



Cleberton Correia Santos
(Organizador)

Estudos Interdisciplinares nas Ciências e da Terra e Engenharias 4

 **Atena**
Editora
Ano 2019

Cleberton Correia Santos
(Organizador)

Estudos Interdisciplinares nas Ciências
Exatas e da Terra e Engenharias 4

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	Estudos interdisciplinares nas ciências exatas e da terra e engenharias 4 [recurso eletrônico / Organizador Cleberton Correia Santos. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias; v. 4) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-622-5 DOI 10.22533/at.ed.225191109 1. Ciências exatas e da Terra. 2. Engenharias. 3. Tecnologia. I.Santos, Cleberton Correia. II. Série. CDD 016.5
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

O livro “Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias” de publicação da Atena Editora apresenta em seu 4º volume 37 capítulos com temáticas voltadas à Educação, Agronomia, Arquitetura, Matemática, Geografia, Ciências, Física, Química, Sistemas de Informação e Engenharias.

No âmbito geral, diversas áreas de atuação no mercado necessitam ser elucidadas e articuladas de modo a ampliar sua aplicabilidade aos setores econômicos e sociais por meio de inovações tecnológicas. Neste volume encontram-se estudos com temáticas variadas, dentre elas: estratégias regionais de inovação, aprendizagem significativa, caracterização fitoquímica de plantas medicinais, gestão de riscos, acessibilidade, análises sensoriais e termodinâmicas, redes neurais e computacionais, entre outras, visando agregar informações e conhecimentos para a sociedade.

Os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora aos estimados autores que empenharam-se em desenvolver os trabalhos de qualidade e consistência, visando potencializar o progresso da ciência, tecnologia e informação a fim de estabelecer estratégias e técnicas para as dificuldades dos diversos cenários mundiais.

Espera-se com esse livro incentivar alunos de redes do ensino básico, graduação e pós-graduação, bem como outros pesquisadores de instituições de ensino, pesquisa e extensão ao desenvolvimento estudos de casos e inovações científicas, contribuindo na aprendizagem significativa e desenvolvimento socioeconômico rumo à sustentabilidade e avanços tecnológicos.

Cleberton Correia Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCOS DE INUNDAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE PONTE NOVA – MG	
Anderson Nascimento Milagres Gian Fonseca dos Santos Danilo Segall César Yann Freire Marques Costa Klinger Senra Rezende Alixandre Sanquetta Laporti Luppi Adonai Gomes Fineza	
DOI 10.22533/at.ed.2251911091	
CAPÍTULO 2	8
MUTAGÊNESE DA LEVEDURA <i>Candida viswanathii</i> PARA A PRODUÇÃO DE ENZIMAS LIPOLÍTICAS	
Luiz Renato Lima Silva Miranda Nayra Morgana Lima De Oliveira Erika Carolina Vieira Almeida Adriana Augusta Neto Alex Fernando De Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.2251911092	
CAPÍTULO 3	19
A RELAÇÃO ENTRE PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO DE LIDERANÇA E O CAPITAL SOCIAL NAS ORGANIZAÇÕES	
Bruno Henriques Watté Márcio Vieira de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.2251911093	
CAPÍTULO 4	34
BRUNIMENTO FLEXÍVEL DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS: AVALIAÇÃO DO EFEITO DA GRANULOMETRIA E DO NÚMERO DE GOLPES DA FERRAMENTA NO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE R_p	
Guilherme Henrique Caetano Barros Rosenda Valdés Arencibia Luciano José Arantes	
DOI 10.22533/at.ed.2251911094	
CAPÍTULO 5	41
ANÁLISE DA ACELERAÇÃO POR EXTRAPOLAÇÃO DA FONTE DE FISSÃO CONSIDERANDO A TEORIA DE DIFUSÃO DE NEUTRONS EM REATORES NUCLEARES	
Andrey Silva Pontes Henrique Matheus Ferreira da Silva Lenilson Moreira Araújo	
DOI 10.22533/at.ed.2251911095	

CAPÍTULO 6	51
ANÁLISE DE DESEMPENHO E AVALIAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE REDES DE SENSORES SEM FIO EM <i>SMART GRIDS</i>	
Álison De Oliveira Alves Felipe Denis Mendonça De Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.2251911096	
CAPÍTULO 7	64
SÍNTESE DE COMPOSTOS HÍBRIDOS PERILIL-DIHIDROPIRIMIDINONAS ATRAVÉS DA REAÇÃO DE HUISGEN COM FORMAÇÃO DE ANÉIS 1,2,3-TRIAZÓLICOS	
Vinícius Vendrusculo Dennis Russowsky	
DOI 10.22533/at.ed.2251911097	
CAPÍTULO 8	74
ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICAS DA CASTANHOLA	
Jonas Soares de Mesquita Davi Pereira Araújo Maria Carolina Martins da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.2251911098	
CAPÍTULO 9	81
USO DE CATALISADORES DE NÍQUEL PARA A RESOLUÇÃO CINÉTICA DINÂMICA DE AMINAS PRIMÁRIAS	
Fernanda Amaral de Siqueira Natália Cavallaro Martins de Sousa Sania Maria de Lima	
DOI 10.22533/at.ed.2251911099	
CAPÍTULO 10	92
AVALIANDO EM MATEMÁTICA: UM ESTUDO DE CASO NO CENTRO-OESTE MINEIRO	
Patrícia Milagre de Freitas Leandro Teles Antunes dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.22519110910	
CAPÍTULO 11	102
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VIDA NO TRABALHO EM TRABALHADORES DA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Andre Luis Martins De Souza Renata Evangelista Alexandre Bueno Ronaldo Marques Serigne Ababacar Felipe Rogério Hudson Luis	
DOI 10.22533/at.ed.22519110911	

CAPÍTULO 12 111

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE UM SOLO RESIDUAL DE GNAISSE MADURO ESTABILIZADO COM LAMA DE CAL

Danilo Segall César
Yann Freire Marques Costa
Anderson Nascimento Milagres
Gian Fonseca dos Santos
Eduardo Souza Candido
Klinger Senra Rezende
Adonai Gomes Fineza

DOI 10.22533/at.ed.22519110912

CAPÍTULO 13 122

AVALIAÇÃO TOXICOLÓGICA DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS: ESTUDO DE CASO COM PILHAS ALCALINAS

Pedro Luiz Dias Barroso
Julia Santos Caetano
Jean Pierre Sayago
Joeci Ricardo Godoi
Rodrigo Souza Banegas
Letícia Flohr

DOI 10.22533/at.ed.22519110913

CAPÍTULO 14 132

CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE FILMES DE PAADDA/PSS E PDDA/PSS PREPARADOS POR LAYER-BY-LAYER

Samanta Costa Machado Silva
Jorge Amim Júnior
Ana Lucia Shiguihara

DOI 10.22533/at.ed.22519110914

CAPÍTULO 15 144

COMPOSIÇÃO QUÍMICA, FENÓIS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS FOLHAS DE *Simaba ferruginea*

Jessica Sara de Sousa Macêdo Oliveira
Lucivania Rodrigues dos Santos
Adonias Almeida Carvalho
Renato Pinto de Sousa
Gerardo Magela Vieira Júnior
Ruth Raquel Soares de Farias
Mariana Helena Chaves

DOI 10.22533/at.ed.22519110915

CAPÍTULO 16 157

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS ALCALINAMENTE ATIVADOS PARA MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS

Jocélio Jairo Vieira Filho
Kelly Cristiane Gomes
Williamns Tadeu de Oliveira Lins Belo

DOI 10.22533/at.ed.22519110916

CAPÍTULO 17	183
ESTRUTURA AXIOMÁTICA DO ORIGAMI: UMA ABORDAGEM DOS POLIEDROS REGULARES NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE MATEMÁTICA	
Anita Lima Pimenta Eliane Scheid Gazire	
DOI 10.22533/at.ed.22519110917	
CAPÍTULO 18	193
ESTUDO DO EFEITO DOS PARÂMETROS DE PROJETO DE BICOS EXTRUSORES EM BIOIMPRESSÃO UTILIZANDO FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL	
Patrícia Muniz de Oliveira Isabela Poley Estevam Barbosa Las Casas Marina Spyer Las Casas Janaina Dernowsek	
DOI 10.22533/at.ed.22519110918	
CAPÍTULO 19	205
IMPACTO DA RESOLUÇÃO HORIZONTAL NA SIMULAÇÃO DOS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS NA AMÉRICA DO SUL USANDO O MODELO GLOBAL DO CPTEC	
Dayana Castilho de Souza Paulo Yoshio Kubota Silvio Nilo Figueroa Enver Manuel Amador Ramirez Gutierrez Caio Augusto dos Santos Coelho	
DOI 10.22533/at.ed.22519110919	
CAPÍTULO 20	218
<i>LESSON STUDY</i> : UMA ADAPTAÇÃO PARA O BRASIL	
Renata Camacho Bezerra Maria Raquel Miotto Morelatti	
DOI 10.22533/at.ed.22519110920	
CAPÍTULO 21	226
MICROSCOPIA DE DESFOCALIZAÇÃO COMO UMA FERRAMENTA DE ESTUDO DE PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS E MECÂNICAS DE ERITRÓCITOS	
Paula M. S. Roma Luiza C. Mourão Marcelo P. Bemquerer Erika M. Braga Ubirajara Agero	
DOI 10.22533/at.ed.22519110921	
CAPÍTULO 22	232
PENSAMENTO ALGÉBRICO E SUA APLICAÇÃO EM EQUAÇÕES LINEARES	
Fábio Mendes Ramos Fabricia Gracielle Santos Daniel Martins Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.22519110922	

CAPÍTULO 23	243
ENSINO DE QUÍMICA VERSUS TICs: RETRATO DE PUBLICAÇÕES BRASILEIRAS	
Eleonora Celli Carioca Arenare	
DOI 10.22533/at.ed.22519110923	
CAPÍTULO 24	253
PREPARAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE BLENDS DE PHB/PC	
Francielle Schmitz	
Carolina de Andrade	
Ivonete Oliveira Barcellos	
DOI 10.22533/at.ed.22519110924	
CAPÍTULO 25	267
RESINAS DE POLIÉSTER INSATURADO E SUA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE EMBARCAÇÕES EM FIBERGLASS	
Patricia Reis Pinto	
Sérgio da Silva Feitosa	
Alaíde de Sá Barreto	
DOI 10.22533/at.ed.22519110925	
CAPÍTULO 26	277
APLICAÇÃO DO MÉTODO DA PENALIZAÇÃO ROBUSTA PARA ANÁLISE DE PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO MULTI-OBJETIVO	
Gustavo Barbosa Libotte	
Fran Sérgio Lobato	
Francisco Duarte Moura Neto	
Gustavo Mendes Platt	
DOI 10.22533/at.ed.22519110926	
CAPÍTULO 27	289
SÍNTESE DE FASE SÓLIDA HÍBRIDA MOLECULARMENTE IMPRESSA PARA EXTRAÇÃO DE CAFEÍNA EM AMOSTRAS ÁGUA SUPERFICIAL	
Fabiana Casarin	
Camila Santos Dourado	
Ana Cristi Basile Dias	
DOI 10.22533/at.ed.22519110927	
CAPÍTULO 28	302
SOLUÇÃO ANALÍTICA DE PROBLEMA BIDIMENSIONAL DE CONDUÇÃO DE CALOR UTILIZANDO FUNÇÕES DE GREEN	
José Aguiar dos Santos Junior	
José Ricardo Ferreira Oliveira	
Eduardo Peixoto de Oliveira	
Guilherme Ramalho Costa	
Jefferson Gomes Do Nascimento	
Alisson Augusto Azevedo Figueiredo	
Gilmar Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.22519110928	

