



7º ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO



7º ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO

PROMOÇÃO



PATROCINADORES



APOIO



ORGANIZAÇÃO



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Imagens da capa

Agência Preview - Banco de Imagens

Edição de arte

Silvia Trein Heimfarth Dapper

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^a Dr^a Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^a Dr^a 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

7º Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos na Construção

Diagramação: Camila Alves de Cremo

Indexação: Gabriel Motomu Teshima

Revisão: Os autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S495 7º Encontro nacional de aproveitamento de resíduos na construção / Organizadores Luciana Cordeiro, Sofia Bessa, Angela Borges Masuero, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Outros organizadores
Daniel Tregnago Pagnussat
Denise Carpena Coitinho Dal Molin
Lais Zucchetti
Sílvia Trein Heimfarth Dapper
Rosana Dal Molin
Fernanda Lamego Guerra
Caroline Giordani
Iago Lopes dos Santos
Maria Fernanda Menna Barreto
Maxwell Klein Degen
Natália dos Santos Petry
Rafaela Falcão Socoloski
Roberta Picanço Casaril
Aline Zini
Jéssica Deise Bersch
Thainá Yasmin Dessuy
Thaís do Socorro Matos da Silva

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-681-9
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.819210811>

1. Construção civil. 2. Preservação ambiental. 3. Redução de impactos e o reaproveitamento de resíduos. I. Cordeiro, Luciana (Organizadora). II. Bessa, Sofia (Organizadora). III. Masuero, Angela Borges (Organizadora). IV. Título.

CDD 690

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

Atena
Editora

Ano 2021



Declaração dos autores

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



Declaração da editora

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



Apresentação

Um dos grandes desafios do setor da construção civil é a busca pela redução de resíduos oriundos dos mais diversos processos da produção industrial. Desta forma, é estimulada, no âmbito científico, a busca por alternativas que visam o reaproveitamento desses resíduos como matéria-prima na construção. Aliado a esta ideia, o 7º Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos na Construção (ENARC) é um evento que visa incentivar a divulgação e discussão de ideias que possam embasar e desenvolver o setor da construção, levando em conta a ótica de preservação ambiental, redução de impactos e o reaproveitamento de resíduos.



Agradecimentos

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e ao Grupo FV, pelo apoio financeiro.

À ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, pelo apoio institucional.

À UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, NORIE - Núcleo Orientado para Inovação da Edificação, PPGCI - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura e LAMTAC - Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído, pela organização.

Ao Sinduscon-RS, pelo apoio e divulgação.

Aos autores, pela divulgação das pesquisas e à comissão científica pela sua avaliação.

A todos os participantes, pelas suas contribuições, presenças e interações.

Nosso muito obrigado a todos.

PROMOÇÃO



PATROCINADORES



APOIO



ORGANIZAÇÃO





Comissão organizadora local

- Profa. Dra. Angela Borges Masuero (UFRGS) - Comissão coordenadora
- Prof. Dr. Daniel Tregnago Pagnussat (UFRGS) - Comissão coordenadora
- Profa. Dra. Denise Dal Molin (UFRGS) - Comissão coordenadora
- Profa. Dra. Lais Zucchetti (UFRGS) - Comissão coordenadora
- Profa. Dra. Silvia Trein Heimfarth Dapper (PUCRS)
- Rosana Dal Molin (ANTAC) - Secretária ANTAC
- Fernanda Lamego Guerra (Pós-Doc NORIE/UFRGS)
- Caroline Giordani (Doutoranda NORIE/UFRGS)
- Deividi Maurenre Gomes da Silva (Doutorando NORIE/UFRGS)
- Iago Lopes dos Santos (Doutorando NORIE/UFRGS)
- Maria Fernanda Menna Barreto (Doutoranda NORIE/UFRGS)
- Maxwell Klein Degen (Doutorando NORIE/UFRGS)
- Natália dos Santos Petry (Doutoranda NORIE/UFRGS)
- Rafaela Falcão Socoloski (Doutoranda NORIE/UFRGS)
- Roberta Picanço Casaril (Doutoranda NORIE/UFRGS)
- Aline Zini (Mestranda NORIE/UFRGS)
- Jéssica Deise Bersch (Mestranda NORIE/UFRGS)
- Thainá Yasmin Dessuy (Mestranda NORIE/UFRGS)
- Thaís do Socorro Matos da Silva (Mestranda NORIE/UFRGS)





Comitê científico

Profa. Luciana Cordeiro (UFPA) – Comissão coordenadora

Profa. Sofia Bessa (UFMG) – Comissão coordenadora

Revisores

Abrahão Bernardo Rohden (FURB)

Adeildo Cabral (IFCE)

Adriana Gumieri (UFMG)

Aline Barboza (UFAL)

Ana Paula Maran (UFMS)

Ana Paula Milani (UFMS)

Anderson Muller (IFSC)

Andrea Franco (UFMG)

Ariane P. Rubin (UFSC)

Carina Stolz (FEEVALE)

Carlos Eduardo Marmorato (UNICAMP)

Cláudia Ruberg (UFPB)

Cláudio Kazmierczak (UNISINOS)

Dóris Bragança (UFRGS)

Edna Possan (UNILA)

Eduardo Grala (UFPEL)

Eduardo Polesello (FEEVALE)

Elaine Antunes (UNESC)

Fabiano Pereira (UNESC)

Fabriccio Almeida (SENAI)

Feliciane Brehm (UNISINOS)

Felipe Moreira (UFPA)

Felipe Reis (IFPA)

Fernanda Costa (UFRB)

Fernando Almeida (UFMG)

Fernando José (UFMG)

Geilma Vieira (UFES)

Giselle Reis (SERG/RS)

Glaucinei Correa (UFMG)

Guilherme Brigolini (UFOP)

Guilherme Cordeiro (UENF)

Isaura Paes (UFPA)

Janaíde Rocha (UFSC)

Jardel Gonçalves (UFBA)

