos geralmente melhoram as propriedades do cimento misturado e reduzem os problemas ambientais, segundo CHINDAPRASIRT et al. [17].

A utilização desses materiais na construção civil acaba se tornando uma saída para ajudar o meio ambiente, pois o rejeito que não é mais útil, deixa de ser depositado diretamente na natureza, evitando contaminações no solo, água, ar e da população, e passa a melhorar as propriedades das estruturas de concreto em que são aplicados.

Segundo IGARASHI et al. [24], a explicação para a melhora das propriedades dos concretos com adições pozolânicas, se resume na reação do cimento com a pozolana, assim são formados mais hidratos de silicato de cálcio o que confere ao concreto maior durabilidade e resistência.

Está bem documentado que a capacidade de fortalecimento de uma mistura mineral não depende apenas da reatividade pozolânica, mas também do efeito de preenchimento, segundo BUI et al. [16].

A escória granulada de alto forno, um subproduto industrial da indústria siderúrgica, serve como um material cimentício suplementar ao formar um gel adicional de hidrato de silicato de cálcio (C-S-H) de baixa densidade, assim, aumenta a densidade da matriz através de um preenchimento de poros segundo WANG [34].

Partículas mais finas tendem a se concentrar perto da interface agregado-matriz, levando à redução da porosidade e aumentando a capacidade de ligação interna comenta BUI et al. [16].

Mas algumas pesquisas apontam que devemos ter cuidados quanto ao uso dos materiais pozolânicos em concretos para elevadas temperaturas, pois o aumento da densidade da mistura deixa ela mais sensível a variações de temperatura segundo HERTZ [23].

Levando em consideração as referências estudadas, este estudo pretende analisar a resistência a compressão do concreto antes e depois da exposição a

altas temperaturas de concretos padrões e com a substituição de porcentagens do agregado miúdo (areia) por cinza proveniente da queima da madeira, resíduos de uma caldeira que fornece vapor para uma empresa de papelão ondulado localizada na cidade de Rio Negro, Paraná.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Pela revisão bibliográfica da literatura sobre o assunto seguindo para a caracterização dos materiais, elaboramos um apanhado dos conceitos para criar um procedimento de ensaio em laboratório, para no fim fazer uma análise dos resultados.

2.1 Materiais utilizados

Para a pesquisa foram empregados os seguintes materiais: cimento CP II-Z, areia, brita e cinza resultante da queima de pinus e eucalipto. A substituição da areia por cinza se deu em diferentes teores dentre eles, 0%, 2%, 5%, 8%, 10%.

2.1.1 Areia

A areia utilizada na pesquisa tem origem quartzosa, seu módulo de finura é de 2,52, com diâmetro máximo do agregado de 2,36 mm a massa específica é de 2,6 g/cm³. Os resultados do módulo de finura e diâmetro máximo do agregado seguiram as determinações da NBR NM 248 [2], a massa específica teve origem do ensaio de Chapman prescrito na NBR 9776 [12]. Para classificação da areia utilizada na pesquisa quanto a zona de graduação, usamos como padrão as orientações da NBR 7217 [11] e NBR 7211 [10], no ensaio a amostra foi devidamente seca em uma estufa a 105° C por um período de 24hs. A próxima etapa foi a pesagem da amostra, seguido do peneiramento mecânico com a sequência de peneiras prevista na norma, dado o peneiramento da areia, foram pesadas as quantidades retidas em cada peneira e verificado a porcentagem que ficou retida em cada uma. Logo os valores foram comparados com a tabela da NBR 7211 [10] e caracterizado a areia da pesquisa na zona 3 (areia média). A curva granulométrica da areia está representada na Figura 1.

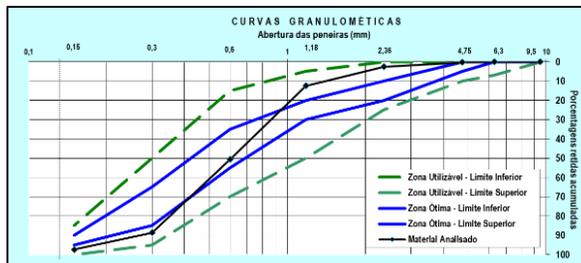


Figura 1: Curva granulométrica do agregado miúdo utilizada na pesquisa.

