



JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
RENNAN OTAVIO KANASHIRO
(ORGANIZADORES)

AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3

 **Atena**
Editora
Ano 2020



JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
RENNAN OTAVIO KANASHIRO
(ORGANIZADORES)

AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3

Atena
Editora
Ano 2020

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Karine de Lima Wisniewski

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 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, 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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 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. 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. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. 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
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. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
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. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
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. 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 Albornoz – 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
Bibliotecário Maurício Amormino Júnior
Diagramação: Luiza Alves Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A526 Ampliação e aprofundamento de conhecimentos nas áreas das engenharias 3 [recurso eletrônico] / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-389-7

DOI 10.22533/at.ed.897201709

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas. I. Dallamuta, João. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Kanashiro, Rennan Otavio.

CDD 620

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Caro(a) leitor(a)

Como definir a engenharia? Por uma ótica puramente etimológica, ela é derivada do latim *ingenium*, cujo significado é “inteligência” e *ingeniare*, que significa “inventar, conceber”.

A inteligência de conceber define o engenheiro. Fácil perceber que aqueles cujo ofício está associado a inteligência de conceber, dependem umbilicalmente da tecnologia e a multidisciplinaridade.

Nela reunimos várias contribuições de trabalhos em áreas variadas da engenharia e tecnologia. Ligados sobretudo a indústria petroquímica com potencial de impacto nas engenharias. Aos autores dos diversos trabalhos que compõe esta obra, expressamos o nosso agradecimento pela submissão de suas pesquisas junto a Atena Editora. Aos leitores, desejamos que esta obra possa colaborar no constante aprendizado que a profissão nos impõe.

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

PROPOSAL OF A CONCEPT FOR MODELING SMALL WIND TURBINES

Heitor Andrade Porto

Arthur José Vieira Porto

Carlos Alberto Fortulan

DOI 10.22533/at.ed.8972017091

CAPÍTULO 2..... 14

PROPOSTA DE ALGORITMO PARA REGRAS DE CIRCULAÇÃO DE TRENS EM FERROVIA SINGELA COM PONTOS DE CRUZAMENTO EM MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADA EM EVENTOS DISCRETOS OU AGENTES

Rafael Buback Teixeira

Luiz Henrique Lima Faria

Afonso Celso Medina

Augusto Cesar Pereira

Frederico Augusto Coelho Vieira da Costa

Luiz Antonio Silveira Lopes

Ivan Ronei Herzog Mação Campos

Lucas Corteletti Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.8972017092

CAPÍTULO 3..... 31

OTIMIZAÇÃO NÃO LINEAR E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: FERRAMENTAS NA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

Simone Aparecida Rocha

Thiago Gomes de Mattos

Rodrigo Tomás Nogueira Cardoso

Eduardo Gonzaga da Silveira

DOI 10.22533/at.ed.8972017093

CAPÍTULO 4..... 47

ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE APROVEITAMENTO COM GERAÇÃO HÍBRIDA HIDRÁULICO-FOTOVOLTAICO

Marianna Aranda Lima

DOI 10.22533/at.ed.8972017094

CAPÍTULO 5..... 59

DIAMOND INTEGRATED COATING BY ELECTROPLATING PROCESS - AN OVERVIEW

Regina Bertília Dantas de Medeiros

Janary Martins Figueiredo Filho

Meysam Mashhadikarimi

Uilame Umbelino Gomes

DOI 10.22533/at.ed.8972017095

CAPÍTULO 6..... 70

TECNOLOGIA ASSISTIVA: PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO PARA ESTÍMULO SENSORIAL

INTENSIVO

Mauro Fonseca Rodrigues
Diane Johann
Leonardo Rafael Willers
Gracieli Cristina Scherer
Kelly Gabriela Poersch

DOI 10.22533/at.ed.8972017096

CAPÍTULO 7..... 83

OBTENÇÃO DE NANOFERRITA DE MANGANÊS PELO MÉTODO DE COMBUSTÃO EM SOLUÇÃO (SCS) PARA APLICAÇÃO EM BIONANOCOMPOSITO

Ana Clara Ferreira de Sousa
Débora Albuquerque Vieira
Mireli Tomazi Fidelis
Anderson Souza Silva
Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa

DOI 10.22533/at.ed.8972017097

CAPÍTULO 8..... 94

TRATAMENTO DE METAIS PESADOS PRESENTES EM RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS POR ESTABILIZAÇÃO E SOLIDIFICAÇÃO EM MATRIZ DE CIMENTO

Eder Saulo de Freitas Galindo
André Luiz Fiquene de Brito

DOI 10.22533/at.ed.8972017098

CAPÍTULO 9..... 109

ESTUDO DA COMPACTAÇÃO E SINTERIZAÇÃO DE PÓS CERÂMICOS DE ZnO (ÓXIDO DE ZINCO) OBTIDOS POR REAÇÃO DE COMBUSTÃO COM POTENCIAL PIEZOELÉTRICO

Verônica Barbosa da Silva
Débora Albuquerque Vieira
José Bruno Silva Gomes
Sara Paulina Noronha Lima
Herbert Fonseca da Silva
Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa

DOI 10.22533/at.ed.8972017099

CAPÍTULO 10..... 122

INFLUÊNCIA DO USO DE AGENTE MODIFICADOR DE IMPACTO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO COPOLÍMERO RANDÔMICO DE POLIPROPILENO

Jesus Rogério Damé Pereira
Carmen Iara Walter Calcagno
Ruth Marlene Campomanes Santana

DOI 10.22533/at.ed.89720170910

CAPÍTULO 11..... 134

INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE SORBITOL E PROPILENOGLICOL NAS

CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DE FILMES DE QUITOSANA

Letícia Pereira Almeida

Francisco Fábio Oliveira de Sousa

DOI 10.22533/at.ed.89720170911

CAPÍTULO 12..... 140

O QUE FAZER COM OS REEE DO CESC E CESC?