João Adriano Rossignolo (USP)

Juliana Moretti (UNIFESP)

Luciana Cordeiro (UFPA)

Lucimara Leal (IFPA)

Luiz Maurício Maués (UFPA)

Luizmar Lopes (UPF)

Marcelo Massulo (UFPA)

Marcelo Picanço (UFPA)

Márcia França (UFMG)

Maria Teresa Aguilar (UFMG)

Marlon Longhi (UFRGS)

Maurício Pina (UFPA)

Maurilio Pimentel (UFPA)

Mirna Gobbi (PROARQ/UFRJ)

Mônica Leite (UEFS)

Muriel Froener (UCSul)

Patrícia Chaves (IFPA)

Patrícia Lovato (UPF)

Paulo Gomes (UFAL)

Rafael Mascolo (UNIVATES)

Ricardo Girardi (PUCRS)

Richard Lermen (IMED)

Risete Braga (UFPA)

Robson Fernandes (UFPA)

Rodrigo Silva (IMED)

Sabino Alves (UNIFESSPA)

Sandra Oda (UFRJ)

Sofia Bessa (UFMG)

Talita Miranda (UFMG)

Teresa Barbosa (UFJF)

Thiago Braga (UFPA)

Thiago Melo Grabois (UFRJ)

White dos Santos (UFMG)


SUMÁRIO

ÁREA 1 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MATERIAIS, COMPONENTES, ELEMENTOS E SISTEMAS COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS

CAPÍTULO 1.....1

PREVISÃO DO IMPACTO DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU NO DESEMPENHO MECÂNICO DO CONCRETO


MEDEIROS; Victor Amadeu Sant' Anna; CRUZ; Bruna Ramos de Souza; ALCAZAS; Juliana Carrasco; MILANI; Ana Paula da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108111>

CAPÍTULO 2.....9

PROPRIEDADES REOLÓGICAS E HIDRATAÇÃO DE PASTAS DE CIMENTOS TERNÁRIOS CONTENDO RESÍDUOS DE MÁRMORE, PORCELANATO, BLOCO CERÂMICO E FOSFOGESSO


COSTA; Ana Rita Damasceno; GONÇALVES; Jardel Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108112>

CAPÍTULO 3.....17

OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE MOAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA APLICAÇÃO COMO MATERIAIS CIMENTÍCIOS SUPLEMENTARES


COSTA; Ana Rita Damasceno; GONÇALVES; Jardel Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108113>

CAPÍTULO 4.....26

EFEITO DA SÍLICA ATIVA NA MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO ATRAVÉS DO MÉTODO ACELERADO EM BARRAS DE ARGAMASSAS


CRUZ DA SILVA ARAUJO; Juliene; PEREIRA BONFIM; Francirene; PEREIRA GOUVEIA; Fernanda






 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108114>


CAPÍTULO 5.....33

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA MOAGEM DO RESÍDUO DE FCC NA HIDRATAÇÃO INICIAL DO CIMENTO POR CALORIMETRIA ISOTÉRMICA

OLIVEIRA; Josinorma Silva de; ANDRADE; Heloysa Martins Carvalho, GONÇALVES; Jardel Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108115>


CAPÍTULO 6.....	42
MÉTODO DE RIETVELD PARA QUANTIFICAÇÃO DE FASES EM RESÍDUOS PARA USO COMO MATERIAIS CIMENTÍCIOS SUPLEMENTARES (MCS)	
MATOS; Samile Raiza Carvalho; COSTA; Ana Rita Damasceno; OLIVEIRA; Josinorma Silva de; MACIEL; Kuelson Rândello Dantas; GONÇALVES; Jardel Pereira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108116	
CAPÍTULO 7.....	51
AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE MISTURAS SOLO-RESÍDUO VISANDO A UTILIZAÇÃO COMO BARREIRAS IMPERMEÁVEIS EM ATERROS SANITÁRIOS	
BRESSAN JUNIOR; José C.; ZAMPIERI; Lucas Q.; NIENOV, Fabiano A.; LUVIZÃO, Gislaïne	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108117	
CAPÍTULO 8.....	58
NEUTRALIZAÇÃO DO FOSFOGESSO COM CAL E A SUA INFLUÊNCIA NA HIDRATAÇÃO E NO DESEMPENHO MECÂNICO DE MATRIZES CIMENTÍCIAS	
ANDRADE NETO; José S.; BERSCH; Jéssica D.; SILVA, Thaís S. M.; RODRÍGUEZ, Erich D.; SUZUKI, Seiiti; KIRCHHEIM; Ana Paula	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108118	
CAPÍTULO 9.....	66
INFLUÊNCIA DO RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA EM ARGAMASSAS NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO OU DO CIMENTO	
TORRES; Ariela da Silva; PINZ; Francielli Priebbernow; PALIGA; Charlei Marcelo	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108119	
CAPÍTULO 10.....	73
DESEMPENHO TÉRMICO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DA MINERAÇÃO E SIDERURGIA	
BARRETO; Rodrigo Rony; MENDES; Vitor Freitas; FARDIN; Wellington; SANTANA; Vanessa Pereira; MENDES; Julia Castro	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081110	
CAPÍTULO 11.....	81
CARBONATAÇÃO NATURAL EM CONCRETO COM RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM SUBSTITUIÇÃO AO AGLOMERANTE	
COSTA; Vitória Silveira da; TEIXEIRA; Fernando Ritiéle; PALIGA; Charlei Marcelo; TORRES; Ariela da Silva	

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081111>

CAPÍTULO 12.....88

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO ARGILITO NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE MATRIZES CIMENTÍCIAS


SILVA; Thaís; BERSCH; Jéssica; ANDRADE NETO; José; MASUERO; Angela; DAL MOLIN; Denise

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081112>

CAPÍTULO 13.....95

EFEITO DA ADIÇÃO DE CINZA DE OLARIA NO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO ARGILOSO DA REGIÃO DE GUARAPUAVA-PR