2.1.2 Brita

A brita, sua origem é granítica, seu módulo de finura é de 6,90, o diâmetro máximo do agregado é de 12,5mm obtidos pela NBR NM 248 [2], tem por massa específica e absorção os valores de 2,88 g/cm³ e 0,21% respectivamente obtidos pela NBR NM 53 [13], a caracterização da brita na zona de graduação, teve por base os padrões da NBR 7211 [10] e NBR 7217 [11] que da mesma forma foram secas, pesadas, peneiradas e posteriormente pesado e transformado em porcentagem o quanto ficou retido em cada peneira, a próxima etapa contemplou a caracterização junto a NBR 7211 [10] que atendeu os valores da Graduação 1. A representação da curva granulométrica é apresentada na Figura 2.

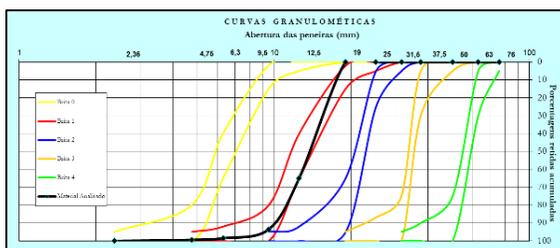


Figura 2: Curva granulométrica do agregado graúdo utilizado na pesquisa.

2.1.3 Cimento

Para a presente pesquisa foi utilizado o Cimento Portland Composto CP II-Z classe 32, que segundo a NBR 11578 [4], “é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados”.

Este cimento segundo ABCP apud POUHEY [27], tem teores de pozolana

que variam de 6 a 14% da sua massa, a classe 32 significa que a sua resistência característica aos 28 dias é de 32 Mpa e pode ser aplicado a vários tipos de obras.

2.1.4 Cinza

O material para substituição da areia, foi a cinza proveniente da queima de madeira combustível para uma caldeira de vapor de uma empresa de papelão ondulado. As madeiras queimadas no processo da empresa, são tanto de pinus como de eucalipto, não tendo proporções exatas, pois a empresa não faz o controle do tipo do material que é queimado.

Quando coletada a cinza, notamos uma granulometria bem heterogênea com partículas muito grandes e também bastante impurezas, então para utilizar esse material na pesquisa como substituição da areia, houve a necessidade de peneirar esse material para a retirada das partículas grandes e das impurezas, foi utilizado uma peneira manual com abertura da malha de 2,79mm, então foi obtido o material para ser usado na pesquisa.

Uma amostra foi separada para ser classificar quanto a sua granulometria, os valores retidos nas peneiras estão apresentados na Tabela 1.

Abertura mm	Peso Retido (g)	%	Σ %
2,36	42,80	8,56%	8,56%
1,18	72,36	14,47%	23,03%
0,600	226,42	45,28%	68,32%
0,300	118,91	23,78%	92,10%
0,150	11,87	2,37%	94,47%
Fundo	27,64	5,55%	100,00%
	500,00	100,00%	

Tabela 1: Valores das massas e porcentagem amostra de cinza retido em cada peneira.

O resultado do módulo de finura da cinza estabeleceu o valor de 2,86, com diâmetro máximo do agregado de 2,36 mm seguindo o ensaio da NBR NM 248 [2], o resultado da massa específica foi de 2,3 g/cm³ obtido pelo ensaio de Picnômetro descrito no DNER-ME 084 [19]. Para obter a zona de graduação da cinza comparamos os resultados da Tabela 1, com a NBR 7211 [10], apenas com a retirada dos materiais de grande granulometria o restante das cinzas atendeu os valores da zona 3, granulometria média, assim permitindo a substituição das porcentagens do agregado miúdo por cinza por serem classificados na zona 3 (média). A curva granulométrica da cinza está representada na Figura 3.

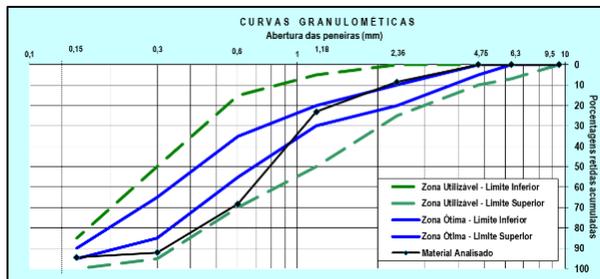


Figura 3: Curva granulométrica da cinza que substituiu o agregado miúdo da pesquisa.

2.2 Traço do concreto

Para a definição do traço foram feitas verificações junto a norma NBR 6118 [9] que impõem como resistência mínima a compressão do concreto considerando uma classe de agressividade CAA III (Forte) é de C30 (30 Mpa), e para chegar a resistência estabelecida foi utilizado o traço de concreto apresentado pela tabela SINAPI [31] do ano de 2016, este traço resulta na resistência característica necessária de 30 Mpa na compressão, as proporções para o mesmo se dão na ordem de 1 : 2,1 : 2,5 (Cimento : Areia média : Brita 1) com o preparo mecânico em betoneira.