CAPÍTULO 29 310

TAXAS DE FREQUÊNCIA E GRAVIDADE DOS ACIDENTES OCORRIDOS EM UM GRUPO DE PROPRIEDADES CAFEEIRAS CERTIFICADAS

Rafael Augusto Silva Souza
Geraldo Gomes de Oliveira Júnior
Armando Mendes Nogueira
Raphael Nogueira Rezende
Agda Silva Prado Oliveira
Adriano Bortolotti da Silva
Patrícia Ribeiro do Valle Coutinho

DOI 10.22533/at.ed.22519110929

CAPÍTULO 30 315

UM SISTEMA COLABORATIVO DE INCENTIVO A DOAÇÃO DE SANGUE

Alúcio José Pereira
Fábio Abrantes Diniz
Elder Gonçalves Pereira
Francisco Paulo de Freitas Neto
Elissandra Cheu Pereira do Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.22519110930

CAPÍTULO 31 329

UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE NÚMEROS DECIMAIS NO 5º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL

Cristiana Monique Feltes Sivert
Cassiano Scott Puhl

DOI 10.22533/at.ed.22519110931

CAPÍTULO 32 339

ESTUDO DA VIABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CULTIVOS DE ORGANISMOS AQUÁTICOS: APLICAÇÃO INICIAL EM VIVEIROS ESCAVADOS

Wilmar Borges Leal Junior
Fabiano Medeiros Tavares
Ítalo Cordeiro Silva Lima
Delfim Dias Bonfim
Lucyano Campos Martins
Nailson Martins Dantas Landim
Haryson Huan Arruda da Silva Santos
Douglas Ferreira Chaves

DOI 10.22533/at.ed.22519110932

CAPÍTULO 33 349

REGRESSÃO POLINOMIAL E REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS

Carlos Augusto Zilli
Luiz Fernando Palin Droubi
Norberto Hochheim

DOI 10.22533/at.ed.22519110933

CAPÍTULO 34 363

ANALISE DE RECALQUES NO CONTORNO RODOVIÁRIO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS

Wagner de Sousa Santos
Amanda Morlos

DOI 10.22533/at.ed.22519110934

CAPÍTULO 35	376
SIMULAÇÃO DA ESTABILIDADE DE UM TÚNEL EM MACIÇO ROCHOSO	
Yann Freire Marques Costa	
Danilo Segall César	
Gian Fonseca dos Santos	
Anderson Nascimento Milagres	
Klinger Senra Rezende	
Adonai Gomes Fineza	
DOI 10.22533/at.ed.22519110935	
SOBRE O ORGANIZADOR	387
ÍNDICE REMISSIVO	388

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS ALCALINAMENTE ATIVADOS PARA MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS

Jocélio Jairo Vieira Filho

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Engenharia de Energias Alternativas e Renováveis, João Pessoa – Paraíba

Kelly Cristiane Gomes

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia de Energias Alternativas e Renováveis, João Pessoa – Paraíba

Williamns Tadeu de Oliveira Lins Belo

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Engenharia de Energias Alternativas e Renováveis, João Pessoa – Paraíba

RESUMO: Na construção civil, há problemas estruturais que são enfrentados frequentemente, tais como descolamentos, fissuras, fraturas, problemas mecânicos e de durabilidade. Dentre eles, a fissura é um dos problemas mais constantes e que pode ter diversas causas, com destaque para a Reação Álcali Agregado (RAA). Esta reação é originária de um gel higroscópico oriundo da reação da sílica e álcalis disponíveis na estrutura do concreto em um ambiente aquoso. Assim, é formado um gel que expande quando em contato com umidade, gerando uma expansão volumétrica do material e, conseqüentemente, deformações na estrutura. Neste sentido, este trabalho avaliou o desempenho de Materiais Alcalinamente Ativado (MAA) frente à RAA

através da avaliação das suas propriedades mecânicas, físicas e químicas. Para tanto, foram confeccionadas barras prismáticas, de acordo com a norma da ABNT 15577-4, de argamassas de metacaulinita e pirex (ativados com três formulações de ativadores alcalinos – 100% silicato de sódio, 100% silicato de potássio e 50% de silicato de sódio + 50% de silicato de potássio), e de metacaulinita e dois tipos de britas (B1 e B2) ativadas com silicato de sódio e comparadas a uma argamassa de referência (Cimento Portland CPV-ARI com Pirex). Estas argamassas foram submetidas ao Ensaio de Expansão pelo Método Acelerado e após o processo foram analisadas suas propriedades mecânicas, mineralógicas e microestruturais. Para tanto, foram utilizadas técnicas de Resistência a Compressão Simples, Fluorescência de Raios-X, Difração de Raios-X, Ultrassom, Microscopia Eletrônica de Varredura. Ao final foi observado que o Material Alcalinamente Ativado com Silicato de Sódio apresentou potencial de agente mitigador da RAA.

PALAVRAS-CHAVE: Material Alcalinamente Ativado, Reação Álcali Agregado, Agente Mitigador.

DEVELOPMENT OF ALKALI ACTIVATED
MATERIALS FOR MITIGATING ALKALI

AGGREGATE REACTION: EVALUATION OF MECHANICAL, PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

ABSTRACT: In construction, there are structural problems, such as detachments, cracks, fractures, mechanical problems and durability. Among them, cracking is one constant problems and can have several causes, especially the Aggregate Alkali Reaction (AAR). This reaction originates from a hygroscopic gel derived from the reaction of silica and alkalis available in the concrete structure in an aqueous environment. Thus, a gel is formed which expands when in contact with humidity, generating a volumetric expansion of the material and, consequently, deformations in the structure. In this sense, this work evaluated the performance of Alkaline Activated Materials (AAM) against AAR by evaluating its mechanical, physical and chemical properties. Prismatic bars were made according to ABNT standard 15577-4, of metacaulinite and pyrex mortars (activated with three formulations of alkaline activators: 100% sodium silicate, 100% potassium silicate and 50% silicate of sodium + 50% of potassium silicate) and of metacaulinite and two types of brittle (B1 and B2) activated with sodium silicate and compared to a reference mortar (Portland cement CPV-ARI with Pirex). These mortars were submitted to the Expansion Test by the Accelerated Method and after the process their mechanical, mineralogical and microstructural properties were analyzed by techniques of Compressive Strength, X-Ray Fluorescence, X-Ray Diffraction, Ultrasound and Scanning Electron Microscopy. It was observed that the material activated with 100% sodium silicate presented potential of the AAR mitigating agent.

KEYWORDS: Alkali activated materials, Alkali aggregate reaction, Mitigating agent.

1 | INTRODUÇÃO

O concreto atualmente é considerado um dos materiais mais utilizados no mundo, principalmente no Brasil, pela abundância de insumos para a sua preparação, facilidade de manuseio, durabilidade, versatilidade e adaptabilidade às mais variadas formas geométricas e pelo baixo custo se comparado a outros materiais de construção. No entanto, a durabilidade das estruturas em concreto está diretamente ligada aos materiais, processos construtivos, às propriedades físicas e químicas, aos tipos de solicitações e às condições de exposição (MEHTA et al., 2008). Portanto, várias podem ser as formas que levam uma estrutura a apresentar algum tipo de patologia deletéria, que venha a fissurar os elementos estruturais e consequentemente comprometer a capacidade de absorção e dissipação de carga por parte desses elementos fissurados (DIAMOND, 1989; TAYLOR, 1997).

Os mecanismos que levam uma estrutura de concreto a apresentar um processo de fissuração são variados e podem ser iniciados ainda com o concreto no estado fresco, como o excesso de exsudação, secagem/dessecamento rápido, escoramento insuficiente, etc., o que levam ao aparecimento de fissuras na estrutura de concreto depois de curada. Já no estado endurecido o concreto pode

passar por fenômenos físico, térmicos, estruturais e químicos, como: retração por secagem, variações sazonais de temperatura, sobrecargas, corrosão de armaduras, formação de etringita/taumasita, reação álcali-agregado, etc., que também levam ao aparecimento de processos fissuratórios nas estruturas de concreto (CARMONA, 1998).

Desde a década de 1940, quando foi descoberta, a reação álcali-agregado (RAA) vem se tornando um tema cada vez mais recorrente nos estudos a respeito das manifestações patológicas nas estruturas de concreto, isso porque o registro de estruturas por ela afetadas aumentou consideravelmente nos últimos anos (TIECHER, 2006; 2007; 2010).

O estudo de RAA teve seu marco inicial em meados de 1940, quando Stanton identificou este processo como sendo uma reação deletéria que ocorria entre os constituintes do concreto, a sílica do agregado e os álcalis do cimento, o qual denominou reação álcali-agregado. Segundo constatações realizadas, a reação era capaz de formar eflorescências brancas, causando fissurações similares aquelas observadas em diversas estruturas afetadas na Califórnia, durante os anos 1920 a 1930 (STANTON, 1940).

Blanks e Meissner, em 1941, apresentaram um artigo sobre a deterioração da barragem Parker Dam pela RAA destacando que a presença, no agregado, de minerais reativos que reagem com os álcalis do cimento são as principais causas da RAA. Entretanto, influências externas como a umidade e temperatura são condicionantes importantes do processo deletério, de acordo com Hobbs (1988), Diamond (1989) e Taylor (1997).

Como resultado desta reação formam-se géis que na presença de umidade são capazes de expandir, gerando pressões e fissurações no concreto (PETERSON et al., 2000). Devido ao fato de a água ser um dos fatores determinantes da existência da RAA, as obras hidráulicas são as mais suscetíveis de apresentarem esse tipo de problema (LÉGER et al., 1995).

Neste sentido, é fundamental que sejam desenvolvidos estudos que visem investigar e mitigar esse problema. Desta forma, a proposição de novos materiais que sejam avaliados como potenciais mitigadores de tal reação, de forma a substituir, total ou parcialmente, o cimento convencional (Portland) é uma temática de pesquisa de extrema relevância.

2 | OBJETIVOS

O Objetivo deste trabalho é a avaliação do desempenho de materiais alcalinamente ativados frente à reação álcali-agregado através da avaliação de suas propriedades mecânicas, físicas e químicas.