KADLOBICKI; Lucas; TRENTO; Vanderlei; PAULINO; Rafaella Salvador; DA SILVA; Sauana Centenaro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081113>

CAPÍTULO 14.....103

ANÁLISE CRÍTICA DOS MÉTODOS DE SEPARAÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) BASEADA EM CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DE CONCRETOS RECICLADOS


FERREIRA; Guilherme de Andrades; NEUMANN; Isadora Sampaio; SANTOS; Iago Lopes; DAL MOLIN; Denise Carpena Coitinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081114>

CAPÍTULO 15.....111

CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR DE ELEVADA REATIVIDADE PRODUZIDA VIA FRACIONAMENTO DENSIMÉTRICO E MOAGEM ULTRAFINA

LINHARES, Beatriz Dias Fernandes; LEMOS, Mônica Nunes; CORDEIRO, Guilherme Chagas







 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081115>







CAPÍTULO 16.....119

GEOPOLÍMERO A BASE DE METACAULIM: MEDIDAS DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

COSTA, Rayara Pinto; PY, Lucas Goldenberg; SACARDO, Lucas Eduardo Perin; LONGHI, Marlon Augusto; KIRCHHEIM, Ana Paula

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081116>

CAPÍTULO 17	127
AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DE POLIPROPILENO TRITURADO	
GARCIA; Adson de Sousa; SILVA; Barbara Cristina Soares; JÚNIOR; Paulo Sergio Barreiros de Leão; SOUZA; Grazielle Tigre de	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081117	
CAPÍTULO 18	134
ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS UTILIZANDO RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE (DREGS E GRITS)	
ALVARENGA; Bruno Medeiros de; FALCÃO; Juliane Rodrigues; TESSARO; Alessandra Buss; MATTOS; Flávia Costa de	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081118	
CAPÍTULO 19	142
CARBONATAÇÃO DE ARGAMASSAS MISTAS PRODUZIDAS COM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO	
HERMENEGILDO, Gabriela C.; CARNEIRO, Gisele O. P.; NOGUEIRA, Júlia A. W.; BEZERRA, Augusto C., BESSA, Sofia A. L.	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081119	
CAPÍTULO 20	150
EFEITO DE UMA RESINA POLIMÉRICA NA ABSORÇÃO DE PEDRAS ARTIFICIAIS DE CALCÁRIO LAMINADO	
BEZERRA; Ana Karoliny Lemos; SILVA; Leonária Araújo; ARAÚJO; Lucas Benício Rodrigues; CABRAL; Antonio Eduardo Bezerra	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081120	
CAPÍTULO 21	158
CARACTERIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ (CCA) GERADA EM LEITO FLUIDIZADO	
PAGLIARIN; Karine; JORDANI; Bárbara; KOPPE; Angélica	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081121	
CAPÍTULO 22	166
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE SUBPRODUTOS NA DISPERSÃO DE PARTÍCULAS DE CIMENTO	
MARTINS; Julia; ROCHA; Janaíde	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081122	


CAPÍTULO 23	173
COMPÓSITO CIMENTÍCIO COM GRÃOS DE POLIPROPILENO: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E À FLEXÃO	
COELHO, Rivaldo Teodoro; DUCATTI, Vitor Antonio; SALADO, Gerusa de Cássia	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081123	
CAPÍTULO 24	180
COMPORTAMENTO DE CONCRETOS COM BAIXO TEOR DE CASCA DE ARROZ COMO BIOAGREGADO	
AMANTINO, Guilherme; TIECHER, Francieli; HASPARYK, Nicole; TOLEDO, Romildo	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081124	
CAPÍTULO 25	187
ANÁLISE DA DURABILIDADE DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO POR RESÍDUO DE MARMORARIA EM DIFERENTES FATORES ÁGUA CIMENTO	
ALMADA, Bruna S.; SANTOS, White J.	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081125	
CAPÍTULO 26	195
ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO POR RESÍDUO DE MARMORARIA COM FIXAÇÃO DA TRABALHABILIDADE PELO USO DE ADITIVOS PLASTIFICANTE	
ALMADA, Bruna S.; SANTOS, White J.	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081126	
CAPÍTULO 27	202
ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA NA PAVIMENTAÇÃO	
SANTOS, Marianny Viana dos; SOUZA, Wana Maria de; RIBEIRO, Antonio Junior Alves	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081127	
CAPÍTULO 28	208
RESÍDUO DE CONCRETO COMO SUBSTITUTO AO CIMENTO: AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DAS EMISSÕES	
OLIVEIRA, Dayana Ruth Bola; LEITE, Gabriela; POSSAN, Edna; MARQUES FILHO, José	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081128	

ÁREA 2 - DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS COM RESÍDUOS

CAPÍTULO 29.....216

USO DO RESÍDUO DA NEFELINA EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO


ROSA; Laura Pereira; HALTIERY; Diego Santos; PEREIRA; Fabiano Raupp; ANDRADE; Lucimara Aparecida Schambeck

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081129>

CAPÍTULO 30.....224

INFLUÊNCIA DA MAGNETITA E DA BARITA EM MATRIZES CIMENTÍCIAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA


MAZZARO; Filipe S.; ALVES; Jordane G.S.; ALMEIDA; Fernando C.R.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081130>

CAPÍTULO 31.....232

UTILIZAÇÃO DE CINZA PESADA DE BIOMASSA DE PINUS TAEDA COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND NO CONCRETO CONVENCIONAL

BARCAROLI; Bruno Crimarosti; SALAMONI; Natália; ROHDEN; Abrahão Bernardo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081131>

CAPÍTULO 32.....240

ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DO USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS PARA PAVIMENTOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO


REUPS; José Eduardo Angeli; NIEMCZEWSKI; Juliana Alves Lima Senisse

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081132>

CAPÍTULO 33.....248

AVALIAÇÃO DO USO DO PÓ DE RETIFICA PARA APLICAÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO


AVERNA; Larissa Bertho; MATTEDI; Carolina Vieira; DE ABREU; Victor Barreto; CONTINI; Paulo Victo Matiello; MARIANI; Bruna Bueno