Fernando Wesley Pinheiro Brito

Railane dos Santos de Sousa

Ana Sávia Constâncio da Silva

Maria de Fátima Salgado

DOI 10.22533/at.ed.89720170912

CAPÍTULO 13..... 152

LEVANTAMENTO SOCIOAMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS PERTENCENTES AO COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS SANTA TEREZA E SANTO ANTÔNIO

Walberisa Magalhães Gregório

Maria Cristina Bueno Coelho

Mauro Luiz Erpen

Maurilio Antônio Varavallo

Juliana Barilli

Asafe Santa Bárbara Gomes

Marcos Vinicius Giongo Alves

Marcos Vinícius Cardoso Silva

Yandro Santa Brigida Ataíde

DOI 10.22533/at.ed.89720170913

CAPÍTULO 14..... 160

REGRESSÃO MÚLTIPLA COMO INSTRUMENTO DE EXPLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VIOLÊNCIA NO BRASIL EM 2014

Afonso Fonseca Fernandes

Américo Matsuo Minori

Heber José de Moura

DOI 10.22533/at.ed.89720170914

SOBRE OS ORGANIZADORES 173

ÍNDICE REMISSIVO..... 174

TRATAMENTO DE METAIS PESADOS PRESENTES EM RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS POR ESTABILIZAÇÃO E SOLIDIFICAÇÃO EM MATRIZ DE CIMENTO

Data de aceite: 01/09/2020

Data de Submissão: 05/06/2020

Eder Saulo de Freitas Galindo

Universidade Federal de Campina Grande
Pesqueira – PE
<http://lattes.cnpq.br/4847128587761464>

André Luiz Fiquene de Brito

Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande – PB
<http://lattes.cnpq.br/6217476906635491>

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa para o tratamento de metais pesados existentes em resíduos sólidos perigosos por meio da técnica de estabilização e solidificação utilizando como material estabilizante o cimento Portland comum. O planejamento experimental consistiu em três etapas: elaboração de corpos de prova com resíduos sólidos de laboratório contaminados com zinco e cádmio adotando concentrações de 0%, 10%, 30% e 45%, com tempos de cura de 7 e 28 dias, realização dos ensaios de resistência à compressão do material estabilizado, ensaio de pH e análise estatística dos dados. O aumento da concentração de resíduos tóxicos da matriz influenciou de forma significativa na redução da resistência física do material além de reduzir significativamente o pH do extrato dos corpos de prova. A resistência física dos materiais se apresentou maior no aumento do tempo de cura e no decréscimo da percentagem de %RSL.

Os valores obtidos no ensaio de integridade do material obtiveram valores acima de 1 MPa, apresentando-se dentro dos limites para materiais estabilizados por solidificação, e o pH das médias mostrou-se dentro da faixa esperada para precipitação dos metais.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização/solidificação, resíduos tóxicos, meio ambiente.

TREATMENT OF HEAVY METALS PRESENT IN HAZARDOUS SOLID WASTE BY STABILIZATION/SOLIDIFICATION IN CEMENT MATRIX

ABSTRACT: This work aims to present an alternative for the treatment of heavy metals in hazardous solid waste by stabilization and solidification technique using as stabilizer material the common Portland cement. The experimental design consisted of three steps: elaboration of specimens with laboratory solid residues contaminated with zinc and cadmium adopting concentrations of 0%, 10%, 30% and 45%, with curing times of 7 and 28 days, performance of compressive strength tests of the stabilized material, pH test and statistical analysis of the data. The increase in the concentration of toxic matrix residues had a significant influence on the reduction of the material physical resistance and significantly reduced the pH of the specimen extract. The physical strength of the materials was higher by increasing the cure time and reducing the %RSL percentage. The values obtained in the material integrity test obtained values above 1 MPa, within the limits for materials stabilized by solidification, and the pH of the averages was within the expected range for metal precipitation.

KEYWORDS: Stabilization/solidification, toxic waste, environment.

1 | INTRODUÇÃO

A crescente industrialização nas últimas décadas têm desencadeado um aumento na geração de resíduos sólidos, dessa forma, têm-se criado uma preocupação em relação ao tratamento e destinação dos mesmos. Outro setor que possui relação direta com sociedade promovendo a formação de pessoas e participando do desenvolvimento social e econômico do país são as universidades, que geram quantidades significativas de resíduos sólidos perigosos, dessa forma, se descartados de forma irregular sem tratamento adequado os riscos de contaminação ambiental podem ser intensificados. A geração de resíduos perigosos, aliado à inexistência de um programa de gerenciamento, tem sido a principal causa da contaminação dos solos por esses materiais, e quando em contato com o ser humano pode comprometer inúmeras funções vitais devido ao potencial tóxico desses contaminantes (MAHMOOD et al., 2019). Neste contexto, os resíduos sólidos contendo cádmio e zinco em quantidades acima dos limites estabelecidos são classificados como classe I, ou seja, perigosos (ABNT NBR 10.004, 2004a). Metais pesados são altamente resistentes a degradação química ou biológica, geralmente são liberados sob formas elementares, tanto em compostos orgânicos e inorgânicos (KHALID et al., 2017).

O zinco quando em quantidades elevadas pode-se acumular no organismo e ser prejudicial, está presente no lodo gerado na indústria galvânica, bem como em resíduos de laboratório (PEREZ, 2017). O cádmio é um elemento não essencial para organismos vivos, pode causar danos agudos ao sistema respiratório e é cancerígena mesmo em baixas concentrações, além de que se descartado no solo, pode prejudicar processos fisiológicos e metabólitos de plantas e contaminar lençóis freáticos. (MAHMOOD et al., 2019).

A estabilização por solidificação (E/S) tem sido utilizada há mais de 50 anos como alternativa para o tratamento resíduos sólidos perigosos (CONNER, 1990; SPENCE e SHI, 2010; LIU et al., 2018). A técnica de E/S é empregada como opção de pré-tratamento ou tratamento propriamente dito de resíduos que não podem ser eliminados, reduzidos, reciclados ou utilizados no meio ambiente em que foram gerados (STEGEMANN; BUENFELD, 2003).