Pode-se destacar como objetivos específicos do trabalho:

- Obtenção de materiais alcalinamente ativados a base de metacaulinita;
- Estudar o processo de mitigação da reação álcali agregado com o material alcalinamente ativado;
- Avaliação do desempenho mecânico e de durabilidade dos materiais alcalinamente ativados obtidos;
- Avaliação do tipo de agregado nas propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais alcalinamente ativados obtidos;
- Avaliação do tipo de ativador alcalino nas propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais alcalinamente ativados obtidos.

3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Reação Álcali Agregado é uma reação deletéria na qual aparecem o surgimento de fissuras na estrutura. O primeiro estudo documentado dessa reação foi em concretos na Califórnia (STANTON, 1940). Contudo, o processo que envolvia a RAA foi apenas estudado 3 anos após a sua descoberta. Após a sua documentação nos Estados Unidos estudiosos do mundo todo passaram a pesquisar em seus países e a encontrar casos semelhantes, instigando-os a investigar a natureza mineralógica dos agregados reativos associados a reação. As primeiras pesquisas sobre RAA começaram a surgir no Brasil no fim da década de 1980 com evidências de RAA em várias barragens brasileiras (VALDUGA, 2002).

Destaca-se que as principais causas de manifestação da RAA são a presença de minerais reativos que interagem com os álcalis do cimento, além de condições externas como temperatura e umidade terem participação ativa no processo deletério (TAYLOR, 1997).

No Brasil foram encontrados mais de 20 casos de barragens afetadas por tal patologia (HASPARYK; CARASEK; MONTEIRO, 2001). Em vários estudos observou-se que barragens, pavimentos de concreto, blocos de fundação e eventuais elementos de concreto (vigas, pilares, lajes, etc.), são mais suscetíveis ao desenvolvimento do RAA devido as suas condições de exposição.

O efeito danoso mais comum originado da RAA são processos de fissuração do tipo “mapa”, exsudação de gel na superfície do concreto, nas bordas ou em volta dos agregados (TAYLOR, 1997). O dano do concreto por RAA pode ocorrer por três formas, em função do tipo de mineralogia do agregado reativo envolvido, como: reação álcali-sílica (RAS), reação álcali-carbonato e reação álcali-silicato (POOLE, 1992).

A presença dos álcalis, dos componentes dos concretos, provém do processo de calcinação do clínquer do cimento. Neste processo conduzido a altas temperaturas, os íons K^+ e Na^+ são vaporizados e, após isso, quando o clínquer é transportado lentamente através do forno, eles se condensam sobre o mesmo, gerando uma

camada superficial de álcalis. Enquanto alguns álcalis permanecem na superfície do clínquer e são disponibilizados mais rapidamente, outros se localizam no interior da sua estrutura e tornam-se disponíveis com o decorrer do processo de hidratação (PETERSON et. al., 2000).

3.1 Fatores que influenciam a RAA

A micromecânica da RAA é controlada por processos termodinâmicos e cinéticos, mas até o momento ainda não estão bem definidos todos os aspectos do processo. Para explicar a formação do gel, por exemplo, existem duas linhas de pensamento distintas. Na primeira a formação do gel é modelada como um processo topoquímico, que é aquele no qual o local onde a reação se processa é fixado pelas mesmas condições de seu progresso, ocorrendo dessa forma, na interface agregado-cimento. A segunda linha de pensamento sugere a possibilidade do transporte iônico através da solução porosa, de forma que o gel possa se formar em qualquer lugar (PETERSON et. al., 2000).

Apesar de discordarem em aspectos importantes a respeito da química da reação, as duas linhas concordam em pontos fundamentais, relacionados à evolução da reação. Dessa forma, tem-se como bem estabelecida a sensibilidade da reação à temperatura, que tem um efeito basicamente cinético, acelerando a reação, mas não afetando significativamente a sua amplitude. Outro ponto de concordância é o fato de que a reação é limitada pela quantidade de reagentes e não de produto, o que significa que a reação perdurará enquanto houver reagentes, independentemente da quantidade de gel produzida. Da mesma forma sabe-se que a umidade é essencial para a ocorrência da reação, podendo influenciar na magnitude da mesma (PETERSON et. al., 2000). Um aspecto que tem gerado controvérsia é a influência de carregamentos externos na reação álcali-sílica.

a) Temperatura

A temperatura funciona como um catalisador da RAA, onde temperaturas elevadas aceleram as reações nas estruturas de concreto, causando um aumento nas expansões, devido o gel torna-se menos viscoso e ter mais facilidade de percolar pelos vazios do concreto (PAULON, 1981; HASPARK, 1999; VALDUGA, 2002).

As altas temperaturas também aceleram a hidratação do cimento e intensificam a agressividade das soluções alcalinas, levando ao surgimento da RAA mais rapidamente (KIHARA, 1986). Além da temperatura ambiente, a temperatura de cura também influencia na RAA. Swamy e Al-Alasi (1988) verificaram que os concretos curados a 38°C apresentaram considerável redução da resistência à compressão com o passar de um ano, além de apresentarem expansão e fissuração bastante severas. As amostras curadas a 20°C mostraram poucas evidências de deterioração e aumento contínuo da resistência à compressão.

b) Umidade

O processo de expansão do gel de RAA é desencadeado em função da

presença da umidade no concreto. Estruturas com sistema de drenagem deficiente, obras hidráulicas como barragens e concreto em contato com terrenos úmidos, são mais susceptíveis à reação álcali-agregado.

Autores afirmam que a umidade relativa necessária para ocorrer a RAA em um elemento de concreto deve ser superior a 80%, ocasionando expansão, embora o gel possa ser formado em umidades mais baixas (KIHARA, 1986). Os resultados apresentados por Larive (1997), evidenciam que a exposição do concreto reativo a condições de umidade elevada só provoca a expansão enquanto a reação ainda estiver em andamento. Portanto, a influência da água sobre a amplitude das deformações é limitada pelo processo de formação dos produtos da reação.

c) Tensão no concreto

Restrições e tensões nas estruturas de concreto vem sendo estudadas como fatores que influenciam as expansões e os danos devidos à RAA. Alguns autores (HOBBS, 1988; SILVEIRA, 2007) avaliaram a distribuição de tensões em estruturas de concreto e observaram que tensões de compressão bem distribuídas podem reduzir a expansão e as fissuras na direção da compressão e, ainda, avaliaram as taxas de expansão em barragem de arco e observaram que as mesmas são menores que nas estruturas de gravidade, isso devido às tensões confinantes. Segundo pesquisa de Hobbs (1988), a qual avaliou a influência da tensão de compressão na RAA, através da mensuração da expansão de barras de argamassa submetidas a diversos carregamentos, a tensão de compressão retarda a fissuração e reduz a expansão na direção do carregamento.

Já Larive (1997), desenvolveu um extenso programa experimental para análise do comportamento do concreto reativo, no qual a autora procura estabelecer um paralelo entre os efeitos macroscópicos e as causas microscópicas da reação álcali-agregado. Neste estudo foi observado que em corpos de prova sujeitos a carregamento uniaxial o estado de tensão do material não influencia a evolução do processo químico. Além da expansão livre, a autora, submeteu os corpos de prova a três valores de tensão uniaxial: 5 MPa, 10 MPa e 20 MPa. Para avaliar o efeito do carregamento sobre a expansão química, as deformações dos corpos de prova inertes, submetidos ao mesmo carregamento, foram subtraídas das deformações totais dos corpos de prova reativos, obtendo-se curvas da parcela de deformação química ao longo do tempo.

Neste sentido, os estudos da influência do estado de tensões externas impostas às estruturas de concretos, sobre a expansão química, ainda é um aspecto bastante controverso no estudo da reação álcali-agregado.

3.2 MAA e Ativação Alcalina

Os Materiais Alcalinamente Ativados, ou MAA, têm a formação de uma fase gel de aluminossilicato diferentemente do Cimento Portland, que é um aglomerante

predominantemente baseado em reações de hidratação de óxidos com o surgimento de fases cristalinas diferentes. Atualmente, os MAA's são produzidos com uma diversidade de materiais aluminosilicosos e múltiplos tipos de ativadores alcalinos, o que permite sua aplicação nas mais diversas áreas de atuação, devido, grandemente, as suas boas propriedades termomecânicas com valores de resistências mecânicas na ordem de 60 a 100 MPa e estabilidade térmica entre 1000 a 1200 °C.

No referente à ligação de estruturas químicas, a estrutura dos MAA's é semelhante à de polímeros orgânicos. Nos polímeros tradicionais as estruturas são normalmente formadas de cadeias carbônicas, à medida que, nos materiais alcalinamente ativados as cadeias são formadas por tetraedros ligados alternadamente de AlO_4 e SiO_4 (DAVIDOVITS, 1987; PALOMO et al., 1999).

A síntese destes materiais implica processos de solidificação com mecanismos altamente estudados, onde cada iniciador necessita de um estudo aplicado sobre seus mecanismos com as variantes de razões molares dos ativadores, da temperatura de síntese e da energia de mistura (PALOMO et al., 1999). O mecanismo de reação pode ser observado na Figura 1, que apresenta de uma maneira simplificada, os principais processos que ocorrem na síntese de um MAA.

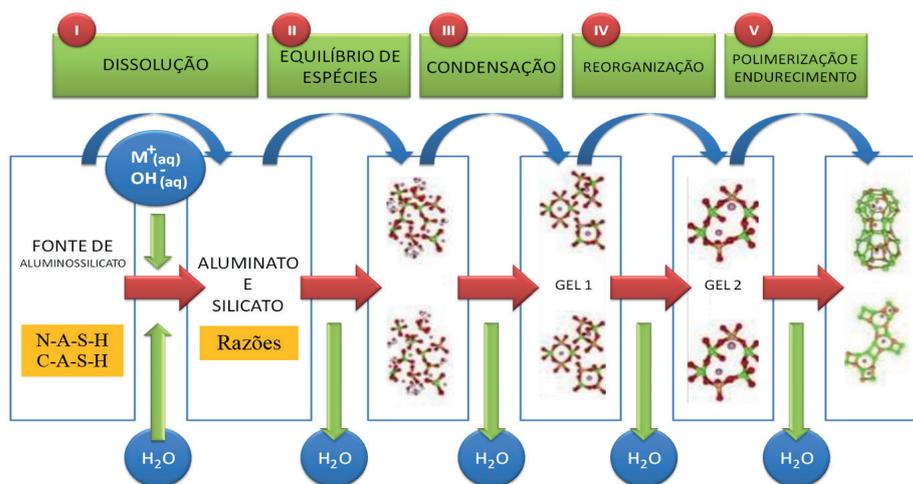


Figura 1: Modelo Conceitual para Síntese de Material alcalinamente ativados. Adaptado de Duxson (2006).

O processo de síntese pode ser simplificado ao determinar as proporções ótimas de cada sistema. Sais alcalinos, por exemplo KOH e NaOH, na sua síntese, podem atuar como catalizadores junto com silicatos dos materiais aluminosilicosos à temperatura de processamento, geralmente menor que 100°C, o que os colocam como uma boa alternativa, do ponto de vista da matriz energética, na produção de materiais cimentícios.