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081133>

CAPÍTULO 34.....256

CRIAÇÃO DE REVESTIMENTOS BIOINSPIRADOS A PARTIR DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO


MENEGUEL, Carolina Frota; DAPPER, Silvia Trein Heimfarth

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081134>

CAPÍTULO 35.....264

CONSTRUÇÃO DE QUIOSQUES COM TUBOS DE PAPELÃO EM EVENTOS TEMPORÁRIOS


DIAS; Nathalia Schimidt; SALADO; Gerusa de Cássia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081135>

CAPÍTULO 36.....272

REUTILIZAÇÃO DE AREIA DE FUNDIÇÃO EM ARGAMASSAS


MARAN, Ana PauLa; MENNA BARRETO, Maria Fernanda; MASUERO, Angela Borges;
DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081136>

CAPÍTULO 37.....281

CINZAS DE BIOMASSA GERADAS NA AGROINDÚSTRIA DE MALTE: CARACTERIZAÇÃO E USO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS


DA SILVA; Sauana Centenaro; DA SILVA; João Adriano Godoy; PAULINO; Rafaella Salvador

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081137>

CAPÍTULO 38.....289

UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS DE RCD EM SUBSTITUIÇÃO TOTAL AOS NATURAIS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETOS ADENSADOS DE FORMA MANUAL E MECÂNICA


SARTORE; Igor Carlesso; PAULINO; Rafaella Salvador; TORALLES; Berenice Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081138>

CAPÍTULO 39.....297

INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR PÓ DE PEDRA EM TUBOS DE CONCRETO


COLONETTI; Luís Gustavo Vieira; PIROLLA; Douglas Leffa; PIVA; Jorge Henrique;
MACCARINI; Helena Somer; WANDERLIND; Augusto; ANTUNES; Elaine Guglielmi Pavei

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081139>

CAPÍTULO 40.....305

PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO E AGREGADO POR CINZAS DE CARVÃO VAPOR


PADILHA; Lilian; PIROLLA; Douglas Leffa; PIVA; Jorge Henrique; SAVI; Aline Eyng;
WANDERLIND; Augusto; ANTUNES; Elaine Guglielmi Pavei

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081140>

CAPÍTULO 41..... 312

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NA RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO AXIAL DE ARGAMASSAS MISTAS


SCHILLER; Ana Paula Sturbelle; PALIGA; Charlei Marcelo; TORRES; Ariela da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081141>

CAPÍTULO 42..... 319

PAINÉIS AGLOMERADOS HOMOGÊNEOS DE MADEIRA PRODUZIDOS COM PINUS, PALHA DE MILHO, POLIETILENO TEREFTALATO E POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA


SOUZA; Matheus; CAZELLA; Pedro H. S.; RODRIGUES; Felipe R.; PEROSSO; Marjorie B. S.; SILVA; Sérgio A. M.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081142>

CAPÍTULO 43..... 327

ESTUDO DO EMPREGO DE AGREGADOS CERÂMICOS EM CONCRETO PERMEÁVEL


STRIEDER; Helena L.; DUTRA; Vanessa F. P.; GRAEFF; Ângela G.; MERTEN; Felipe R. M.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081143>

CAPÍTULO 44..... 335

PRODUÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS EM ESCALA INDUSTRIAL COM A INCORPORAÇÃO DE AREIA DE FUNDIÇÃO


GHISLENI; Geisiele; LIMA; Geannina Terezinha dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081144>

CAPÍTULO 45..... 343

APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DA REGIÃO AMAZÔNICA EM ÁLCALI-ATIVADOS VISANDO O SEU USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

RIBEIRO; Rafaela Cristina Alves; CAMPOS; Patrick Cordeiro; BRITO; Woshington da Silva; PICANÇO; Marcelo Souza; GOMES-PIMENTEL; Maurílio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081145>

CAPÍTULO 46..... 350

ESTUDO EXPERIMENTAL DE ARGAMASSAS COM RESÍDUO DE CINZA VOLANTE DE

MINÉRIO DE CARVÃO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO

BICA; Bruno O.; PADILHA; Francine; ROCHA; Janaíde; GLEIZE; Philippe

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081146>

CAPÍTULO 47.....358

ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO QUARTZOSO POR AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM DE ROCHA BASÁLTICA EM CONCRETO

WALKER; Wesley Ramon; MEINHART; Alice Helena; ARNOLD; Daiana Cristina Metz; DIAS; Letícia Andriolli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081147>

CAPÍTULO 48.....365

AVALIAÇÃO DO RESÍDUO DE ARENITO COMO AGREGADO MIÚDO EM MATRIZ DE ARGAMASSA


MARIO, Mauro; GIORDANI, Caroline; MASUERO, Angela Borges; DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081148>

CAPÍTULO 49.....373

O RESÍDUO DE NIÓBIO E SUAS POTENCIAIS APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO DA LITERATURA


ALVES; Jordane G.S.; MAZZARO; Filipe S.; ALMEIDA; Fernando C.R.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081161>

CAPÍTULO 50.....380

PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS PRODUZIDOS PARA NÚCLEO DE PAINEL SANDUÍCHE

PEREIRA; Alexandre Rosim; ROSSIGNOLO; João Adriano


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081150>

ÁREA 3 - GESTÃO DE RESÍDUOS

CAPÍTULO 51.....388

IMPACTOS DA IMPLANTAÇÃO DA GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM CAMPO GRANDE – MS


PUPIN; Nayara Severo; MAIA; Johnny Hebert de Oliveira; MILANI; Ana Paula da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081151>

CAPÍTULO 52.....395

O CICLO DA GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA UFRGS


ANTUNES; Giselle Reis; RODRIGUES; Eveline Araujo; SIMONETTI; Camila

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081152>

CAPÍTULO 53.....403

ANÁLISE SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA CIDADE DE PORTO ALEGRE/RS