Na moldagem do traço padrão, o qual não é contemplado com a adição de cinza foi utilizado um fator a/c (água/cimento) de 0,55 para classe de agressividade CAA III que é previsto na NBR 6118 [9], fator a/c que foi mantido para a moldagem de todos os corpos de prova.

A umidade dos agregados o qual poderia a influenciar na alteração do fator a/c foi desconsiderada, pois todos os agregados utilizados na pesquisa passaram por um processo de secagem, os mesmos eram submetidos a um período de 24 horas em um forno a 105°C de temperatura retirando toda a umidade dos mesmos, garantindo a moldagem uniforme de todas as amostras.

2.3 Método de dosagem dos concretos

As variadas misturas de concreto foram dosadas em uma betoneira de eixo inclinado de capacidade para mistura de 150 litros. O tempo de mistura de cada amostra na betoneira era de 5 minutos.

A sequência de mistura dos agregados na betoneira foi a seguinte: brita, 70% da água, cinza (quando utilizada), cimento, areia, e o restante da água.

Decorridos 5 minutos misturando na betoneira era realizado o ensaio de troco de cone (*slump test*) seguindo as orientações da NBR NM 67 [3] a fim de verificar a consistência da amostra e verificar se seria necessário algum ajuste no traço. A

amostra padrão apresentou um abatimento no *slump* de 70mm então utilizamos este valor como referência e estipulamos uma tolerância de ± 10 mm.

2.4 Moldagem dos corpos de prova

Os diferentes traços de concreto produzidos foram moldados em corpos de prova cilíndricos de dimensões 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura, e foram conduzidos segundo a NBR 5738 [7], a primeira etapa consistia na preparação nos moldes, que contemplava a limpeza e a aplicação de desmoldante para facilitar desforma dos corpos de prova, assim se iniciava a moldagem realizando o preenchido da metade do molde com concreto, então se adensava com 12 golpes esta camada sendo eles 1 golpe por segundo, então era disposto o concreto da camada restante ultrapassando brevemente a superfície do molde e assim era realizado o último adensamento de 12 golpes, com a colher de pedreiro se executava uma leve regularização da superfície do molde.

2.5 Cura dos corpos de prova

Decorridas 24 horas da moldagem dos corpos de prova o próximo passo era efetuar a desmoldagem desmontando os moldes e retirando os corpos de prova. Os corpos de prova eram submetidos a cura úmida que implica na imersão em água como sugere a NBR 5738 [7], porém a imersão foi somente em água sem misturas, o intuito era reproduzir o mais próximo possível o ambiente do canteiro de obras.

As amostras de referência de cada traço, as que não foram expostas a temperatura tiveram a sua cura em 7, 14 e 28 dias submersas em água, para cada período e traço se tinham 3 corpos de prova que posteriormente foram rompidos, a resistência adotada foi a resultante da média dos 3 corpos de prova de cada período de cada traço.

Já as amostras que tiveram a sua exposição a temperatura sua cura se deu de forma diferente, seguindo o seguinte procedimento, após passadas as 24 horas da moldagem do corpo de prova, era feita a desmoldagem e a alocação dos corpos de prova no tanque submersos em água, porém o tempo de submersão se estendia por 15 dias, após esse tempo o corpo de prova era retirado do tanque e o restante da cura era feito nas condições ambiente pelos seguintes motivos, para retratar o mais próximo possível o ambiente do canteiro de obras onde o concreto não passa por toda sua idade de cura submerso em água e também para garantir que o corpo de prova portasse o mínimo de umidade possível, pois ao ser elevada a temperatura a umidade presente no interior do CP (Corpo de Prova) tende a fazer pressão interna podendo levar a ruína do CP.

2.6 Preparação para queima na mufla

Antes das amostras serem levadas à mufla, elas passaram pelo processo de

retificação das faces de contato segundo NBR 5738 [7], pois como já era esperado a acentuada perda de resistência, poderia haver o risco de as amostras romperem se fossem submetidas a retifica após a exposição a elevadas temperaturas.

Então as amostras foram levadas a mufla e posicionadas conforme a Figura 4, com cada traço posicionado em linhas, também foram instaladas placas de cerâmica Figura 5 para evitar o contato muito próximo com as resistências laterais da mufla, o que poderia gerar resultados divergentes entre as amostras.



Figura 4: Representação da disposição dos traços.