Os materiais utilizados como aglomerantes para E/S dividem-se em: material inorgânico como cimento e material pozolânico, e orgânico utilizando polímeros e termofixantes (BRITO; SOARES, 2009). A utilização do cimento Portland como aglomerante torna a técnica rentável, devido a alta disponibilidade no mercado e baixo preço, além de possuir fácil implementação e alta eficiência, valorizando o custo benefício do processo. (SPENCE e SHI, 2010; LIU et al., 2018).

A (E/S) é capaz de reduzir a mobilidade de um resíduo perigoso ao introduzi-lo em uma matriz sólida, em que o aglomerante pode ou não reagir quimicamente com os resíduos, apesar de mantê-lo fixo no material solidificado (PINTO, 2005). A técnica está relacionada com a retenção e imobilização do resíduo na matriz cimentícia, promovendo

aumento na resistência física do material e transformação desse resíduo em uma forma menos solúvel, menos tóxica e com um menor potencial de lixiviação. A disposição do material tratado é fundamental, desde que esse possua uma baixa permeabilidade e lixiviação, e propriedades que tornem o material apropriado para descarte (SPENCE e SHI, 2010; GUO et al., 2017; PRAKASH;GOWTHAM, 2018).

De acordo com Al-Tabbaa e Perera (2005), o processo de conversão dos cátions metálicos na estrutura da matriz cimentícia é promovido pelo pH alcalino do cimento ao ser hidratado e os resíduos são convertidos em óxidos, hidróxidos e carbonatos insolúveis. Pan et al., (2018) reduziu o potencial de lixiviação de um material orgânico contaminado com chumbo utilizando cimento Portland na técnica de E/S.

As etapas de hidratação levam à compactação da pasta reduzindo a distância entre os grãos e aumentando a viscosidade, e o contaminante é incorporado na estrutura do silicato de cálcio hidratado (C-S-H), possuindo fórmula molecular $\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Wiesława et al., 2015; BATES; HILLS, 2015; LI et al., 2018; Wang, Han e Mu, 2018).

O metal pesado ao entrar em contato com a composição da fase líquida provoca um distúrbio, desde que o espaçamento entre os grãos do cimento é modificado, a precipitação e nucleação do silicato de cálcio hidratado é alterada, formando um novo composto modificado de metal pesado (Wiesława et al., 2015). Vespa et al., (2014) analisou potenciais localizações para que os metais pesados pudessem ocupar na estrutura do silicato de cálcio hidratado (C-S-H), na figura 1 é possível observar como se comporta essa estrutura. Chen et al., (2011) avaliou que para uma maior eficiência na precipitação de metais pesados em hidróxido de cálcio a faixa de pH ideal estava em uma faixa de 9 a 11, onde existia uma menor quantidade dos íons de cálcio e que causou uma redução significativa concentração de metais em águas residuais contaminadas com Zn^{2+} e Cd^{2+} .

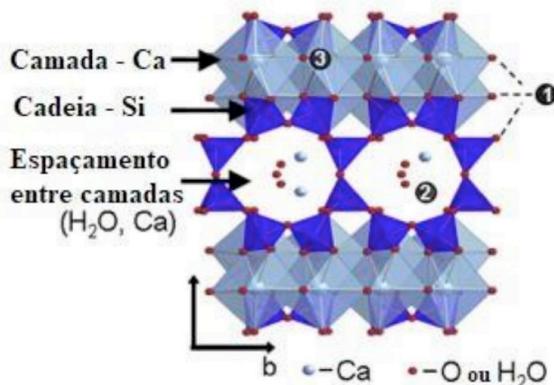


Figura 1 – Estrutura aproximada do C-S-H e possíveis localizações ocupadas por metais pesados.

Fonte: Vespa et al., (2014)

Ziegler e Johnson (2001) sugerem uma possível localização para íons Zn^{2+} , que em baixas concentrações possuem a tendência de serem incorporados na região (2). De acordo com o estudo de Tao et al., (2019), o zinco ocupa preferencialmente os sítios de cálcio ao invés dos sítios de silício pelo fato dos íons Zn^{2+} apresentarem mais similaridades de estruturas eletrônicas aos íons de cálcio. Esse trabalho tem como objetivo incorporar resíduos sólidos perigosos contaminados com zinco e cádmio em matriz de cimento, avaliar as características físicas e químicas dos materiais resultantes do tratamento usando a estabilização por solidificação.

2 | METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Gestão Ambiental e Tratamento de Resíduos (LABGER), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Química (UAEQ), localizada no Centro de Ciências e Tecnologia (CCT), na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na cidade de Campina Grande, no Estado da Paraíba, Brasil.

3 | DESENVOLVIMENTO

O planejamento experimental consiste em um plano de pesquisa no qual o pesquisador controla e/ou manipula as variáveis do processo. O objetivo é obter informações suficientes com o menor número de ensaios possíveis e analisar se os dados obtidos são compatíveis com o projeto experimental.

Para avaliar a E/S foram elaborados corpos-de-prova contendo resíduos sólidos de laboratório (RSL) contendo cádmio e zinco que foram recolhidos nos laboratórios de química analítica pertencentes a UAEQ/UFCG, aglomerantes e água. Segundo MALAVOLTA (1994), zinco e cádmio são considerados contaminante da água, do solo e alimentos, além de ser causador de diversos tipos de poluição.

Foi utilizado como aglomerantes, o cimento Portland comum, de acordo com o site do *ScienceDirect*, utilizando as palavras *stabilization* e *solidification* os dois mais importantes aglomerantes utilizados na E/S são respectivamente o cimento (87,65%) e o hidróxido de cálcio (13,58%) (ScienceDirect, 2016). A escolha dos aglomerantes foi em função do grande uso para tratar resíduos perigosos. A tabela 1 mostra as massas dos aglomerantes destacando o cimento Portland comum, resíduo sólido de laboratório, areia, brita e água. Foi usado quatro composições diferentes: 0%, 10%, 30%, 45%, e os experimentos foram em triplicata. Neste trabalho foram utilizados dois fatores: Percentual de resíduo sólido de laboratório (%RSL), e o tempo de cura de 7 e 28 dias. As respostas avaliadas foram: Resistência a Compressão (RC) e pH do extrato dos materiais estabilizados por solidificação.