ROCHA, Paulyne Vaz; SOUZA; Ana Lilian Brock de; PETRY, Natália dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081153>

CAPÍTULO 54.....412

ANÁLISE DO PLANO DE GESTÃO MUNICIPAL INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE RIO BRANCO – AC, SOB A ÓTICA DE GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

VIANA; Tiago H. da Costa; MONTEIRO; Késsio Raylen; SEGOBIA; Pedro Bomfim


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081154>

ÁREA 4 - ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

CAPÍTULO 55.....420

VALORIZAÇÃO DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND EM FIBROCIMENTOS


BASSAN DE MORAES; Maria Júlia; SOARES TEIXEIRA; Ronaldo; PROENÇA DE ANDRADE; Maximiliano; MITSUUCHI TASHIMA; Mauro; ROSSIGNOLO; João Adriano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081155>

CAPÍTULO 56.....428

PROJETO SARGOOD: VALORIZAÇÃO DO SARGASSUM NA CONSTRUÇÃO CIVIL


ROSSIGNOLO, João Adriano; BUENO, Cristiane; DURAN, Afonso Jose Felicio Peres; LYRA, Gabriela Pitolli; ASSUNÇÃO, Camila Cassola; GAVIOLI, Leticia Missiato; MORAES, Maria Julia Bassan; NASCIMENTO, João Lucas Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081156>

CAPÍTULO 57.....436

VALORIZAÇÃO DO CAULIM FLINT COMO MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR (MCS)

MEDEIROS; Matheus Henrique Gomes de; MATOS; Samile Raiza Carvalho; DESSUY; Thainá Yasmin; MASUERO; Angela Borges; DAL MOLIN; Denise Carpena Coitinho


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081157>

ÁREA 5 - AVALIAÇÃO AMBIENTAL E DO CICLO DE VIDA

CAPÍTULO 58.....443

AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ DE PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL: COMPARAÇÃO ENTRE O USO DE AGREGADOS DE RCD E NATURAIS


CASARIN; Roberta P.; ARAGÃO; Lucas C.; ZAPPE; Anna Paula S. ; THOMAS; Mauricio; PASSUELO; Ana Carolina B.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081158>

CAPÍTULO 59.....451

O IMPACTO AMBIENTAL DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOB A VISÃO DO CICLO DE VIDA


KONZEN; Bárbara Anne Dalla Vechia; PEREIRA; Andréa Franco

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081159>

CAPÍTULO 60.....462

PEGADA DE CARBONO DE CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS PRODUZIDOS COM FINOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL


FERREIRA; Luiza de Souza; DESSUY; Thainá Yasmin; GLITZEHNIRN; Claudia; PASSUELLO; Ana; MASUERO; Angela Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081149>

CAPÍTULO 61.....468

AVALIAÇÃO DOS PARAMETROS SUSTENTÁVEIS PARA PAVERS CONFECCIONADOS COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS

ALTOÉ; Silvia Paula Sossai; GOÉS; Isadora; ROTTA; José Venancio Pinheiro; BORIN; Mateus Roberto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081160>



NEUTRALIZAÇÃO DO FOSFOGESSO COM CAL E A SUA INFLUÊNCIA NA HIDRATAÇÃO E NO DESEMPENHO MECÂNICO DE MATRIZES CIMENTÍCIAS

<https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108118>

ANDRADE NETO; JOSÉ S.¹; BERSCH; JÉSSICA D.¹; SILVA, THAÍS S. M.¹; RODRÍGUEZ, ERICH D.²; SUZUKI, SEIITI³; KIRCHHEIM; ANA PAULA¹

¹UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS);

²UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM); ³INTERCEMENT.

E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: JOSEDASILVAANDRADENETO@GMAIL.COM

RESUMO: O fosfogesso possui potencial para ser utilizado como controlador de pega do cimento Portland, porém os P_2O_5 e F em sua composição retardam a hidratação e reduzem o desempenho mecânico da matriz nas primeiras idades. O objetivo deste estudo foi avaliar um processo simples de neutralização (retirada das impurezas) do fosfogesso a partir da mistura com cal hidratada. Foram confeccionados cimentos com gipsita, fosfogesso e fosfogesso neutralizado. Foram feitos ensaios de ICP-OES, calorimetria isotérmica e resistência à compressão. Observou-se que a neutralização com cal reduziu a concentração de impurezas, diminuindo o retardo na hidratação e elevando as resistências mecânicas iniciais.

PALAVRAS-CHAVES: Fosfogesso, Neutralização, Cimento Portland, Hidratação.

ABSTRACT: Phosphogypsum has the potential to be used as setting retarder for Portland cement, however P_2O_5 and F in its composition delay cement hydration and reduce the mechanical performance of the matrix in the early ages. The objective of this study was to evaluate a simple process of neutralization (removal of impurities) of phosphogypsum through the mixture with hydrated lime. Cements were made with gypsum, phosphogypsum, and neutralized phosphogypsum. ICP-OES, isothermal calorimetry, and compressive strength tests were performed. It was observed that neutralization with lime reduced the concentration of impurities, reducing the delay in hydration and increasing the initial mechanical strengths.

KEYWORDS: Phosphogypsum, Neutralization, Portland cement, Hydration.