Figura 5: Placas de cerâmicas instaladas nas lateral

2.7 Mufla

Para a aplicação das altas temperaturas nos corpos de prova foi utilizado uma mufla elétrica da marca jung com dimensões da área de aquecimento 800x800x800 (altura x largura x profundidade) com capacidade máxima de aquecimento de 1100° C, neste foram elaborados programas para secagem dos corpos de prova e posteriormente a queima deles.

2.7.1 Queima dos corpos de prova

Antes da queima por haver o risco de explosão do concreto todas as amostras foram secadas por um período de 24h a uma temperatura de 105° C, pois segundo a redução da umidade a teores menores de 3% resultaram numa diminuição da explosão das amostras HERTZ [23]. Decorrido o tempo de secagem, a mufla iniciava automaticamente a rampa de aquecimento para as temperaturas de simulação do fogo, aquecendo cerca de 5° C por minuto, ao chegar às temperaturas de 521, 821, 927 e 1029° C, as amostras ficavam o período de 30 min, 1h ou 2h então o forno era desligado automaticamente e deixado esfriar até ficar a temperatura ambiente.

2.8 Rompimento dos corpos de prova

Para o rompimento dos corpos de prova foi utilizada uma máquina universal de ensaios e como especificado na NBR 5739 [8] o ensaio transcorreu 24hs após o período de queima. A unidade de medida dos resultados obtidos na prensa eram em Ton/Força que posteriormente foram transformados para Mpa que é a unidade mais usual para este tipo de resultado.

3 | RESULTADOS

Concluídos os ensaios e anotados os resultados, pode ser feito uma análise local com cada faixa de temperatura e posteriormente uma análise global, também foi possível comparar os resultados obtidos com o que as normas vigentes preveem.

3.1 Amostras Padrão (Sem exposição ao Fogo)

Os resultados obtidos nas amostras padrão estão apresentados na Figura 6 na análise dos resultados podemos comprovar que todas as amostras com adições se sobressaíram em relação ao traço sem substituição.

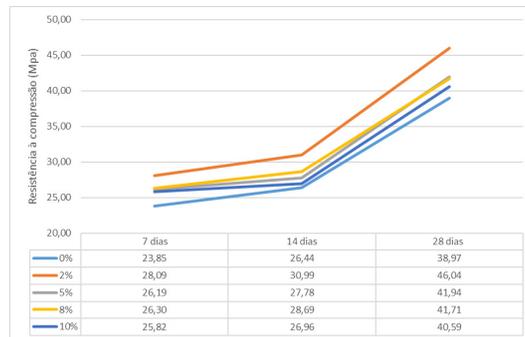


Figura 6: Resistência à compressão nas diferentes idades de cura (Sem exposição a elevada temperatura).

BOUZOUBAA et al. [15] comenta sobre a adição de cinza para obter ganhos nas propriedades do concreto, o ganho na resistência a compressão está envolvido com as reações pozolânicas, que aumentam a capacidade ligante da amostra e também na densidade, onde a adição de cinza preenche melhor os vazios do concreto assim melhorando a homogeneidade e consequentemente a resistência.

3.2 Faixa de temperatura de 521°C

Segundo a NBR 5628 [6] um fogo de 5 min de duração já apresenta temperaturas superiores a 500° C, logo esta foi uma das temperaturas adotadas para analisar o dano na resistência do concreto, os resultados são expressados no Figura 7.

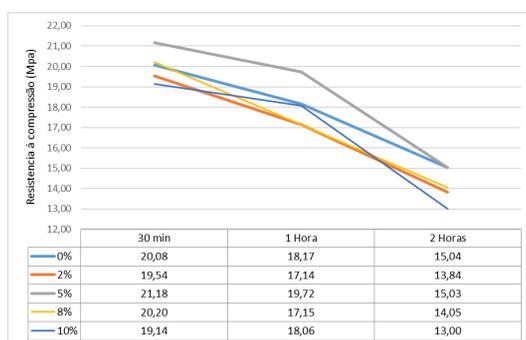


Figura 7: Resistência/Tempo faixa de temperatura de 521°C.

Como podemos observar o primeiro impacto na perda de resistência do concreto é muito elevado, mas temos que levar em consideração que a diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura de fogo é grande também justificando a queda brusca de resistência, mas em comparação das amostras podemos verificar que a amostra de substituição de 5% foi a que teve melhores resultados os quais foram muito parecidos com a amostra 0%, já as amostras 2%, 8% e 10% apresentaram uma resistência retida menor, podendo ser justificado o estudo de LI et al. [25] que afirma, quanto maior a resistência característica do concreto maior a sua perda devida a sua maior pressão interna.