% de RSL (Fator)	Massa de RSL(g)	Massa de Cimento(g)	Massa de Areia(g)	Massa de Brita(g)	Volume de Água (mL)
0	0	75	262,5	112,5	60
10	7,5	75,0	255,0	112,5	60
30	22,5	75,0	240,0	112,5	60
45	33,8	75,0	228,8	112,5	60

Tabela 1 - Massa e percentual das composições

Fonte: Próprio autor (2018)

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) para verificar se existe efeito significativo entre a percentagem de RSL e as variáveis respostas.

A Tabela 2 mostra a saída computacional do *Minitab18.1*, para a análise de variância.

Fonte	G.L	Soma do Quadrado (SQ)	Quadrado Médio (QM)	Valor F	Valor ^p e p ²
Regressão	1	SQR	QMR	QMR/QME	-
Resíduo	n-2	SQE	QME	-	
Total	n-1	SQT	-	-	

Tabela 2: Análise de variância (ANOVA).

Valor p^1 : Significativamente diferente ($p \leq 0,05$); 2 Não significativo ($p > 0,05$); n: Número de observação.

Fonte: MINITAB 18.1 (2017).

Os corpos-de-prova foram preparados seguindo as etapas propostas pela ABNT NBR 7215/1996 e utilizando também o protocolo de avaliação de materiais E/S (BRITO, 2007).

4 I ENSAIO DE INTEGRIDADE DO MATERIAL E/S

Foi realizado ensaio de resistência à compressão de acordo com a norma da ABNT NBR 7215 (1997), a figura 2-C mostra o equipamento para realização do teste. Os corpos de prova foram postos diretamente sobre o prato inferior de uma prensa de maneira que ficou rigorosamente centrado em relação ao eixo de carregamento, logo após foi aplicada uma força para avaliar qual a pressão máxima exercida pelo equipamento para provocar a quebra do material.

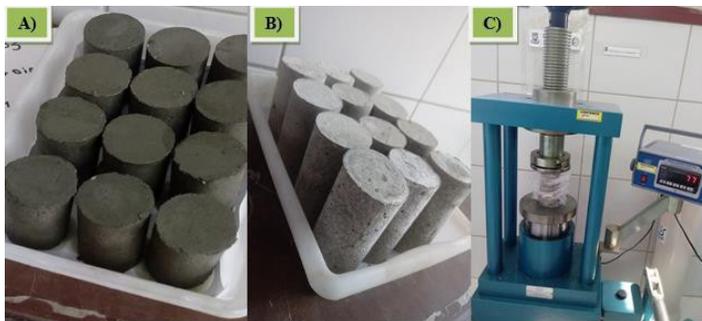


Figura 2 – Corpos de prova após 7 (A) e 28 (B) dias de cura e prensa (C)

Fonte: Próprio autor (2018)

5 | ENSAIO DE PH

O teste de pH é comumente utilizado para expressar o grau de acidez ou basicidade da amostra, essa determinação se faz preferencialmente a partir do material colhido e com sua umidade natural. Foi utilizado o método eletrométrico para determinação dos valores de pH das amostras que foram recolhidas após o ensaio de resistência a compressão. Os procedimentos analíticos foram realizados de acordo com o procedimento da APHA (2002).

6 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados finais estão apresentados em relação aos testes de pH e resistência à compressão dos corpos de provas estabilizados por solidificação. A caracterização do resíduo sólido de laboratório coletado nos laboratórios de química analítica pertencentes a Unidade Acadêmica de Engenharia Química (UAEQ) da UFCG através do ensaio de lixiviação está disponível na tabela 3. O resíduo bruto após o teste apresentou concentrações de 397 e 109 mg.L^{-1} , para zinco e cádmio, respectivamente, caracterizando-o como um resíduo classe I (perigoso) de acordo com a NBR 10.004 e 10.005 de 2004.

Metal	RSL Valor (mg.L^{-1})	Limite Máximo Permissível (LMP) (mg.L^{-1})	Limite Máximo Permissível (LMP) (mg.kg^{-1})
Zinco (2)	397	5	100
Cádmio (1)	109	0,5	10

Tabela 3 – Teor de metais pesados: Extrato Lixiviado do RSL

1-Parâmetros e limites máximos no extrato lixiviado e solubilizado conforme recomendação da ABNT NBR 10004 (2004a), ABNT NBR 10005 (2004b) e ABNT NBR 10006 (2004c). 2- Valores sugeridos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) - Portaria N0 195 de 2005 (CETESB, 2005). Fonte: LABGER (2018).

7 | TESTE DE PH

A tabela 4 e 5 mostram os valores de pH do extrato dos corpos de prova de acordo com a variação na %RSL, o ensaio foi realizado para o tempo de cura de 7 e 28 dias.

%RSL	pH (1)	pH (2)	pH (3)	Média
0%	12,29	12,28	12,31	12,30
10%	11,86	11,76	11,74	11,79
30%	11,64	11,24	11,28	11,39
45%	10,87	10,83	10,86	10,85

Tabela 4 – Valores de pH para 7 dias de cura.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

%RSL	pH (1)	pH (2)	pH (3)	Média
0%	11,0	11,04	11,02	11,02
10%	10,7	10,87	11,04	10,87
30%	10,75	10,67	10,65	10,69
45%	10,47	10,36	10,49	10,44

Tabela 5 – Valores de pH para 28 dias de cura.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

De acordo com os valores da tabela 4 e 5, é possível observar que ao aumentar a percentagem de contaminantes, os valores de pH diminuem. A diminuição do pH com o aumento na concentração de metais pesados relaciona-se com as reações de precipitação dos metais, já que os hidróxidos de metais precipitados removem os íons hidroxilas das proximidades, provocando a queda de pH. A eficiência sob qual os cátions são transformados é influenciada pelo tempo de cura, já que as principais reações de estabilização ocorrem nos primeiros 7 dias e se estendem até os 28 (LEE et al., 2002; PAN et al., 2018).