1 | INTRODUÇÃO

O fosfogesso, resíduo da produção de ácido fosfórico, é um subproduto da indústria de fertilizantes. A produção de cada tonelada de ácido fosfórico resulta em 4 a 6 toneladas de fosfogesso (RASHAD, 2017). A geração mundial desse subproduto é de 280 milhões de toneladas por ano (CUADRI *et al.*, 2014), sendo gerados cerca de 5,6 milhões de toneladas no Brasil anualmente (HOLANDA *et al.*, 2017). Destes, 85% não é reutilizado, sendo usualmente depositados em grandes aterros. Os 15% restantes são reciclados sendo utilizados para tratamentos de estabilização de solo, como fertilizantes e para materiais de construção (TAYIBI *et al.*, 2009). Este material é constituído principalmente de sulfato de cálcio di-hidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), possuindo,

assim, um grande potencial para ser utilizado como controlador de pega do cimento Portland, em substituição à gipsita (HOLANDA *et al.*, 2017). A utilização de fosfogesso na indústria de cimento resultaria em benefícios econômicos e ambientais (TAHER, 2007). Contudo, devido ao seu processo de fabricação, apresenta impurezas como fosfato (P_2O_5) e fluoreto (F⁻) solúveis, assim como P_2O_5 na estrutura cristalina da gipsita. Com isso, têm-se reduções na resistência à compressão nas idades iniciais (HOLANDA *et al.*, 2017; RASHAD, 2017). Estes efeitos acabam por restringir a utilização de fosfogesso na indústria de cimento. Assim, a realização de processos de purificação/neutralização (retirada das impurezas) é necessária para favorecer a sua utilização no cimento Portland. A extração das impurezas do fosfogesso pode ser realizada por processos químicos, físicos ou térmicos ou uma combinação destes (SINGH, 2002).

Uma alternativa para neutralizar o fosfogesso é misturar o material com cal hidratada sólida (em pó). Esta opção, por não necessitar de água, calcinação ou materiais onerosos, é promissora em termos econômicos e de facilidade de ser implementada pela indústria. A mistura e moagem do fosfogesso com cal hidratada reduz os efeitos negativos das impurezas na hidratação do cimento Portland (POTGIETER e HOWELL-POTGIETER, 2001; POTGIETER *et al.*, 2003) e do cimento supersulfatado (LIU *et al.*, 2019). Contudo, ainda existem lacunas quanto ao uso e eficácia deste procedimento para reduzir o retardo ocasionado pelo fosfogesso e os seus efeitos nas propriedades da matriz de cimento Portland. Ainda não se conhece os efeitos do fosfogesso tratado com cal nas etapas de hidratação de cimento. Ademais, poucos estudos (POTGIETER e HOWELL-POTGIETER, 2001; POTGIETER *et al.*, 2003) investigaram as propriedades mecânicas de matrizes cimentícias com fosfogesso neutralizado com cal, sendo necessários mais estudos com outros fosfogessos para validar os resultados.

O presente trabalho, portanto, visa avaliar a neutralização do fosfogesso com a cal, representando uma alternativa mais simples e econômica para a indústria cimenteira, quando comparado aos processos de purificação relatados na literatura. Objetiva-se identificar a influência dessa neutralização na hidratação e no comportamento mecânico de matrizes cimentícias. Os resultados obtidos com o cimento com fosfogesso neutralizado como fonte de sulfato, foram comparados com os cimentos com gipsita e com fosfogesso sem neutralização.

2 | MATERIAIS

Neste estudo foram avaliadas três fontes de sulfato de cálcio: gipsita natural (Gip), fosfogesso (Fosf) e fosfogesso neutralizado (Neut). Para a neutralização do fosfogesso, 12 toneladas do material foram espalhadas em um piso industrial e então 600 kg de cal hidratada (5%, em relação à massa de fosfogesso) foram colocados sobre este material. Em seguida, os materiais foram misturados com o auxílio de uma pá carregadeira.

Em um processo industrial, as diferentes fontes de sulfato (7%) foram misturadas com clínquer (73%), escória de alto forno (15%) e filer calcário (5%), formando, assim, três cimentos Portland compostos. A composição mineralógica dos cimentos foi determinada por difratometria de raios-X (DRX), em um difratômetro D8 Advance da Bruker, com radiação Cu K, filtro de Ni. Foi utilizado um passo de $0,020^\circ$ em um intervalo 2θ entre 5° e 70° , com uma velocidade de $0,72^\circ/\text{min}$. Como observado na Tabela 1, os cimentos apresentam composição mineralógica semelhante.

Fase	ICSD code	CP - Gip	CP - Fosf	CP - Neut
Alita	94742	45,57	45,90	46,53
Belita	79550	9,18	10,06	10,70
C ₃ A cúbico	1841	4,75	4,28	4,25
C ₃ A ortorrômbico	1880	2,22	1,89	1,86
C ₄ AF	9197	4,42	4,64	4,35
Cal livre	75785	0,31	0,23	0,24
Periclásio	104844	0,86	1,03	1,12
Gipsita	151692	5,39	5,79	5,80
Hemidrato	380286	2,18	2,65	2,64
Calcita	79673	7,34	7,25	7,49
Amorfo	-	17,76	16,44	16,02
Goodness of Fit (GOF)		1,78	2,06	2,05

Tabela 1 – Percentual de fases presentes nos cimentos, determinado por DRX/Rietveld.

A Tabela 2 apresenta as áreas superficiais dos cimentos, obtidas pelo método de Blaine, e o $D_{V,90}$, $D_{V,50}$ e $D_{V,10}$, determinados por granulometria a laser. É possível observar que os cimentos apresentam áreas superficiais e diâmetros de partículas similares.

Propriedade	CP - Gip	CP - Fosf	CP - Neut
Área superficial - Blaine [cm ² /g]	4790	4740	4580
D ₉₀ [μm]	31,19	33,19	34,28
D ₅₀ [μm]	11,46	11,90	15,76
D ₁₀ [μm]	1,80	1,87	2,89

Tabela 2 – Resultados da caracterização física dos cimentos.

3 | MÉTODOS

As quantidades de fósforo e flúor totais, impurezas responsáveis por retardar a hidratação do cimento, presentes na gipsita, no fosfogesso e no fosfogesso neutralizado, foram determinadas por fluorescência de raios-X (equipamento da Panalytical, modelo Axios). De forma complementar, foi realizada a técnica de ICP-OES para determinar as quantidades de fósforo total e solúvel. Para isso, foi utilizado o equipamento Icap 6000 da Thermo, com comprimento de onda de 213,618 nm, potência de 1300W e vazão do gás auxiliar e de nebulização (argônio) de 0,5 L/min. Para esta análise, foi adotada a metodologia proposta por Holanda et al. (2017), sendo o fósforo total determinado após a dissolução das amostras em ácido nítrico e o fósforo solúvel, após dissolução em água.