A ativação alcalina é uma reação de hidratação de aluminossilicatos com substâncias do tipo alcalino e alcalino-terroso, como: Hidróxidos (R_2CO_3 , $R(OH)_2$) e sais de ácidos fortes (R_2CO_3 , R_2S , RF) ou fracos (Na_2SO_4 , $CaSO_4 \cdot 2H_2O$), onde R

pode ser um íon Na^+ , K^+ , Li^+ e o Ca^{2+} (PUERTAS, 1995).

Para melhorar os resultados, deve-se realizar sobre os aluminossilicatos um tratamento térmico envolvendo a perda de água e alterações na coordenação do íon de alumínio com o oxigênio. Com isso, o material tem grande parte de sua estrutura cristalina perdida, resultando num estado praticamente amorfo, de alta entropia, que resulta em uma grande tendência de combinar-se quimicamente (CHANG, 1994).

O endurecimento dos ligantes ativados alcalinamente ainda não tem seu mecanismo completamente conhecido, mas supõe que seja dependente da sua matéria-prima e do seu ativador alcalino. O mecanismo da reação alcalina é formado por reações conjugadas de destruição e imobilização, que resulta na destruição da matéria prima em unidades estruturais estáveis. Os primeiros passos acontecem com a desagregação das ligações covalentes $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$, consequência do aumento do pH da solução alcalina. Depois, ocorre a acumulação dos produtos degradados, que interagem entre si e formam um coagulado, que origina uma terceira fase para gerar uma estrutura de condensados.

Uma das principais diferenças entre os ligantes do cimento Portland comum e os ativados alcalinamente é que, no cimento é utilizado água com pH neutro. Já nos ligantes álcali-ativados, as soluções com alta alcalinidade são necessárias para dar início ao processo de dissolução.

No tocante a aplicação de geopolímeros, os mesmos podem ser classificados em três tipos de utilização básica: Cimento Geopolimérico (MIRANDA et al., 2005; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ et al., 2006; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ e PALOMO, 2007), Imobilização de Resíduos Sólidos e Tóxicos (PALOMO e PALACIOS, 2003; VAN JAARSVELD et al., 1997, 1998 e 1999a) e Recuperação Estrutural (HU et al., 2008; PACHECO-TORGAL et al., 2008; THAUMATURGO et al., 1999).

Quando avaliados a influência do MAA e sua aplicação como agente mitigador da RAA, estudos como o de Garcia-Lodeiro et al. (2007), Patil e Allouche (2011), Duyou Lu et al. (2013) e Muhd e Siti (2014), confirmaram os bons resultados obtidos para o MAA, quando comparados aos concretos tradicionais a base de cimento Portland. Contudo, nestes estudos foram avaliadas as cinzas volantes como matéria prima precursora do MAA.

4 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos da pesquisa foi realizado o planejamento experimental apresentado na Figura 2.

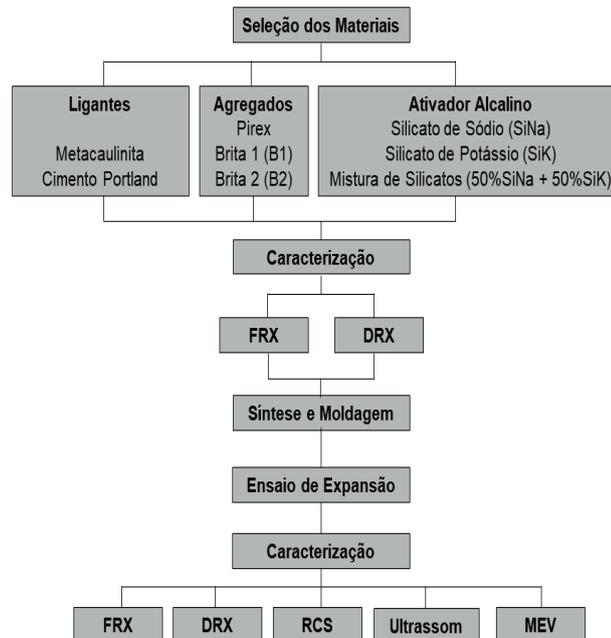


Figura 2: Planejamento Experimental

4.1 Materiais

A metacaulinita utilizada neste trabalho foi oriunda de um caulim, fornecido pela Caulisa SA, calcinado a 700°C/2h. O cimento utilizado como fonte de referência foi o CPV-ARI. O pirex, utilizado como agregado reativo, foi submetido a moagem de baixa energia e utilizados em granulometrias diferentes, de acordo com a ABNT NBR 15577-4. Os agregados não reativos de origem granítica foram provenientes de duas jazidas de britas localizados no Estado de Pernambuco, sendo a B1 a brita da jazida 1 (lat.: 8°22'22,8"S e long.: 35°3'57,6"O) e a B2 a brita da jazida 2 (lat.: 8°7'3"S e long.: 35°13'42"O). As britas foram submetidas a processos de moagem, igual ao pirex, até obter um material com granulometria de acordo com a ABNT NBR 15577-4

O silicato de sódio foi fornecido pela Pernambuco Química S/A com um módulo de sílica (relação $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, em massa) igual a 2,17 e pH em torno de 13. O silicato de potássio foi oriundo da Diatom S/A com módulo de sílica (relação $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$) igual a 2,15 e pH em torno de 13. O hidróxido de sódio foi fornecido pela VETEC com grau de pureza de 99%, sendo utilizado para a obtenção da solução alcalina a ser utilizada no ensaio de expansão acelerado. Foi preparado uma solução de NaOH a 1M de acordo com o recomendado na norma ABNT NBR 15577-4. A água utilizada foi do tipo destilada.

4.2 Caracterização dos Materiais

Para a realização da análise das matérias primas, as amostras dos ligantes e dos agregados foram moídos, peneirados numa malha de 350 mesh e secos em estufa a 100°C/1h. Os materiais foram então submetidos a análise química via Fluorescência de Raios X (FRX) realizada no equipamento Sequential X-ray

Fluorescence Spectrometer, Modelo XRF-1800 da Shimadzu, operando no vácuo e na metodologia do pó. O acesso a mineralogia foi obtido via análises de Difração de Raios-X (DRX) realizadas no equipamento D2 Phaser Bruker, operando com radiação K α de cobre, 30kv e 10 mA, com varredura de 2 θ entre 5° e 60° com passo de 0,02°/s.

Para os produtos obtidos na pesquisa, foram realizadas análises químicas e mineralógicas, de modo semelhante aos utilizados na caracterização das materiais primas. Já o acesso as propriedades mecânicas se deram pelo ensaio de resistência à compressão indicado na NBR 7215, conduzidos em um equipamento de ensaios universais da Contenco i-3058 380 V 027. Foram utilizadas amostras cúbicas, com as dimensões: 25x25 (mm). Para avaliar a integridade dos materiais produzidos foi realizada a análise de ultrassom utilizando o equipamento PUNDIT PL-200 de 54 kHz, fabricado pela PROCEQ.

4.3 Preparação das barras prismáticas e ensaios aplicados

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram confeccionadas barras prismáticas, de acordo com a norma da ABNT NBR 15577-4, de argamassas de metacaulinita e pirex (ativados com três formulações de ativadores alcalinos – 100% silicato de sódio, 100% silicato de potássio e 50% de silicato de sódio + 50% de silicato de potássio), e de metacaulinita e dois tipos de britas (Brita 1 e Brita 2) ativadas com silicato de sódio e comparadas a uma argamassa de referência (Cimento Portland CPV-ARI com Pirex). Em seguida, foram moldados os corpos de prova nas formas previamente separadas em duas camadas, com 20 golpes entre elas (para evitar a formação de bolhas). Após 24h o material foi desmoldado e seguido o roteiro preconizado na ABNT NBR 15577-4

De todas as formulações realizadas, os únicos CP`s que conseguiram resistir ao processo de moldagem/desmoldagem e ficaram aptos para o ensaio de expansão foram as barras produzidas com metacaulinita, pirex e silicato de sódio, bem como as barras a base de cimento Portland e pirex. Estes foram submetidos ao Ensaio de Expansão pelo Método Acelerado. Tal resultado pode estar relacionado a possíveis interação dos materiais componentes da argamassa e os respectivos traços utilizados em sua preparação, ou ainda por não terem polimerizado o suficiente para a formação do material alcalinamente ativado, ou ainda devido a problemas durante o processo de mistura (velocidade, temperatura, etc.).

Após a submissão ao Ensaio de Expansão pelo Método Acelerado, as amostras aptas foram analisadas acessando suas propriedades mecânicas, mineralógicas e microestruturais.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização Química e Mineralógica das Matérias primas

Na Tabela 1 são evidenciados os óxidos mais estáveis de cada material utilizado na pesquisa.

%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	MgO	SO ₃	Outros
MK	62,96	34,61	1,34	0,63	0,07	0,05	0,03	0,12	0,00	0,19
Cimento	20,91	1,94	0,84	2,42	0,51	63,94	0,26	3,62	5,18	0,38
Pirex	74,77	3,32	0,43	0,15	10,05	8,45	0,00	2,56	0,26	0,01
B1	66,75	16,11	4,88	3,95	2,48	2,83	0,96	0,96	0,07	1,01
B2	71,89	16,01	4,69	1,65	3,12	1,74	0,00	0,60	0,11	0,19

Tabela 1: Composição Química dos precursores utilizados na pesquisa.

Pode-se observar pela Tabela 1 que todos os materiais precursores são fontes representativas de sílica, com exceção do cimento, cujo constituinte majoritário é o óxido de cálcio. O pirex além de apresentar um grande índice de SiO₂, possui os teores mais elevados de Na₂O, comparados aos demais precursores, mostrando ser um material rico em álcalis, o que pode influenciar no surgimento acelerado da RAA nesta pesquisa.

Para produzir o material alcalinamente ativado, foi utilizado Metacaulim, com uma grande quantidade de SiO₂, e o pirex, que contém uma quantidade percentual ainda maior, fora adicionado silicato de sódio e/ou potássio como álcali reativo. O cimento, apesar de conter apenas 20,91% de óxido de silício, foi adicionado o pirex, aumentando esta concentração. Isto é, condições perfeitas para manifestação da Reação Álcali-Agregado. Ambos materiais foram colocados na presença de soluções de hidróxido de sódio para promover a RAA com o objetivo de avaliar se o material alcalinamente ativado apresentaria potencial para atuar como agente mitigador da reação.

As Figuras 3 a 6 apresentam os difratogramas das matérias-primas utilizadas nessa pesquisa.