8 | ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE PH

Foi realizada uma análise de variância (ANOVA) através do software Minitab 18.1 (2017) para analisar se há diferença significativa entre as médias das composições e o teste de Tukey para avaliar quais médias diferem entre si, dados da tabela 4 e 5. O resultado do teste estatístico para verificar se há diferença entre a distribuição dos valores de pH em relação aos fatores %RSL e tempo se encontram na tabela 6.

Fonte	G.L	Soma do Quadrado (SQ)	Quadrado Médio (QM)	Valor F	Valor P
%RSL	3	4,4619	1,48732	46,91	0,000
Tempo (Dias)	1	2,6004	2,60042	82,01	0,000
%RSL*Tempo	3	0,9797	0,30323	9,56	0,000
Erro	16	0,5073	0,03171	-	
Total	23	8,4794	-	-	

Tabela 6 – Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta pH.

*($p \leq 0,05$): Significativamente diferente ao nível de 5% de probabilidade; ($p > 0,05$): Não significativo ao nível de 5% de probabilidade;

FONTE: Minitab 18.1 (2017).

Utilizando 5% de significância, o valor P apresenta um valor ($p \leq 0,05$) para os fatores %RSL, tempo e a interação entre ambos, indicando que existe diferença significativa entre os valores da variável resposta pH. Além disso, para verificar quais grupos diferem entre si o teste de comparação múltipla (Tukey) se encontra na tabela 7 e para a interação RSL*Tempo, na tabela 8.

%RSL	N	Média	Agrupamento	Tempo	N	Média	Agrupamento (Dias)
0	6	11,6567	A	7	12	11,580	A
10	6	11,3283	B	28	12	10,755	B
30	6	11,0383	C				
45	6	10,6467	D				

Tabela 7 – Teste de comparações múltiplas para os fatores %RSL e Tempo (Tukey).

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Minitab 18.1 (2017).

De acordo com o resultado do teste de Tukey observa-se que o pH do extrato nas concentrações: 0%, 10%, 30% e 45% e nos tempos de 7 e 28 diferem significativamente entre si, já que não há compartilhamento de letras entre os grupos, indicando que o aumento da percentagem de resíduo sólido perigoso contendo Cd^{2+} e Zn^{2+} e no tempo de cura da matriz solidificada possui influência na variação do pH.

%RSL	*Tempo	N	Média	Agrupamento
0	7	3	12,2933	A
10	7	3	11,7867	B
30	7	3	11,3867	C
0	28	3	11,0200	D
10	28	3	10,8700	D E
45	7	3	10,8533	D E
30	28	3	10,6900	E F
45	28	3	10,4400	F

Tabela 8 – Teste de comparações múltiplas para a interação %RSL*Tempo com resposta pH (Tukey).

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Minitab 18.1 (2017).

Foi possível observar que o valor da média diminuiu a medida que a concentração aumentava, assim como com o aumento do tempo de cura do material. Avaliando os pares [0 7]~[0 28] e [45 7]~[45 28], o primeiro par verifica-se a diminuição de pH com o aumento no tempo de cura, no segundo par, a diminuição de pH devido ao aumento de %RSL. O gráfico 1 mostra a relação dos dois fatores com a variável resposta.

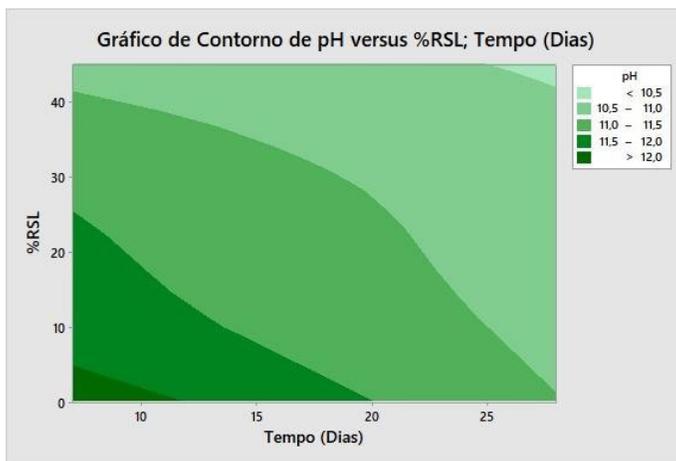


Gráfico 1 - Relação entre a variável resposta pH e os fatores %RSL;Tempo

Fonte: Minitab 18. (2018)

9 I ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os valores relacionados ao teste de resistência a compressão nos corpos de prova com tempo de cura de 7 e 28 dias estão disponibilizados na tabela 9 e 10 respectivamente.

%RSL	RC (MPa) (1)	RC (MPa) (2)	Rc (MPa) (3)	Média (MPa)
0%	7,5788	7,8436	6,3498	7,25
10%	6,6696	5,2557	6,5547	6,16
30%	2,0283	1,7686	2,0383	1,94
45%	0,9942	1,4738	1,3139	1,26

Tabela 9 – Valores de resistência à compressão em 7 dias de cura

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

%RSL	RC (MPa) (1)	RC (MPa) (2)	RC (MPa) (3)	Média (MPa)
0%	7,76370	6,15498	7,66875	7,20
10%	5,54548	5,42058	6,76448	5,91
30%	5,24071	4,85604	4,73114	4,94
45%	1,69362	2,50795	1,63866	1,94

Tabela 10 – Valores de resistência à compressão em 28 dias de cura

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Os valores de resistência à compressão nos tempos de 7 e 28 dias mostram que o tempo de cura é um fator que pode influenciar na resistência da massa cimentícia. Foi possível observar que ao aumentar a concentração dos contaminantes a tendência do corpo solidificado foi ter a sua resistência física reduzida. Wang, Han e Mu (2018) e Muhammad et al., (2018) observaram que o aumento da concentração de metais pesados reduziu a resistência à compressão da matriz solidificada. Pan et al. (2018) verificou que as reações decorrentes do processo de hidratação do cimento para tratar solo contaminado por metal pesado se tornaram mais frequentes com o aumento do tempo de cura.