Em seguida, foi realizado o ensaio de calorimetria isotérmica. Para isso, foi

utilizado um microcalorímetro da marca TA Instruments, modelo TAM AIR, com oito canais. Neste ensaio, as pastas (≈ 7 g) foram acondicionadas em ampolas de vidro e o fluxo de calor foi monitorado durante as primeiras 72 horas. Foi utilizada uma temperatura de estabilização de 25 °C. Além disso, os tempos de início e fim de pega das pastas de cimento foram determinados pelo método da agulha de Vicat, de acordo com as diretrizes da NBR 16607 (ABNT, 2018). Por fim, foi avaliada a resistência à compressão com 14 horas, 1, 2, 7 e 28 dias de concretos confeccionados com os diferentes cimentos estudados. Na dosagem dos concretos, foi adotado um consumo de cimento igual 330 kg/m³, de forma a se obter concretos de moderada resistência. Além disso, foi fixado um abatimento igual a 120 mm no ensaio de *slump-test*, sendo a quantidade de água definida a partir deste parâmetro. A Tabela 3 apresenta o consumo de materiais por metro cúbico de concreto. Os resultados de resistência à compressão foram avaliados por meio da análise ANOVA de fator único ($\alpha=0,05$). Em seguida, assumindo que os dados de cada série têm distribuição normal, foi realizada uma análise de comparação de médias com o teste de Tukey.

Cimento	Areia Fina	Areia Artificial	Brita 19,0 mm	Água	Relação a/c
330	409	339	1082	193	0,59

Tabela 3 – Consumo de materiais, em quilograma por metro cúbico de concreto.

4 | RESULTADOS

4.1 Concentração de impurezas

A Tabela 4 apresenta as quantidades de flúor e fósforo totais, determinadas por FRX, e as quantidades de fósforo total e solúvel em água, determinados por ICP-OES. Como esperado, o fosfogesso apresentou quantidades de flúor e fósforo maiores do que a gipsita. A presença destas impurezas é a responsável pelo retardo na hidratação do cimento (HOLANDA *et al.*, 2017; RASHAD, 2017). Desta maneira, uma forma de avaliar a efetividade da neutralização é por meio da análise da quantidade de flúor e fósforo.

Em relação ao flúor, observa-se uma redução de 25,00% com o processo de neutralização com a cal. A mesma tendência foi observada para o fósforo total, em que a neutralização resultou na redução de 22,06% (determinado por FRX) e de 15,12% (determinado por ICP-OES). Já a quantidade de fósforo solúvel em água reduziu em 80,26% com a mistura do fosfogesso com a cal hidratada, indicando uma grande eficiência do processo neste quesito. Isso possivelmente ocorreu devido a reações entre o hidróxido de cálcio, presente na cal hidratada, e os fosfatos solúveis, resultando em fosfatos de cálcio, insolúveis em água, que não provocam retardo significativo na hidratação do cimento (SHEN *et al.*, 2012; HOLANDA *et al.*, 2017). Assim, nota-se que o processo foi efetivo em reduzir a quantidade de fósforo solúvel em água, porém não apresentou a mesma eficiência para reduzir a quantidade de fósforo e flúor totais, que também são responsáveis por retardar a hidratação do cimento.

Impureza	Gipsita	Fosfogesso	Fosfogesso neutralizado
Flúor total (%F) - FRX	0,00	0,16	0,12
Fósforo total (%P ₂ O ₅) - FRX	0,10	1,36	1,06
Fósforo total (%P ₂ O ₅) – ICP-OES	0,07	1,72	1,46
Fósforo solúvel (%P ₂ O ₅) – ICP-OES	0,00	0,01	0,00
Fósforo solúvel (ppm) – ICP-OES	6.0	39.0	7.7

Tabela 4 – Concentração de fósforo e flúor dos diferentes materiais.

4.2 Hidratação

A Figura 1(A) apresenta as curvas de taxa de liberação de calor e de calor total liberado pelas pastas durante as primeiras 48 horas de hidratação. Observa-se que o cimento com gipsita apresentou uma maior taxa de hidratação em comparação aos cimentos com fosfogesso. Essas diferenças provavelmente se devem à presença de impurezas F⁻ e P₂O₅, solúveis ou presentes na estrutura cristalina do CaSO₄·2H₂O (HOLANDA *et al.*, 2017). Durante a hidratação do cimento com fosfogesso, os íons fosfatos e flúor solúveis reagem com os íons cálcio, precipitando Ca₃(PO₄)₂ e CaF₂ na superfície dos grãos de cimento. Isso resulta na formação de uma camada que, segundo alguns autores (SINGH, 2002; SHEN *et al.*, 2012; HOLANDA *et al.*, 2017), reduz o fluxo de água e de íons, atrasando a dissolução e hidratação do cimento. Porém, a impermeabilidade dessa camada ainda não foi comprovada. O retardo na hidratação pode ser, também, pelo próprio processo de formação dos fosfatos e fluoretos de cálcio, que consomem íons cálcio da solução, atrasando a saturação destes que é necessária para o fim do período de indução e início da precipitação de Ca(OH)₂ (SCRIVENER *et al.*, 2015). Ademais, segundo Bénard *et al.* (2008), o retardo se deve à adsorção dos íons fosfatos e flúor nos pontos preferenciais de dissolução na superfície dos grãos de cimento, atrasando a sua dissolução.