3.3 Faixa de temperatura de 821°C

Na amostras de 821° C como mostra a Figura 8, não ocorreram grandes perdas quando a temperatura foi mantida constante e o tempo de exposição prolongado, já em relação ao desempenho das amostras as que se sobressaíram foram as amostras de 0% e 5% tendo desempenho muito parecido, com exceção do tempo de 30 min, pois elas apresentam uma resistência um pouco abaixo das demais

amostras porém quanto maior o tempo de exposição mais elas retêm resistência em relação as demais amostras.

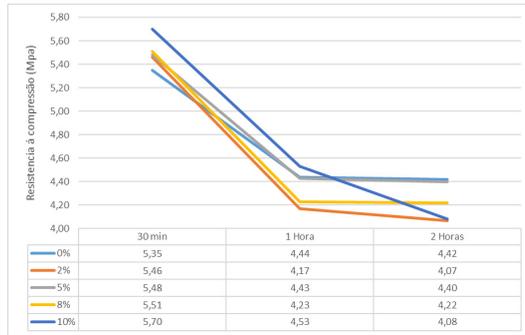


Figura 8: Resistência/Tempo faixa de temperatura de 821°C.

Verificando os resultados das amostras e em relação a demais trabalhos semelhantes, a resistência retida das amostras se apresenta menor, explicações para os resultados abaixo pode ser traduzido nos materiais e os métodos de ensaio não tenham sido feito de maneira igual, principalmente em relação aos agregados graúdos pois os agregados utilizados na pesquisa são de origem granítica e este material tem uma dilatação maior a temperatura, então os corpos de prova apresentam fissuras em uma temperatura menor que os demais agregados.

3.4 Faixa de temperatura de 927°C

Em temperaturas de 927°C pode notar o que foi comentado na pesquisa YÜZER et al. [36], que aponta que o concreto já não apresenta perdas significativas de resistência, pois já perdeu a maioria de suas propriedades os resultados da resistência são mostrados na Figura 9.

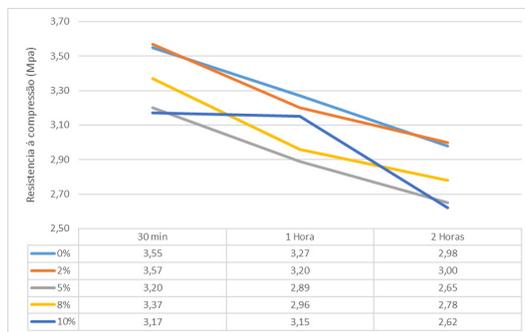


Figura 9: Resistência/Tempo faixa de temperatura de 927°C.

Podemos notar também pouca perda na resistência retida dos corpos de prova quando a temperatura é mantida e o tempo de exposição prolongado. Falando dos desempenhos entre as amostras as que se sobressaíram foram as de 2% e 0% com desempenho muito parecido ao fim das 2 horas de exposição ao fogo, seguidos das amostras de 8, 5 e 10% respectivamente, porém ser uma diferença gritante na resistência.

3.5 Faixa de temperatura de 1029°C

Nas temperaturas de 1029°C ficou ainda mais evidente a comprovação do estudo de YÜZER et al. [36], nesta pesquisa obtivemos as mesmas condições de resultados onde não houveram diferenças significativas entre 927 e 1029°C e também quando a temperatura foi mantida e o tempo de exposição elevado os resultados estão apresentados na Figura 10.

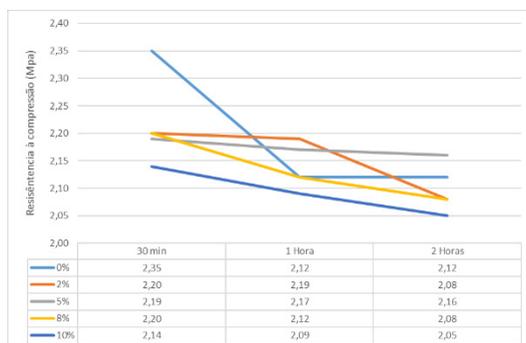


Figura 10: Resistência/Tempo faixa de temperatura de 1029°C.

Podemos ver a mínima variação de resistência entre as amostras aponta a ausência quase que total da capacidade resistente das amostras, e pode ser associado as fissuras do concreto e também dos agregados e das perdas de capacidade ligante do concreto devida a elevada temperatura, as amostras que se destacaram nessa exposição de temperatura foram as de 0% e 5% acumulando 2,12 e 2,16 Mpa respectivamente, seguido das amostras de 2 e 8% com valor de 2,08 Mpa e pôr fim a amostra de 10% com 2,05 Mpa com muito pouca diferença entre a amostra que reteve maior resistência.