De acordo com Brito (2007), os limites máximos permissíveis relacionados a resistência à compressão para um material E/S é ≥ 1 MPa, e um material solidificado quando $\geq 0,8$ MPa, além disso os materiais que obtiveram resistência acima de $\geq 0,9$ podem ser utilizados como material termoplástico, e os que obtiveram entre 1,5 – 4 MPa podem ser utilizados como tijolos maciços. Dessa forma apenas a repetição 1, de 45% RSL e 7 dias de cura, apresentou-se como material solidificado, todas as outras repetições foram aprovadas no teste de resistência à compressão como material estabilizado por solidificação.

10 | ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA RESULTADOS DE RC

Utilizando o software Minitab 18.1 (2017), foi realizada a ANOVA e o teste de Tukey utilizando os fatores tempo e %RSL para verificar se existe diferença significativa ao nível de 5% de significância entre as médias das composições dos resultados de resistência à compressão. Os resultados das análises estão disponibilizados na tabela 11 e 12.

Fonte	G.L	Soma do Quadrado (SQ)	Quadrado Médio (QM)	Valor F	Valor P
%RSL	3	115,626	38,5421	102,49	0,000
Tempo (Dias)	1	4,265	4,2646	11,34	0,004
%RSL*Tempo	3	10,019	3,3396	8,88	0,001
Erro	16	6,017	0,3761		
Total	23	135,927	-	-	

Tabela 11 – Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta RC

*($p \leq 0,05$): Significativamente diferente ao nível de 5% de probabilidade; ($p > 0,05$): Não significativo ao nível de 5% de probabilidade;

Fonte: Minitab 18.1 (2017).

Avaliando o valor P obtido para os fatores de %RSL, tempo e interação ($P \leq 0,05$), o teste mostra que existe diferença significativa na redução da resistência à compressão em relação aos três fatores.

%RSL	N	Média	Agrupamento	Tempo	N	Média	Agrupamento (Dias)
0	6	7,22660	A	28	12	4,99884	A
10	6	6,03509	B	7	12	4,15578	B
30	6	3,44385	C				
45	6	1,60369	D				

Tabela 12 – Teste de comparações múltiplas para %RSL e tempo com resposta RC (Tukey)

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Minitab 18.1 (2017).

Analisando os resultados obtidos no teste de Tukey na tabela 12, há diferença significativa na variável resposta entre todas as concentrações de %RSL e nos tempos de cura de 7 e 28 dias. Na tabela 13 está o resultado do teste de comparações múltiplas para a interação %RSL*Tempo.

%RSL	*Tempo	N	Média	Agrupamento	
0	7	3	7,25740	A	
0	28	3	7,19581	A	
10	7	3	6,16000	A	B
10	28	3	5,91018	A	B
30	28	3	4,94263		B
45	28	3	1,94675		C
30	7	3	1,94507		C
45	7	3	1,26063		C

Tabela 13 – Teste de comparações múltiplas para %RSL*Tempo (Tukey)

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Minitab 18.1 (2017).

É possível observar que o fator %RSL*Tempo não apresenta diferença significativa quanto a resistência à compressão em: [0 7]~[0 28], [10 7]~[10 28], [45 7]~[45 28]. Mas apresentam diferença significativa os fatores [30 7]~[30 28]. Através do gráfico 2 gerado pelo Minitab 18.1, pode-se verificar a influência dos fatores %RSL e tempo na variável resposta RC, a região de menor concentração de resíduos no maior tempo de cura, apresenta maior resistência à compressão..

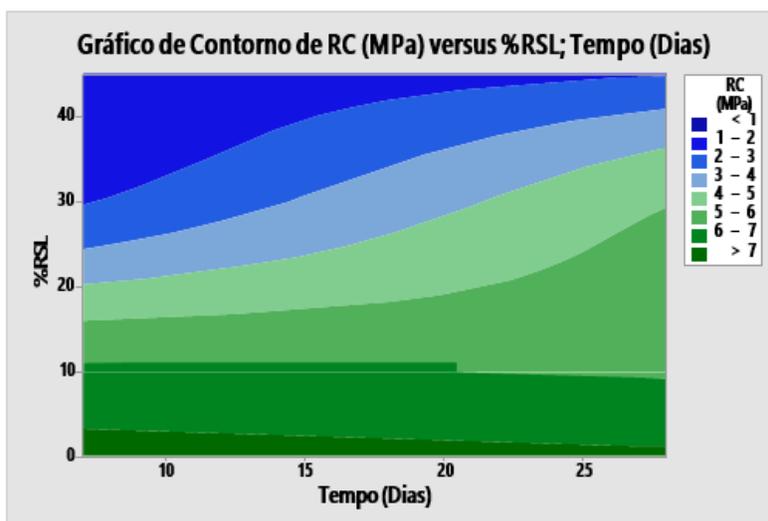


Gráfico 2 – Relação entre a variável resposta RC e os fatores %RSL;Tempo

Fonte: Minitab 18. (2018)

11 | CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nos testes de pH e resistência à compressão dos materiais estabilizados por solidificação utilizando resíduo sólido de laboratório pode-se concluir que:

1. A utilização do cimento Portland comum como aglomerante tornou o procedimento viável, tanto pelo baixo custo e disponibilidade quanto pela influência no método da E/S de resíduos tóxicos.
2. O aumento na concentração dos resíduos contendo zinco e cádmio influenciou de forma significativa na diminuição do pH do extrato, e na redução da resistência física do material, bem como o aumento no tempo de cura dos corpos de prova houve redução no pH e aumento da resistência física dos materiais. O pH das médias apresentou-se dentro da faixa desejada para precipitação dos metais zinco e cádmio com o hidróxido de cálcio.
3. Os valores de resistência à compressão dos corpos de prova (com exceção de apenas uma repetição de concentração 45%) se apresentarem acima do valor limite para materiais estabilizados por solidificação antes de imersão em água, em que de acordo com Brito (2007) esse valor é ≥ 1 MPa.