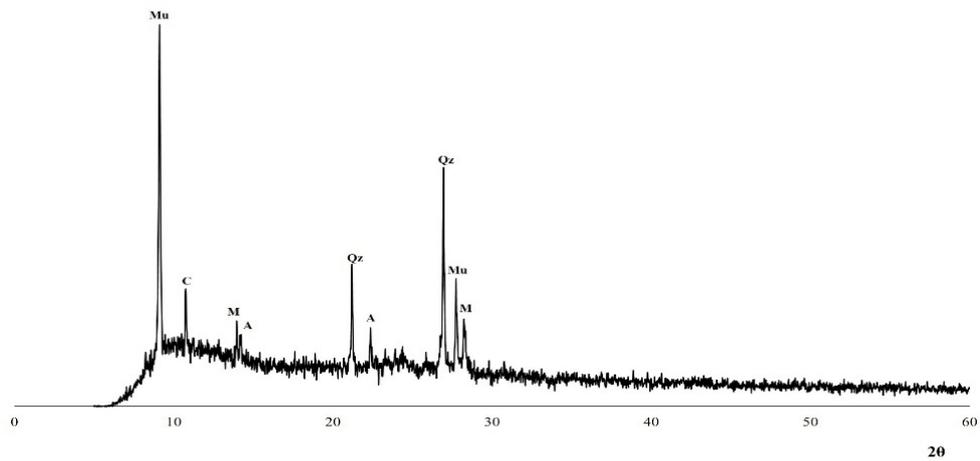


Figura 6: Difratograma da amostra da Brita 2.

Pela Figura 3 é possível observar que a metacaulinita é um material amorfo apresentando baixa cristalinidade na estrutura do material, sendo assim, um material muito reativo. A Metacaulinita é constituída basicamente de quartzo (Qz) e mica (M). Já a amostra de cimento apresenta alto grau de cristalinidade, sendo composto basicamente pelas fases belita, alita, óxido de cálcio, gesso e outros minerais minoritários. Observando o difratograma da Figura 4, referente ao Pirex, pode-se observar que o mesmo é um agregado amorfo de alta reatividade, sendo composto basicamente de quartzo (Qz) e tridimina (Td).

Pelo difratograma apresentado na Figura 5, pode-se observar o grau de cristalinidade da Brita B1, e que a mesma é composta basicamente por albita (A), arnodita (An), cordierita (C), quartzo (Q), biotita (B) e microlina (M), sendo o pico da biotita o de maior intensidade. Observando o difratograma da Brita B2 (Figura 6) é possível observar que a mesma apresenta um grau de cristalinidade menor quando comparada à Brita B1, e que a mesma é composta por albita (A), cordierita (C), quartzo (Q), microlina (M) e muscovita (Mu), tendo este último apresentado pico de maior intensidade. Observa-se, ainda, que o pico do quartzo é mais evidente neste tipo de brita quando comparado com a Brita B1.

Observa-se que a principal diferença entre as britas é o tipo de mica presente nelas. Enquanto a Brita B1 por ser oriunda de uma rocha do tipo granodiorite segundo a classificação TAS, apresenta a mica do tipo biotita (mica piroxênica ou magnesianana segundo Paterson et. al. 1989), a Brita B2 por ser oriunda de uma rocha do tipo granito segundo a classificação TAS, apresenta uma mica do tipo muscovita (mica potássica que se enquadra em uma das espécies de micas graníticas segundo Paterson et. al. 1989). É possível observar, ainda, que a Brita B2 apresenta um grau de cristalinidade menor quando comparada à Brita B1, visível pelo halo formado entre 5° e 30°.

5.2 Caracterização Química e Mineralógica dos materiais produzidos

A Tabela 2 apresenta a composição química das Barras produzidas nessa pesquisa.

%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	MgO	SO ₃	Outros
MK.P.SiNa	66,09	6,84	0,26	0,31	16,11	7,54	0,06	2,54	0,19	0,06
MK.P.SiK	72,02	10,26	2,24	0,22	7,61	5,38	0,03	1,94	0,21	0,09
MK.P.SiNa+SiK	71,50	9,59	1,20	0,22	9,73	5,46	0,03	1,90	0,19	0,18
MK.B1.SiNa	70,01	13,1	2,31	2,84	6,64	2,82	0,50	0,97	0,11	0,70
MK.B2.SiNa	57,54	11,89	2,58	1,27	24,56	1,15	0,16	0,51	0,06	0,28
CPV-ARI.P	52,30	1,79	0,29	1,76	8,04	31,09	0,15	2,69	1,53	0,36

Tabela 2: Composição Química dos materiais produzidos.

O MAA apresentou uma predominância, já esperada, de SiO₂, onde o menor teor foi observado para o MAA a base da Brita B2 na ordem de 58%, o que difere do observado para o seu respectivo precursor. O Na₂O também apareceu com grande quantidade em sua composição (Brita B2), o que evidencia que nesta amostra ocorreu uma incorporação acentuada do álcali sódio oriundo da solução de NaOH 1M.

Observando os resultados do material cimentício a base de CPV constata-se que o mesmo apresentou um aumento do teor de sílica em sua composição quando comparado a cada precursor separadamente. Deve-se levar em consideração que a RAA é oriunda do aumento da presença de SiO₂ que ficou disponível para originar a reação. A presença relevante de Na₂O pode ter sido potencializada através da solução de NaOH em que as barras prismáticas foram submetidas devido ao ensaio de expansão pelo método acelerado.

Avaliando o álcali Potássio é possível observar uma maior concentração nas amostras sintetizadas com silicato de potássio, como esperado, bem como nas amostras com a utilização dos agregados graníticos, o que evidencia a contribuição desses agregados com relação ao teor de álcalis disponíveis.

As Figuras 7 a 9 apresentam os difratogramas das barras produzidas nessa pesquisa.

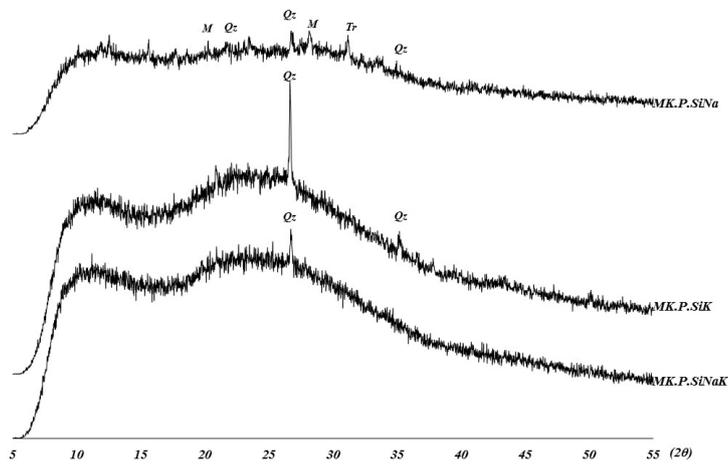


Figura 7: Difratomogramas das barras de MAA a base de Pirex e silicatos de Sódio (MK.P.SiNa), de Potássio (MK.P.SiK) e de Sódio + Potássio (MK.P.SiNaK).

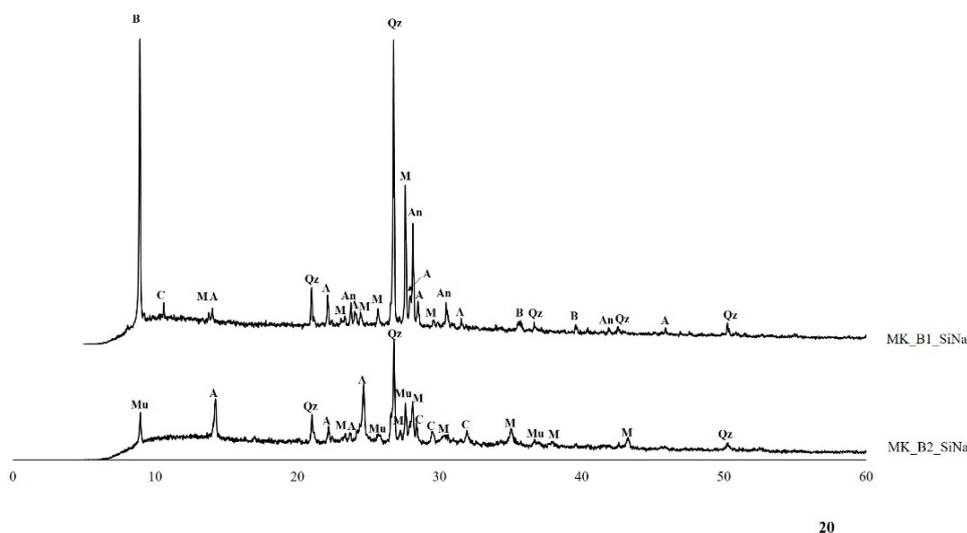


Figura 8: Difratomogramas das barras de MAA a base das Britas B1 (MK.B1.SiNa) e B2 (MK.B2.SiNa).

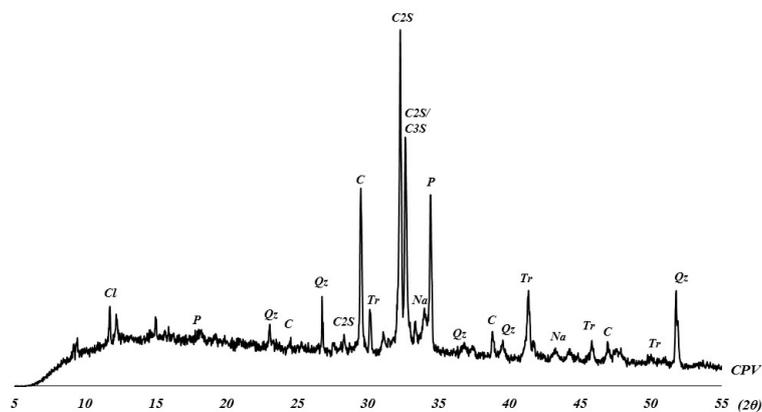


Figura 9: Difratomogramas das barras de CPV com Pirex

Pelas Figuras 7 a 9 pode-se observar os padrões de difração das barras

oriundas de MK e Pirex, MK e Britas e a base de CPV. Pode-se observar que não houve degradação da estrutura cristalina, quando comparadas às estruturas dos agregado empregados na elaboração dessas barras.

Pela Figura 7 pode-se observar que os minerais constituintes de todos os sistemas de MK e Pirex (ativados com silicato de sódio, com silicato de potássio e com a mistura de silicatos de sódio e potássio) são oriundas das mesmas fases cristalinas de seus precursores, com exceção do sistema ativado com silicato de sódio que apresentou uma fase de carbonato trona (Tr).

Quando avaliados os sistemas de Metacaulinita com Britas (Figura 8) verifica-se o mesmo padrão, ou seja, as fases cristalinas são oriundas dos materiais precursores, como quartzo (SiO_2), Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), Microclina (KAlSi_3O_8) e Cordierite ($(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_8$) em ambas as britas e Anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) e Biotita ($\text{K}(\text{MgFe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), na Brita B1 e Muscovita ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$) na Brita B2.