Para fazer uma análise dos resultados de resistência das amostras a NBR 15200 [5] prevê um fator de redução para cada temperatura que o concreto foi exposto então foi elaborado uma tabela junto de um gráfico para analisar os resultados obtidos na pesquisa, como para algumas temperaturas não havia valores na tabela foi feito a interpolação para obter os valores necessários, como a NBR

5628 [6] associa um tempo a cada temperatura de incêndio pegamos esse valor correspondente e o dividimos pela resistência do traço aos 28 dias, assim obtivemos o quanto de resistência que cada amostra reteve a determinada temperatura, os valores estão expressados na Tabela 2.

Temperatura do Concreto °C	fc,θ/fck (Norma 15200/2004)	0%	2%	5%	8%	10%
521	0,5685	0,5151	0,4244	0,5050	0,4843	0,4715
821	0,1353	0,1372	0,1186	0,1307	0,1321	0,1404
927	0,0692	0,0839	0,0695	0,0689	0,0710	0,0776
1029	0,0313	0,0544	0,0457	0,0515	0,0499	0,0505

Tabela 2: Resistência retida conforme temperatura

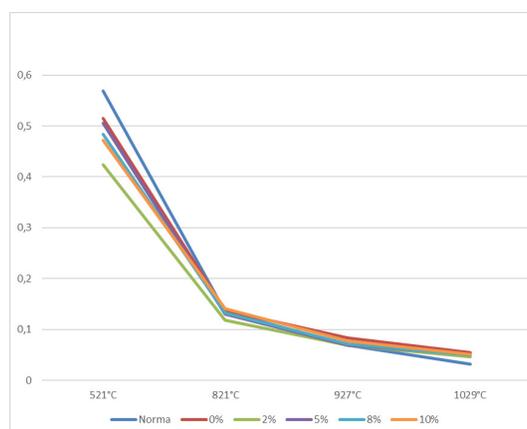


Figura 11: Fator de redução conforme temperatura atingida.

Analisando os resultados da Tabela 2 e visualizando na Figura 11 podemos notar que nas temperaturas iniciais as amostras de concreto ultrapassam o fator de redução especificado em norma, com exceção da amostra 0% que já retêm mais resistência que o previsto a partir de 821°C, as demais amostras reterão maior resistência do que o previsto a partir dos 927°C. Nos estudos elaborados por SAVVA et al. [30] são retratados uma perda maior de resistência dos concretos com substituições pozolânicas e agregados siliciosos na faixa de temperatura de 300 a 600°C, comenta também que nesta faixa de temperatura ocorre a decomposição do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e ao chegar a temperatura de 600°C o concreto já se apresenta totalmente desidratado.

4 | CONCLUSÕES

Com os resultados da pesquisa podem ser feitas as seguintes considerações finais, a cinza utilizada na pesquisa para substituição do agregado miúdo tem uma boa capacidade pozolânica, pois formou uma maior quantidade de hidrato de silicato de cálcio (CSH) o que conferiu ao concreto maior resistência a compressão como pode ser observado nas amostras que não foram expostas a elevadas temperaturas.

O traço de substituição de 2% da areia por cinza, aos 28 dias de cura e sem exposição a alta temperatura, apresentou uma resistência a compressão de quase 120% em relação ao traço sem substituição.

As amostras com substituição de 5% da areia por cinza e expostas a alta temperatura, apresentaram um desempenho de resistência a compressão muito parecido com as amostras sem substituição por cinza, podendo ser aplicado na construção civil.

Apesar da adição da cinza no concreto melhorar as suas propriedades mecânicas, as amostras sofreram maiores perdas dessas propriedades quando expostas a elevadas temperaturas como pode ser observado nas Figuras 7, 8, 9 e 10, condizendo com os resultados encontrados pelo autor LI et al. [25].

Todas as amostras em temperaturas iniciais tiveram perda de resistência maior do que previsto em norma, o que se reverteu em temperaturas a partir de 927°C onde a resistência retida ficou sendo maior que a prevista como apresentado na Figura 11.

Para concretos sem exposição a altas temperaturas, a substituição da areia em teores de 2 a 10% por cinza, melhoraram a qualidade do concreto, bem como suas propriedades mecânicas, evidente na Figura 6.