REFERÊNCIAS

AL-TABBAA, A; PERERA, A.S.R. Beyond conventional stabilisation/solidification. In: AL-TABBAA, A; STEGEMANN, J. **Stabilisation/Solidification Treatment and Remediation**. London: A.A. BALKEMA PUBLISHERS, 2005. p.367-369.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: APHA, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - *ABNT NBR 10.004*:

Resíduos Sólidos - Classificação. CENWin, Versão Digital, ABNT NBR 10.004, 71p, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA - *ABNT NBR 7215*: **Cimento**

Portland: Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 8p, 1996.

BATES, Edward ; HILLS, Colin. **Stabilization and Solidification of Contaminated Soil and Waste: A Manual of Practice**. Hygge Media: [s. n.], 2015.

BRITO, A.L.F.; SOARES, S.R. Avaliação da integridade e da retenção de metais pesados em materiais estabilizados por solidificação. **Eng Sanit. Ambient.** v.14, p.39- 48, 2009.

BRITO, A.L.F. **Protocolo de avaliação de materiais resultantes da estabilização por solidificação de resíduos**. 2007. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – UFSC, Florianópolis, 2007.

CHEN, Z.; ZHANG, J.; HUANG, L.; YUAN, Z.; LI, Z.; LIU, M. Removal of Cd and Pb with biochar made from dairy manure at low temperature. **Journal of Integrative Agriculture**. China: Elsevier. p. 201-210. 2019.

- CHEN, B.; QU, R.; SHI, J.; LI, D.; WEI, Z., YANG, X.; WANG, Z. Heavy Metal and Phosphorus Removal from Waters by Optimizing Use of Calcium Hydroxide and Risk Assessment. **Environment and Pollution. Environment and Pollution**. v.1. p. 38-54. 2011.
- CONNER, J.R. **Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes**. New York. Van Nostrand Reinhold, 1990. 692p.
- GUO, B.; LIU, B.; YANG, J.; ZHANG, S. The mechanisms of heavy metal immobilization by cementitious material treatments and thermal treatments: A review. **Journal of Environmental Management**. China: Elsevier.p. 410–422. 2017.
- HINES, W. W.; MONTGOMERY, D. C.; GOLDSMAN, D. M.; BORROR, C. M. **Probabilidade e estatística na engenharia**. Rio de Janeiro: LTC, 2006. p. 642.
- KHALID, S; SHAHID, M; NIAZI, N.K; MURTAZA, B; BIBI, I; DUMAT, C. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. **Journal of Geochemical Exploration**. Pakistan: Elsevier. p. 247-268. 2017.
- LEE, W. K. W.; van Deventer, J. S. J. The effect of ionic contaminants on the early- age properties of alkali-activated fly ash-based cements. **Cement and Concrete Research**, v. 32 (4), p. 577–584. 2002.
- LI, J.-S.; WANG, L.; Cui, J.-L.; POON, C. S.; BEIYUAN, J.; TSANG, D. C. W.; LI, X.-D. Effects of low-alkalinity binders on stabilization/solidification of geogenic As- containing soils: Spectroscopic investigation and leaching tests. **Science of The Total Environment**, p.631-632, p.1486–1494. 2018.
- LIU, L; LI, W; SONG, W; GUO, M. Remediation techniques for heavy metal- contaminated soils: Principles and applicability. **Science of total environment**. 633. p. 206-219. 2018.
- MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: Micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Produquímica, p.153. 1994.
- MAHMOOD, Q; ASIF, M; SHAHEEN, S; TAHIR HAYAT, M; ALI, S. Cadmium Contamination in Water and Soil. In: HASANUZZAMAN, M.; NARASIMHA VARA MINITAB Inc. **Statistical Software Data Analysis Software**. Version 18.1, 2017
- MONTGOMERY, D.C; RUNGER, G.C. **Estatística Aplicada e probabilidade para Engenheiros**. 2ª Ed. LTC Editora. São Paulo, 2003, 463p.
- MONTGOMERY, D.E. Introduction to Statistical Quality Control. Sixth edition New York: John Wiley and Sons, 2008.
- MUHAMMAD, F.; HUANG, X.; LI, S.; XIA, M.; ZHANG, M.; LIU, Q.; LI, D. Strength evaluation by using polycarboxylate superplasticizer and solidification efficiency of Cr^{6+} , Pb^{2+} and Cd^{2+} in composite based geopolymer. **Journal of Cleaner Production**, v. 188, p. 807–815. 2018.
- PRASAD, M.; FUJITA, M. **Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants**. Ed.1. Bangladesh: Academic Press. 2019. Cap. 6. p. 141-161. v.1.

PAN, Y.; ROSSABI, J.; PAN, C.; XIE, X. Stabilization/Solidification Characteristics of Organic Clay Contaminated by Lead When Using Cement. **Journal of Hazardous Materials**, v. 362. p. 132-139. 2018.

PEREZ, I. A., **Avaliação do potencial de encapsulamento de um solo contaminado com cloreto de zinco através da adição de cal e cimento**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio de Janeiro, 2017.

PINTO, C.A. **Estudo da estabilização por solidificação de resíduos contendo metais pesados**. 2005. 229f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005. 55p

PRAKASH, R.; SIDDHARTH, R.; GUNASEKAR, N. Cracking of Toxic Waste: Toxic Waste: Identification and Classification. In: BARIK, Debabrata. **Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation**. 1. ed. Índia: Woodhead Publishing Series In Energy, 2018. cap. 10, v. 1. p. 139-149.