De modo geral, pode-se observar, analisando a Figura 8, que não houve consumo do tipo de mica presente em cada tipo de brita, bem como da sílica presente, mostrando que possivelmente não ocorreu a RAA em níveis expressivos, apontando o aprisionamento dos álcalis na matriz do MAA, mitigando a RAA.

Os resultados do difratograma das barras a base de cimento Portland (Figura 9) apresentam que as mesmas são constituídas basicamente de quartzo, alita, belita, portlandita, calcita, conforme seu material precursor. É possível observar, ainda, fases de carbonatos (Tr:Trona e Na:Natron) oriundas da exposição ao ambiente ao qual ficou exposto (solução alcalina de NaOH 1M do ensaio de expansão pelo método acelerado). Isto pode ser uma evidência da disponibilidade de álcalis na matriz que possibilitou a formação de carbonatos e que poderiam estar também disponíveis para a formação da RAA.

5.3 Resultados da Expansão pelo Método Acelerado

Apenas as amostras de MAA (ativado com 100%SiNa) e CP a base de pirex apresentaram condições de serem submetidas ao ensaio de expansão. A hipótese é que não ocorreu a polimerização adequada com os materiais alcalinamente ativados e os agregados não reativos (britas 1 e 2), bem como os MAA com silicato de potássio e com a mistura de silicatos (50%SiNa + 50%SiK), o que acarretou na quebra das barras prismáticas no processo de desmoldagem como pode ser observado nas Figura 10 e 411

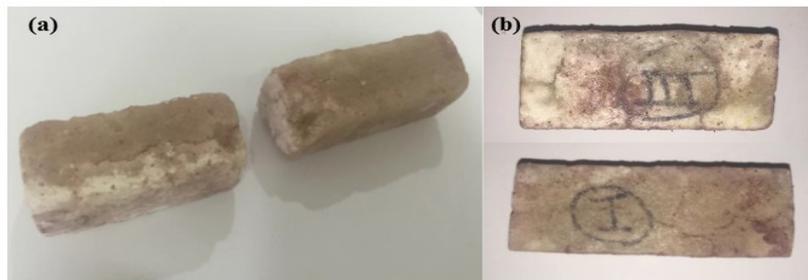


Figura 10: Barras de MAA a base de agregados graníticos, (a) Brita 1 e (b) Brita 2.



Figura 11: Barras de MK.P.SK (metacaulinita, pirex e silicato de potássio) e de MK.P.SKNa (metacaulinita, pirex e silicato de potássio+silicato de sódio).

Os resultados do ensaio de expansão pelo método acelerado podem ser observados, também, no gráfico apresentado na Figura 12.

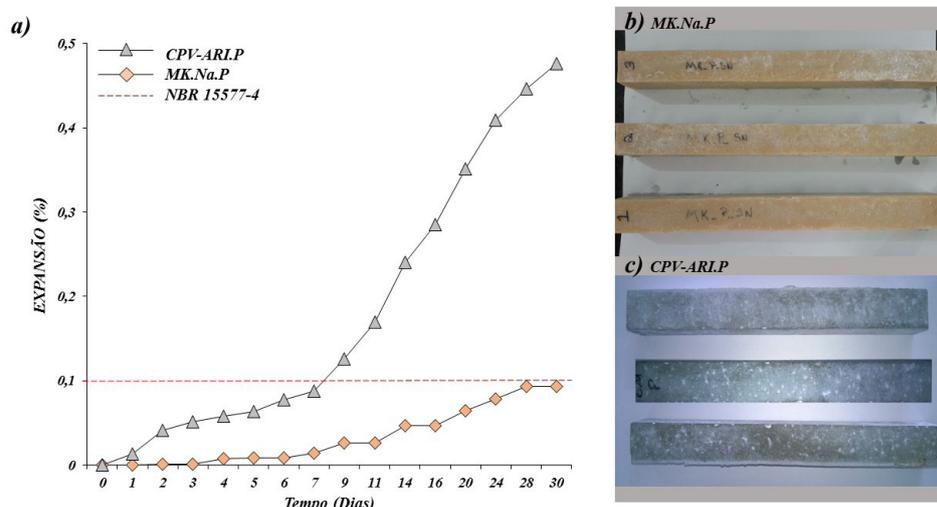


Figura 12: (a) Curvas de Expansão com o tempo de argamassas de CPV-ARI.P e MK.Na.P, (b) Barras de MK.Na.P aos 30 dias após submissão ao ensaio, (c) Barras de CPV-ARI.P aos 30 dias após submissão ao ensaio. Fonte: (GOMES et al., 2016).

Pela Figura 12 é possível observar que comparando as barras prismáticas a base de cimento Portland com as barras de MAA, as primeiras (CPV-ARI.P) apresentaram maior expansão em comparação com as segundas (MK.Na.P). É possível observar que depois de apenas 7 dias de imersão em solução de NaOH 1 M a 80°C, as barras de CPV-ARI.P tinha expandido mais do que o limite permitido na norma NBR 15577-4 (0,1%).

Após 30 dias (ver Figura 5b e 5c), pode ser visto ao longo de toda a superfície da amostra a interação da matriz com o agregado reativo pirex. Observa-se uma maior interação com a matriz de MAA, enquanto que com a base de argamassa de Cimento Portland, eles estão na superfície do material, apresentando um descolamento da matriz. A Figura 5b mostra que as amostras do sistema metacaulinita estavam em perfeitas condições após 30 dias de exposição, sem apresentar fissuras superficiais e que não excedeu as disposições da norma NBR 15577-4.

5.4 Ultrassom

Os resultados do ensaio de ultrassom podem ser observados pelos gráficos apresentados nas Figuras 13 e 14.

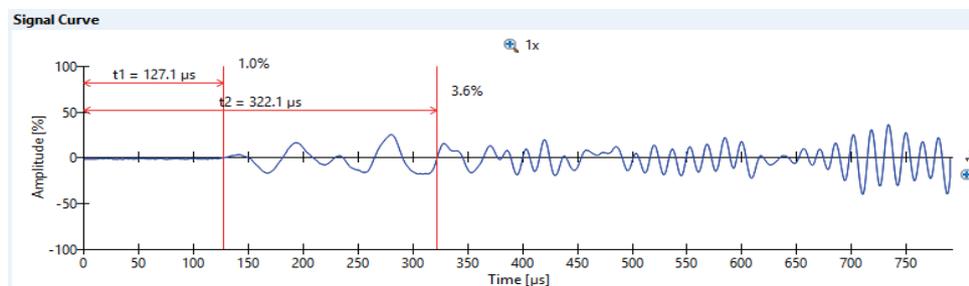


Figura 13: Gráfico da análise em ultrassom das Barras Prismáticas a base de Material Alcalinamente Ativado (MK.Na.P).

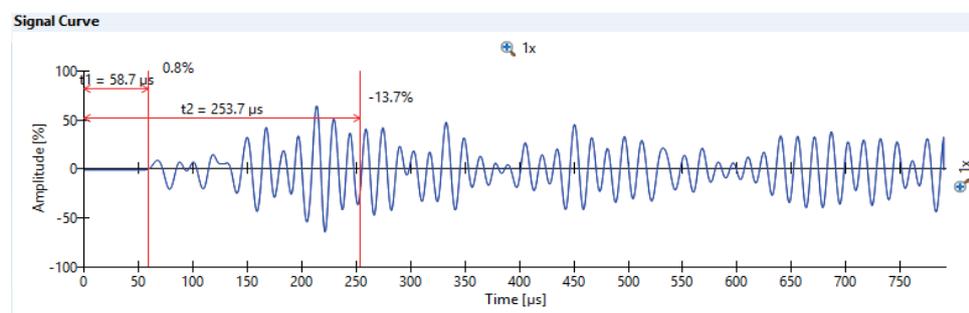


Figura 14: Gráfico da análise em ultrassom das Barras Prismáticas a base de Cimento Portland (CPV-ARI.P).

Pode observar pelos gráficos apresentados nas Figuras 13 e 14 que as barras prismáticas a base do material alcalinamente ativado (MK.Na.P) apresentou uma

menor amplitude em relação ao gráfico do material a base de cimento Portland (CPV-ARI.P). Isto pode ser uma evidência de que sua estrutura interna foi pouco danificada. Esses resultados, em junção com o ensaio de expansão, servem de indícios da possível ausência da RAA nas barras de MAA.

Quando avaliado as amostras a base de cimento Portland (Figura 14), observou-se pelos resultados do ensaio de ultrassom, que as mesmas possuem em seu interior um número maior de falhas, quando comparadas as amostras de MAA. Isto, juntamente com os resultados de expansão, é um indicativo de que o material CPV-ARI.P pode ter apresentado a patologia de RAA. Tal hipótese relaciona-se aos vazios na estrutura devido ao esfarelamento da mesma, da presença de fissuras no material, bem como ao descolamento das pérolas de pirex que se desprendiam da matriz e que foram observados na microscopia eletrônica de varredura.

5.5 Resistência à Compressão Simples (RCS)

As Figuras 15 e 16 apresentam os CP's dos materiais produzidos (CPV-ARI.P e MK.Na.P) antes do ensaio de resistência e os resultados do teste de resistência a compressão das barras após submissão por 30 dias ao ensaio de expansão pelo método acelerado.



Figura 15: Cubos utilizados nos testes de resistência a compressão.

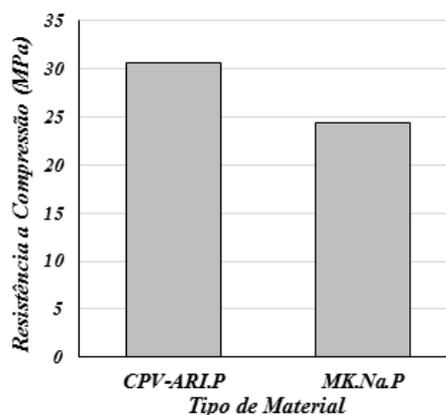


Figura 16: Resultados do teste de Resistência a Compressão.

No teste de resistência a compressão, ambos os materiais apresentaram

bons resultados de resistência, mesmo após submissão por trinta dias ao ensaio de expansão pelo método acelerado. É possível observar que o material cimentício a base de cimento Portland apresentou resistências ligeiramente mais elevadas quando comparadas ao material alcalinamente ativado. Os resultados para a baixa resistência dos MAA's (inferiores a 40 MPa) pode estar relacionada em falhas no processo de preparação do material (mistura manual), visto estes materiais serem susceptíveis ao processo de mistura, bem como a temperatura de síntese e a razões molares utilizadas na síntese do material, visto a mesma ter seguido o preconizado na ABNT NBR 15577-4, e não a razões molares otimizadas para o tipo de material precursor e o uso destinado.

5.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Durante a preparação das amostras para serem submetidas a análises de MEV, foi encontrado dificuldades, em especial no tocante ao lixamento das amostras das argamassas a base de cimento Portland. Tais dificuldades estavam associadas ao descolamento das pérolas de pirex da matriz, originando vários espaços vazios. A hipótese é de que pelo fato do agregado (pirex) em várias granulometrias estarem na forma esférica na sua grande maioria, não apresentarem forma de ancoragem satisfatória na estrutura, facilitando assim o escape durante algum processo de arraste como o lixamento.