A utilização da cinza no concreto se torna viável, pois as propriedades mecânicas do concreto podem ser mantidas quanto expostas a altas temperaturas ou melhoradas quando não exposta a temperatura, e com essa utilização, a extração de areia do meio ambiente e o aterro de resíduos no caso a cinza seriam reduzidos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade do Contestado – Fundo de Apoio a Pesquisa (FAP-UnC).

REFERÊNCIAS

[1] ASHLEY, E. **Fire resistance of concrete structures**. *J. Concr. Focus* (2007), p. 67-72

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 11578: Cimento Portland composto**. Rio de Janeiro, 1991.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 5628: Componentes Construtivos Estruturais – Determinação da resistência ao Fogo**. Rio de Janeiro, 2001.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 7211: Agregado para concreto**. Rio de Janeiro, 1983.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 7217: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.
- [14] AYDIN, Serdar. **Development of a high-temperature-resistant mortar by using slag and pumice**. *Fire safety journal*, v. 43, n. 8, pp. 610-617, 2008.
- [15] BOUZOUBAA, Nabil et al. **Mechanical properties and durability of concrete made with high-volume fly ash blended cement produced in cement plant**. *Materials Journal*, v. 99, n. 6, pp. 560-567, 2002.
- [16] BUI, D. D.; HU, Jing; STROEVEN, Piet. **Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete**. *Cement and concrete composites*, v. 27, n. 3, pp. 357-366, 2005.
- [17] CHINDAPRASIRT, P.; RUKZON, S.; SIRIVIVATNANON, V. **Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash**. *Construction and Building Materials*, v. 22, n. 5, pp. 932-938, 2008.

- [18] DEMIRBOĞA, Ramazan; TÜRKMEN, İbrahim; KARAKOÇ, Mehmet Burhan. **Thermo-mechanical properties of concrete containing high-volume mineral admixtures.** *Building and Environment*, v. 42, n. 1, pp. 349-354, 2007.
- [19] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER-ME 084 – **Agregado miúdo – Determinação da densidade real.** Brasil, 1995.
- [20] GEORGALI, B.; TSAKIRIDIS, P. E. **Microstructure of fire-damaged concrete. A case study.** *Cement and Concrete composites*, v. 27, n. 2, pp. 255-259, 2005.
- [21] GRAUPMANN, Olaf et al. **Análise da resistência à compressão de concretos com adição de cinza de aterro sanitário.** *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 24, n. 2, 2019.
- [22] HANDOO, S. K.; AGARWAL, S.; AGARWAL, S. K. **Physicochemical, mineralogical, and morphological characteristics of concrete exposed to elevated temperatures.** *Cement and Concrete Research*, v. 32, n. 7, pp. 1009-1018, 2002.
- [23] HERTZ, Kristian Dahl. **Limits of spalling of fire-exposed concrete.** *Fire safety journal*, v. 38, n. 2, pp. 103-116, 2003.
- [24] IGARASHI, Shin-ichi; WATANABE, Akio; KAWAMURA, Mitsunori. **Evaluation of capillary pore size characteristics in high-strength concrete at early ages.** *Cement and Concrete Research*, v. 35, n. 3, pp. 513-519, 2005.
- [25] LI, Min; QIAN, ChunXiang; SUN, Wei. **Mechanical properties of high-strength concrete after fire.** *Cement and concrete research*, v. 34, n. 6, pp. 1001-1005, 2004.
- [26] LUCCIONI, B. M.; FIGUEROA, M. I.; DANESI, R. F. **Thermo-mechanic model for concrete exposed to elevated temperatures.** *Engineering Structures*, v. 25, n. 6, pp. 729-742, 2003.
- [27] POUHEY, Maria Tereza Fernandes. **Beneficiamentos da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.** 2006.
- [28] PRUSTY, Jnyanendra Kumar; PATRO, Sanjaya Kumar; BASARKAR, S. S. **Concrete using agro-waste as fine aggregate for sustainable built environment—A review.** *International Journal of Sustainable Built Environment*, v. 5, n. 2, pp. 312-333, 2016.
- [29] SANAD, A. M. et al. **Structural behaviour in fire compartment under different heating regimes—Part 1 (slab thermal gradients).** *Fire Safety Journal*, v. 35, n. 2, pp. 99-116, 2000.
- [30] SAVVA, A.; MANITA, P.; SIDERIS, K. K. **Influence of elevated temperatures on the mechanical properties of blended cement concretes prepared with limestone and siliceous aggregates.** *Cement and Concrete Composites*, v. 27, n. 2, pp. 239-248, 2005.
- [31] SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL – SINAPI: **CADERNOS TÉCNICOS DE COMPOSIÇÕES PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO**, p.16, 2016.