PRAKASH, R.; GOWTHAM, M. Hazardous Waste and Its Treatment Process: Hazardous Waste Treatment. In: BARIK, Debabrata. **Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation**. 1. ed. India: Woodhead Publishing Series In Energy, 2018. cap. 10, v. 1. p. 119-138.

ROY, A; STEGEMANN, Nickel speciation in cement-stabilized/solidified metal treatment filtercakes. **Journal of Hazardous Materials**. v.321,p. 353–361. 2017.

STEGEMANN, J.A; BUENFELD, N.R. Predication of unconfined compressive strength of cement paste containing industrial wastes. **Wastes Management**. v.23, p.321-332, 2003.

SCIENCE DIRECT – ScienceDirect Info. Banco de Tese. Acesso em: 15 de Setembro de 2017 e 11 de Setembro de 2006. 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>

SPENCE, R.D; SHI,C. **Stabilization and solidification of hazardous, radioactive and mixed wastes**. Boca Raton, Florida. Ed. CRC Press. 2010. 2p.

TAO, Y.; LI, N.; ZHANG, W.; WANG, F.; Hu, S. Understanding the zinc incorporation into silicate clinker during waste co-disposal of cement kiln: A density functional theory study. **Journal of Cleaner Production**, v. 232, p. 329–336. 2019.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. U.S EPA - **Guide to the Disposal of Chemically Stabilized and Solidified Waste**. Washington, D.C., 1986b.

VESPA, M.; DÄHN, R.; WIELAND, E. Competition behaviour of metal uptake in cementitious systems: An XRD and EXAFS investigation of Nd and Zn-loaded 11 Å tobermorite. **J. Phy. and Chemistry of the Earth**. v.70-71, p.32-38. 2014.

WANG, Y.; HAN, F.; MU, J. Solidification/stabilization mechanism of Pb(II), Cd(II), Mn(II) and Cr(III) in fly ash based geopolymers. **Construction and Building Materials**, v.160, p.818–827. 2018.

WIESŁAWA, N.-W.; BARBARA, T.; SYLWIA, D. The Properties of Cement Pastes and Mortars Processed with Some Heavy Metal Nitrates Containing Solutions. **Procedia Engineering**, v. 108. p. 72–79. 2015.

ZIEGLER, F.; JOHNSON, C.A. The solubility of calcium zincate (CaZn₂(OH)₆2H₂O). **Cement Concrete Research**. v.31, p. 1327–1332. 2001.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmo 1, 14, 15, 21, 24, 25, 27, 28, 29, 32, 35, 38, 39, 45, 46, 70, 74, 76, 77

B

Bacia Hidrográfica 52, 152, 153, 154, 156, 158, 159

Brasil 14, 34, 47, 49, 57, 58, 72, 81, 86, 97, 142, 150, 160, 161, 162, 171

C

CESC 140, 141

CESCD 140, 141

Cimento 94, 95, 96, 97, 98, 103, 106, 108

Combustão 83, 84, 85, 86, 87, 88, 91, 92, 93, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 120

Compactação 96, 109, 110, 111, 113, 114, 117, 118, 119, 120

Concept 1, 3, 8, 48

D

Desenvolvimento 15, 16, 17, 47, 48, 50, 53, 71, 80, 84, 95, 97, 109, 142, 143, 150, 152, 156, 159

Dimensionamento 47, 48, 50, 51, 53, 57

Dispositivo 70, 71, 77, 81, 92, 143, 146

E

Estímulo Sensorial 70, 71, 82

F

Ferramentas 31, 59, 67, 147

Ferrovia 14, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 29

Filmes 134, 135, 136, 137, 138, 139

Fotovoltaico 47, 48, 50, 51, 53, 57

G

Geração 21, 32, 39, 42, 43, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 95, 149, 150

L

Linhas de Transmissão 31, 32, 42, 44, 45, 48

M

Manganês 83, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 91

Materiais 59, 72, 73, 79, 83, 85, 86, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 103, 106, 109, 110, 111,

120, 123, 124, 127, 130, 133, 135, 141, 143, 147, 149, 162, 173

Metais Pesados 94, 95, 96, 99, 100, 103, 106, 107, 108, 141, 142

Modeling 1, 3, 6, 8, 11, 29, 30

Municípios 152, 154, 156, 158

N

Nanoferrita 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91

O

Óxido de Zinco 109, 110, 111, 112, 114, 116, 118, 120

P

Piezoelétricos 111, 150

Polipropileno 122, 123, 124, 128, 129, 130, 132, 133

Pontos de Cruzamento 14, 15, 16

Process 6, 10, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 71, 84, 108, 110

Projeto 1, 50, 51, 53, 54, 57, 70, 73, 78, 80, 81, 97, 140, 141, 142, 147, 148, 149, 151, 157, 158

Propilenoglicol 134, 135, 138

Propriedades 83, 84, 85, 91, 96, 109, 110, 111, 120, 122, 123, 124, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 135, 150, 158

Protótipo 70, 71, 76, 78, 79, 81, 150

R

Redes Neurais 31

REEE 140, 141, 142, 143, 150, 151

Regressão 98, 160, 161, 162, 163, 168, 170, 172

Resíduos Sólidos 94, 95, 97, 106, 142, 158

S

Simulação 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 33, 34, 42, 43, 81

Sinterização 92, 109, 110, 111, 114, 117, 118, 119, 120

Socioambiental 152

Solidificação 94, 95, 97, 99, 103, 106, 108

Sorbitol 131, 133, 134, 135, 138

T

Tecnologia Assistiva 70, 71, 72, 81

Tratamento 46, 70, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 85, 92, 94, 95, 97, 109, 114, 163

Turbines 1, 2, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12

V

Violência 160, 161, 162, 171, 172

W

Wind 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13

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

AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3


Ano 2020

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

AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3


Ano 2020