Este fato não foi observado nas amostras das barras a base de material alcalinamente ativado, onde os grãos de pirex permaneceram firmes na estrutura, devido a adesão pasta/agregado ser mais forte no material alcalinamente ativado do que no cimento.

As Figura 17 a 19 apresenta as micrografias das barras de cimento.

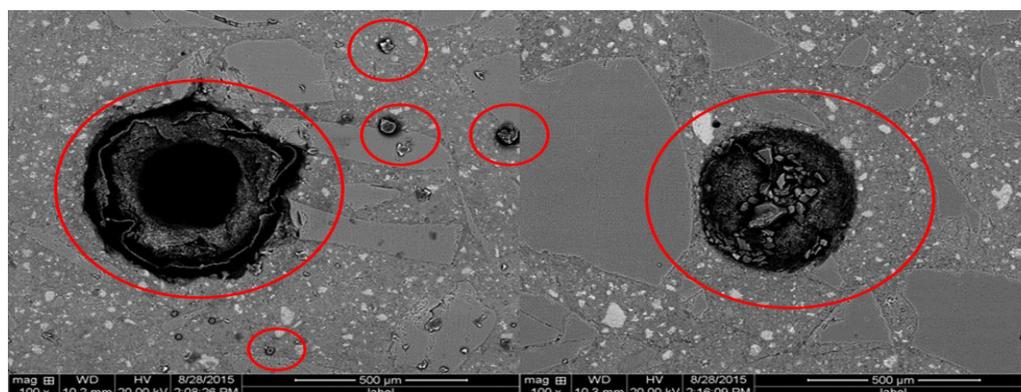


Figura 17: Micrografia SEM das barras CPV-ARI.P, destacando os espaços vazios oriundos das pérolas de pirex que se descolaram da estrutura.

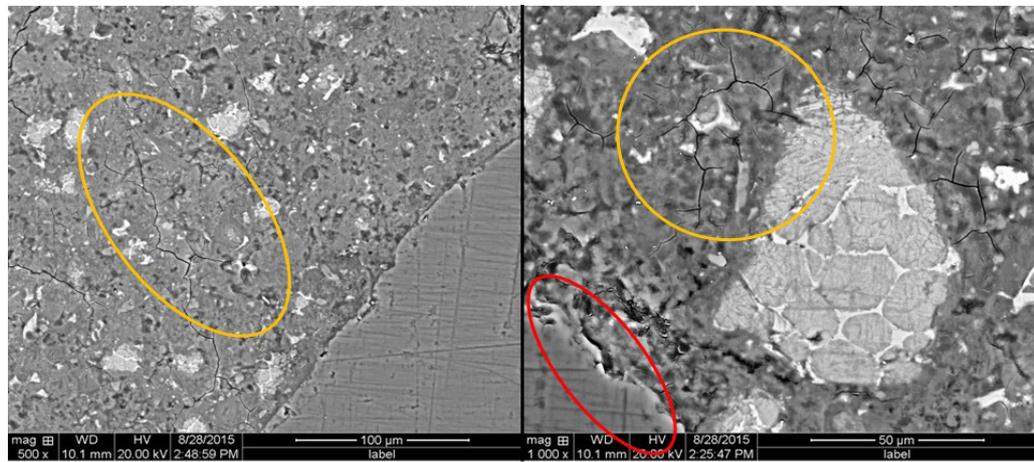


Figura 18: Micrografia SEM das barras CPV-ARI.P, destacando as fissuras e descolamento nas interfaces entre o agregado e a matriz cimentícia.

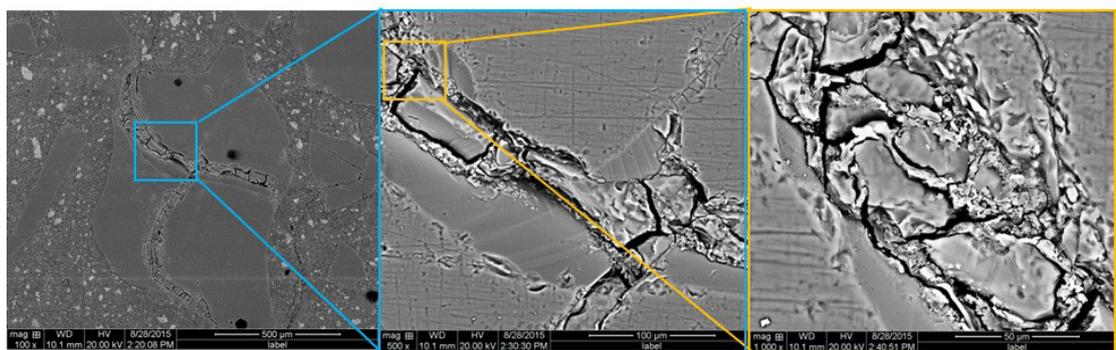


Figura 19: Micrografia SEM das barras CPV-ARI.P, destacando as fissuras no grão de pirez.

Pela Figura 17 pode-se observar os espaços vazios decorrentes do descolamento das pérolas de pirez durante o processo de lixamento da amostra. Nota-se que os agregados descolados da estrutura, tem em sua maioria formato esférico, não apresentando nenhuma estrutura de ancoragem na pasta. Observa-se, ainda, que ocorreu um descolamento geral das pérolas, independente da sua granulometria.

Na Figura 18 é possível observar detalhes da matriz cimentícia que se encontra bastante fissurada (destaque na cor laranja), provavelmente decorrentes da expansão da estrutura quando submetida ao ensaio de expansão pelo método acelerado. É possível observar ainda o descolamento (destaque na cor vermelha) entre os agregados e a matriz.

Em diversas partes da amostra foram encontradas um gel no centro e em volta dos grãos de pirez, bem como extensas fissuras em torno do agregado. Avalia-se que esta seja uma manifestação decorrente da expansão da estrutura em função da ocorrência da RAA.

As Figura 20 e 21 apresentam as micrografias das barras MK.P.SiNa.

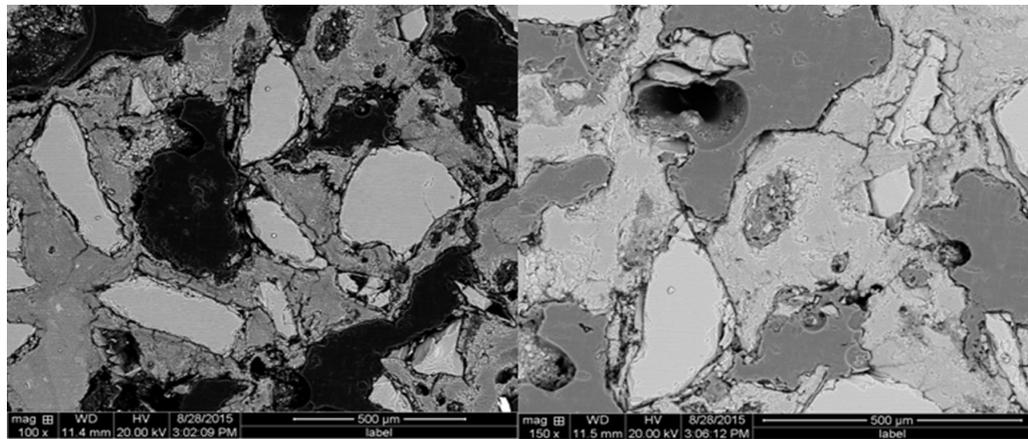


Figura 20: Micrografia SEM das barras de MK.P.SiNa.

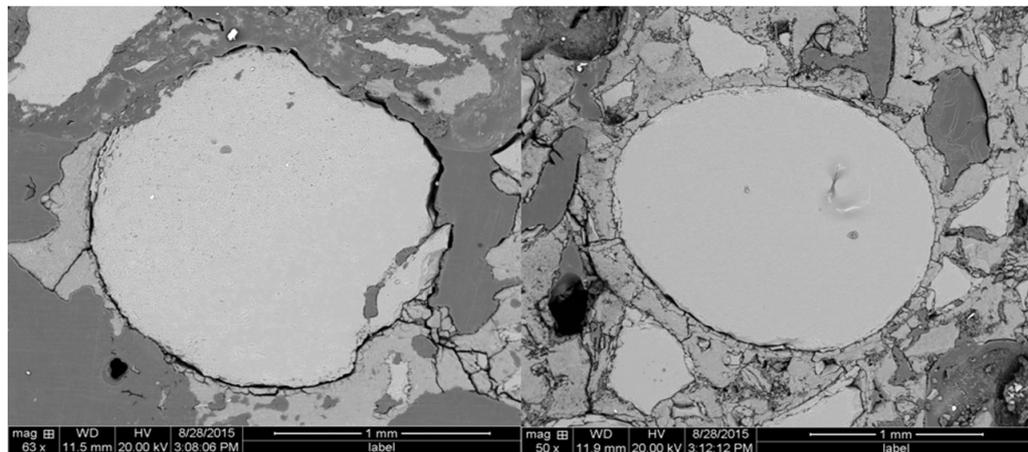


Figura 21: Micrografia SEM das barras de MK.P.SiNa.

Pode-se observar pela Figura 20 que o material alcalinamente ativado também apresentou uma matriz repleta de espaços vazios. Contudo, o mesmo aparenta ser resultado de uma mistura ineficiente (em termos de compactação da matriz) e não devido ao descolamento do agregado. Esses espaços são destacados pela coloração escura devido ao preenchimento dos vazios pela resina de embutimento. É observado, pela Figura 21, que os agregados realmente permaneceram aderidas a matriz do material alcalinamente ativado, embora, seja perceptível fissuras na sua interface.

6 | CONCLUSÃO

Após todas as análises e ensaios realizados, pode-se observar que as barras de MAA (MK.Na.P) apresentaram uma expansão insignificante quando comparadas as barras de cimento Portland. Estes resultados, em conjunto com os resultados de ultrassom, sugerem que as barras não foram afetadas pela RAA, apesar de apresentarem teores elevados de sílica e álcalis, o que indica que estes componentes foram imobilizados na matriz do MAA, enquanto no cimento estes componentes ficam disponíveis para reagirem e assim, ocasionarem a RAA, que é extremamente

prejudicial para estruturas.

A estrutura interna das argamassas de MAA apresentaram poucas fissuras em seu interior quando comparadas aos resultados das barras a base de Cimento Portland que possuíam grandes amplitudes, observados pelos resultados de ultrassom.

Mesmo após submissão a ambientes agressivos as amostras de MAA's apresentaram resistências satisfatórias quando comparadas as amostras a base de cimento Portland, bem como as resistências dos MAA's podem ter sido influenciadas pelo processo de mistura que é uma parte importante na polimerização dos MAA's, ou ainda pela formulação utilizada, que seguiu o preconizado na norma e não as razões otimizadas para a aplicação como materiais estruturais de grande desempenho.