- [32] TULASHIE, Samuel Kofi et al. **Investigation of the compressive strength of pit sand, and sea sand mortar prisms produced with rice husk ash as additive.** *Construction and Building Materials*, v. 151, pp. 383-387, 2017.
- [33] UMASABOR, R. I.; OKOVIDO, J. O. **Fire resistance evaluation of rice husk ash concrete.** *Heliyon*, v. 4, n. 12, pp. e01035, 2018.
- [34] WANG, H. Y. **The effects of elevated temperature on cement paste containing GGBFS.** *Cement and Concrete Composites*, v. 30, n. 10, pp. 992-999, 2008.
- [35] XIAO, Jianzhuang; KÖNIG, Gert. **Study on concrete at high temperature in China—an overview.** *Fire safety journal*, v. 39, n. 1, pp. 89-103, 2004.
- [36] YÜZER, Nabi; AKÖZ, Fevziye; ÖZTÜRK, Leyla Dokuzer. **Compressive strength–color change relation in mortars at high temperature.** *Cement and Concrete Research*, v. 34, n. 10, pp. 1803-1807, 2004.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adensamento 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 95, 110, 115, 119, 126
Agregado 14, 15, 19, 21, 27, 28, 90, 91, 92, 93, 94, 102, 103, 104, 106, 139, 140, 146, 148
Argilas 30, 36, 39, 40, 42, 60
Aterro sanitário 90, 104, 147, 148
Automação 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13

B

Barreiras verticais 74, 76, 85, 86
Bentonita 74, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86
Blocos 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 56, 60, 61, 64, 66, 67, 68, 70, 123, 124, 137

C

Carbonatação 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29
Carga 5, 9, 17, 36, 39, 44, 45, 46, 50, 51, 52, 54, 88, 121, 122, 123, 126, 128, 129, 130, 131
Casca de arroz 88, 104, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 142, 143, 144, 145, 146
Cinzas 93, 134, 137, 138, 140, 143
Compressão 14, 15, 18, 19, 22, 25, 27, 28, 34, 35, 53, 54, 83, 87, 88, 89, 90, 94, 97, 98, 102, 103, 104, 106, 107, 109, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 125, 139
Concreto 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 78, 79, 87, 88, 89, 90, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 123, 125, 127, 128, 131, 134, 137, 138, 139, 140, 144, 146
Construção civil 2, 5, 7, 12, 14, 16, 19, 29, 90, 102, 104, 120, 133, 134, 135, 140, 142, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 171

D

Diretiva Europeia 153, 154
Drenos 30, 36, 37, 38, 41, 42

E

Eficiência energética 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163
Ensaio 13, 14, 17, 18, 19, 22, 25, 26, 27, 29, 32, 43, 44, 45, 47, 49, 50, 53, 89, 97,

106, 107, 108, 109, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 126, 131, 139
Estaca 44, 45, 46, 50, 52, 54, 121, 122, 123, 125, 127, 128, 129, 131
Etiquetagem 153, 154, 158, 159, 160, 161, 162, 163
Expand Body 44, 45, 46, 49, 50, 53, 54

F

Fogo 87, 88, 89, 97, 98, 100, 103

G

Geológica 55, 59

Geotécnica 31, 54, 55, 58, 64, 71, 78, 125, 126

H

Heurístico 55, 57

M

Madeira 19, 20, 87, 91, 93, 134

N

Numérica 32, 121, 122, 124, 126

P

Patologia 14, 18, 29, 119

Pisos 1, 2

Plaxis 2D 121, 122, 124, 127, 130, 131, 132

Pulso ultrassônico 106, 107, 108, 109, 111, 115, 117, 118

R

Recalque 30, 31, 32, 34, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 52, 53, 122, 123, 129, 130, 131

Remediação 74, 75, 76, 77, 84

Resíduos 65, 66, 70, 87, 89, 90, 91, 102, 133, 134, 138, 139, 147, 148, 149, 150, 151, 152

Resistência 14, 15, 16, 18, 19, 22, 25, 27, 28, 30, 31, 33, 34, 39, 41, 46, 48, 74, 76, 78, 81, 82, 83, 84, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 123, 125, 139

Rio Doce 14, 15, 18, 19, 21, 22, 23, 26, 27, 28

Risco 7, 10, 14, 55, 56, 57, 58, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 80, 88, 96, 97, 151, 168

S

Segurança 1, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 88, 107, 122

Simulação 97, 121, 124, 126, 128

U

Urbel 55, 56, 57, 58, 67, 70, 71

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br