Foi observado ainda, para análise de MEV, que o MAA possibilita maior aderência entre a matriz e os tipos de agregados utilizados na pesquisa, quando comparados as argamassas a base de cimento Portland, visto terem sido observados descolamento de pérolas de pirex (em formato esférico) na matriz cimentícia do CP, além destes foi observado fissuras exclusivas nas amostras de cimento e pirex, que se podem ser oriundas da Reação Álcali-Agregado, ou até o gel formado na reação.

Diante do exposto, há evidências de que os MAA's apresentam um excelente potencial para reforçar estruturas danificadas e mitigar a RAA ou até mesmo substituir o cimento em estruturas com pequenos volumes.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15577: Agregados - Reatividade álcali agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto Rio de Janeiro, 2008.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5733: Cimento Portland com alta resistência inicial. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

CARMONA, A. F.; HELENE, P. R. L. Fissuração das Peças de Concreto Armado e Corrosão das Armaduras. In: Seminário Nacional de Corrosão na Construção Civil, 2., Rio de Janeiro, set. 1986. Anais. Rio de Janeiro, ABRACO, 1986. p.172-95.

CHANG, R. (1994). "Química", Ed. McGraw-Hill, Lisboa.

DAVIDOVITS, J. *Ancient and modern concretes: What is the real difference?* Concrete International, v. 9, nº 12, p. 23-35, Dezembro 1987.

DIAMOND, S. ASR: Another look at mechanisms. In: International Conference on Alkali-Aggregate Reaction (ICAAR), 8., Kyoto. Proceedings...Kyoto: Edited by K. Okada, S. Nishibayashi & M. Kawamura, 1989. P. 83-94. 1989.

DUXTON, P. *The structure and thermal evolution of metakaolin geopolymers*. Thesis of Doctor of Philosophy in Engineering of Department of Chemical and Biomolecular Engineering, the University of Melbourne, 2006.

- DUYOU LU et al. Alkali-aggregate reactivity of typical siliceous glass and carbonate rocks in alkali-activated fly ash based geopolymers. Proc. SPIE 8793, Fourth International Conference on Smart Materials and Nanotechnology in Engineering, 879313 (August 9, 2013). doi: 10.1117/12.2032185
- FERNANDEZ-JIMENEZ, A.; PALOMO, A (2007) Mater. Construc. (in press).
- FERNANDEZ-JIMENEZ, A.; PALOMO, A.; LOPEZ-HOMBRADOS, C. ACI. Mater. J. 103:106 (2006).
- GARCIA-LODEIRO, I; PALOMO, A; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A. Alkali-aggregate reaction in activated fly ash systems. Cement Concrete Research, 37(2007):175-183.
- GOMES, K. C.; TORRES, S. M.; SILVA, A. C.; DINIZ NETO, J. G.; MELO, K. L. M; BEZERRA FILHO, E. J. A. Effect of the Use of AAC in Mitigating the Alkali-Aggregate Reaction. In: 15th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction. São Paulo, 2016.
- HASPARYK, N. P. Investigação dos Mecanismos da Reação Álcali- Agregado – Efeito da Cinza de Casca de Arroz e da Sílica Ativa. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil. 1999.
- HASPARYK, N. P. Investigação de Concretos Afetados pela Reação Álcali-Agregado e Caracterização Avançada do Gel Exsudado. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.
- HOOBS, DW. Alkali-silica reaction in concrete. London. Ed. Thomas Telford Ltd., 1988.
- HU S., WANG H., ZHANG G., DING Q., Bonding and abrasion resistance of geopolymeric repair material made with steel slag, Cement & Concrete Composites (2008).
- KIHARA, Y. Reação álcali-agregado: aspectos mineralógicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1., 1986, São Paulo. Anais...São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1986 p. 127-138.
- LARIVE, C. (1997), Apport Combinés de L'Alkali-Réaction et des ses Effets Mécaniques, thèse de doctorat, École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.
- LEGER, P., TINAWI, R., MOUZER, N. (1995), "Numerical Simulation of Concrete Expansion in Concrete Dams affected by Alkali-Aggregate Reaction: State-of-the-Art", Canadian Journal of Civil Engineering, v. 22, pp. 692-713.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto - estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Ed. IBRACON, 2008.
- MIRANDA JM, FERNANDEZ-JIMENEZ A, GONZALEZ JA, PALOMO A (2005) Cement Concrete Research 35:1210.
- MUHD F.N., SITI N.A.R. Effects of geopolymer concrete fly ash based on alkali silica reaction (ASR). Applied Mechanics and Materials, Vol. 567 (2014) 405-410, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.567.405
- PACHECO-TORGAL F., CASTRO-GOMES J.P., JALALI S., Adhesion characterization of tungsten mine waste geopolymeric binder. Influence of OPC concrete substrate surface treatment, Construction and Building Materials (2008).
- PALOMO, A.; PALACIOS, M. Alkali-activated cementitious materials: Alternative matrices for the immobilisation of hazardous wastes - Part II. Stabilisation of chromium and lead. Cement and Concrete Research 33(2):289-295. (2003).

PALOMO, A., GRUTZECK, M.W., BLANCO, M.T. (1999). "Alkali-activated Fly Ashes: A Cement for the Future", *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, pp. 1323-1329.

PATIL, K.K., ALLOUCHE, E. Effect of alkali silica reaction (ASR) in geopolymer concrete. *World of Coal Ash (WOCA) Conference*. May, 2011. Denver, USA.

PAULON, V. A. Reações álcali-agregado em concreto. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1981.

PETERSON, M. G., ULM, F-J, (2000), *Chemoplasticity of the Alkali-Silica Reaction in Concrete: Modeling of Stress-Induced Anisotropy*, Report, Department of Civil & Environmental Engineering - School of Engineering, Massachusetts, EUA, June 2000.

POOLE, A.B. Introduction to álcali-aggregate reaction in concrete. In: SWAMY, R.N. *The Alkali-Silica Reaction in Concrete*. Glasgow?London: Blackie?New York: Van Nostrand Reinhold, 1002, p. 1-29.

PUERTAS, F. Cementos de escorias activadas alcalinamente: Situación actual y perspectivas de futuro. *Materiales de Construcción* 45, p. 53–66 (1995).

SILVEIRA, A. A., *Contribuição ao Estudo do Efeito da Incorporação de Cinza de Casca de Arroz em Concretos Submetidos a Reação álcali-agregado / Adriana Augustin Silveira*. – 2007. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2007.

STANTON, T. E. (1940), "Expansion of Concrete Through Reaction between Cement and Aggregate". *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, v. 66, p. 1781-1811.

SWAMY, R. N.; AL-ASALI, M. M. Expansion of concrete due alkali-silica reaction. *ACI Materials Journal*. v. 85, n. 5, p. 33-40, 1988.

TAYLOR, H. F. W. *Cement chemistry*. 2. Ed. London: Thomas Telford, 1997.

THAUMATURGO, C.; THOMAZ, E.C.; SILVA, F.J.; PEREIRA, D. Cimento polimérico inorgânico para aplicações civis. In: *Congresso da Associação Brasileira de Cimento Portland*, São Paulo, 1999.

TIECHER, et al. A Reatividade dos Agregados do Sul do Brasil. *Revista IBRACON de Materiais*, v. 3, n.1, p. 82-91, mar 2007.

TIECHER, et al. Avaliação da Utilização do Cimento de Alta Resistência Inicial e Resistente a Sulfatos no Combate à Reação Álcali-Agregado. In: *Simpósio sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto*, 2, 2006. Rio de Janeiro. Anais... São Paulo: IBRACON, 2006. 1 CD-ROM.

TIECHER, F. Influência do Grau de Cristalinidade e Deformação do Quartzo no Desencadeamento da Reação Álcali-Agregado. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

VALDUGA, Laila. Reação Álcali-agregado: Mapeamento de agregados reativo do estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Escola de Engenharia Civil, Campinas- SP, 2002.

VAN JAARSVELD, J.G.S.; VAN DEVENTER, J.S.J.; SCHWARTZMAN, A. The Potential use of Geopolymeric Materials to Immobilise Toxic Metals: Part II. Material and Leaching Characteristics. *Minerals Engineering*, Vol. 12, No. 1, pp. 75-91, (1999).

VAN JAARSVELD, J.G.S.; VAN DEVENTER, J.S.J.; LORENZEN, L. The potential use of geopolimetric materials to immobilize toxic metals: part I. Theory and applications. *Minerals Engineering*, v. 10, n. 7,

p. 659-669, 1997.

VAN JAARVELD, J.G.S.; VAN DEVENTER, J.S.J.; LORENZEN, L. Factors affecting the immobilization of metal in geopolymerized fly ash. *Metallurgical and Materials Transactions B. Process Metallurgy and Materials Processing Science* 29(1): 283-291 (1998).

SOBRE O ORGANIZADOR

CLEBERTON CORREIA SANTOS- Graduado em Tecnologia em Agroecologia, mestre e doutor em Agronomia (Produção Vegetal). Tem experiência nas seguintes áreas: agricultura familiar, indicadores de sustentabilidade de agroecossistemas, uso e manejo de resíduos orgânicos, propagação de plantas, manejo e tratamentos culturais em horticultura geral, plantas medicinais exóticas e nativas, respostas morfofisiológicas de plantas ao estresse ambiental, nutrição de plantas e planejamento e análises de experimentos agropecuários.

(E-mail: cleber_frs@yahoo.com.br) – ORCID: 0000-0001-6741-2622

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidentes 109, 310, 311, 312, 313, 314

Aminas primárias 81, 84, 85

Atividade antioxidante 144, 146, 151, 152, 153, 155, 156

B

Bioimpressão 193, 194, 195, 196, 199

C

Castanhola 74, 75, 79

Compostos multifuncionais 64, 67

Compressores Herméticos 34, 35, 36, 39, 40

Construção Civil 102, 105, 112, 113, 157, 179, 363

CPTEC 205, 206, 207, 208, 217

E

Equações lineares 45, 233, 236, 237, 238, 239, 240, 353

Estrutura axiomática 183, 186, 189

F

Fonte de fissão 41, 42, 44, 45, 47, 48, 49

G

Geoprocessamento 1, 2

H

Hemocentro 317, 322, 323, 324, 326

Hibridização 64, 65, 67, 68, 69, 71

L

Lesson Study 218, 219, 220, 221, 222, 224, 225

Leveduras 8

M

Mapeamento 1, 2, 3, 4, 6, 7, 181, 280

Mecânicas de eritrócitos 226

Multi-objetivo 277, 278, 279, 281, 282, 283, 284, 287

Mutagênese 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18

P

PHB/PC 253, 254, 257, 261, 262, 264

Protocolos de redes 52

R

Redes neurais 349, 350, 351, 354, 356, 358, 359, 360, 361, 362

Risco de inundação 1, 3, 4, 5, 6, 7

S

Smart Grids 51, 52, 53, 61

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-622-5