Nota-se que o fosfogesso neutralizado apresentou um comportamento intermediário, o que era esperado, pois o processo de neutralização reduziu em 80,26% a quantidade de fósforo solúvel e em 22,06% e 25,00% as quantidades de fósforo e flúor totais, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 3. Além disso, a dissolução da cal no fosfogesso neutralizado libera uma maior quantidade de íons cálcio para a solução, acelerando a saturação de íons cálcio – que é atrasada nas misturas com fosfogesso pela formação de Ca₃(PO₄)₂ e CaF₂. Com isso, o retardo provocado pelas impurezas foi reduzido, o que resulta em uma maior taxa de hidratação quando comparado com o fosfogesso sem neutralização. A Figura 1(B) apresenta os tempos de início e fim de pega dos cimentos, obtidos pelo método da agulha de Vicat. Os resultados estão de acordo com a calorimetria: o cimento com gipsita apresenta os menores tempos de início e fim de pega, e o cimento com fosfogesso, os maiores. O cimento com fosfogesso neutralizado apresentou um comportamento intermediário, indicando que o processo de neutralização reduziu o retardo provocado pelo fosfogesso.

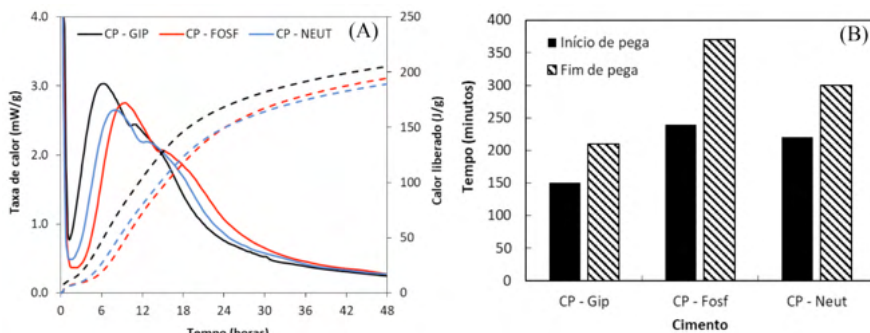


Figura 1 – (A) Taxa de liberação de calor (linhas sólidas) e calor total liberado (linhas tracejadas) e (B) tempos de início e fim de pega das pastas de cimento avaliadas

4.3 Resistência à compressão

Na Figura 2 estão apresentados os resultados de resistência à compressão dos concretos produzidos com os diferentes tipos de sulfato de cálcio. A partir da análise ANOVA e do teste Tukey, observou-se que todos os cimentos apresentavam diferenças significativas entre as suas resistências com 14 horas e com 1 dia. Os concretos com fosfogesso apresentaram resistências 48,0% e 35,9% inferiores à obtida com a gipsita, com 14 horas e 1 dia, respectivamente. A neutralização do fosfogesso resultou em aumentos de 30,3% e 21,1% na resistência à compressão com 14 horas e com 1 dia, em comparação aos concretos com fosfogesso sem tratamento. Contudo, ainda apresentou resistências 25,5% e 18,8% menores do que a do concreto com gipsita com 14 horas e com 1 dia. Em idades mais avançadas (a partir de 2 dias), as diferenças entre as resistências dos concretos avaliados diminuem ($< 10\%$), e não são estatisticamente significativas de acordo com a análise ANOVA.

A menor resistência à compressão nos concretos com fosfogesso nas idades iniciais também foi observada nos estudos de Singh e Garg (2002) e Potgieter *et al.* (2003). Esse comportamento deve-se ao retardo na hidratação gerado pelas impurezas, o que atrasa a formação de C-S-H e, por conseguinte, o ganho de resistência mecânica. Além disso, como também observado por Potgieter e Howell-Potgieter (2001) e Potgieter *et al.* (2003), o processo de neutralização com cal hidratada foi efetivo, reduzindo o retardo no desenvolvimento mecânico nas primeiras idades, o que corrobora com o resultado de calorimetria.

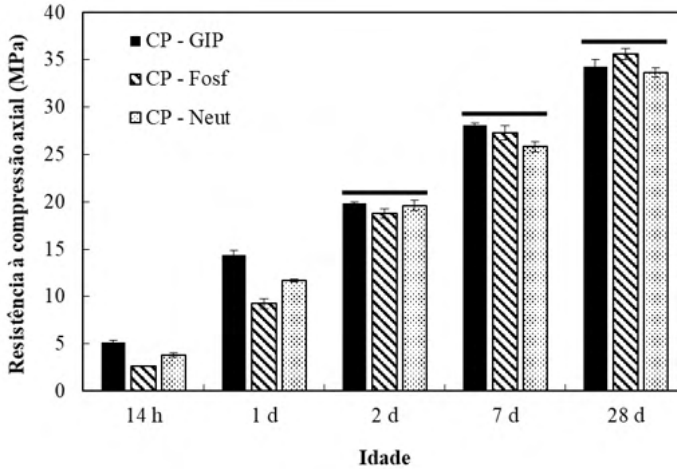


Figura 2 – Resistência à compressão de concretos com 14 horas e 1, 2, 7 e 28 dias

5 | CONCLUSÕES

A partir dos resultados de calorimetria e resistência mecânica, observou-se que a substituição de gipsita por fosfogesso resultou em um retardo na hidratação provavelmente devido às impurezas (F^- e P_2O_5) contidas neste, resultando em menores resistências à compressão nos primeiros dias. A neutralização do fosfogesso com a cal hidratada reduziu a concentração destas impurezas (principalmente o fosfato solúvel em água), reduzindo os efeitos de retardo e elevando a resistência à compressão inicial. Porém, o cimento com fosfogesso neutralizado ainda apresentou um retardo em relação ao cimento com gipsita.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607**: Cimento Portland: Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Portland cement: Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.
- BÉNARD, P.; GARRAULT, S.; NONAT, A.; CAU-DIT-COUMES, C. Influence of orthophosphate ions on the dissolution of tricalcium silicate. **Cement and Concrete Research**. v. 38, n. 10, p. 1137–1141, out. 2008.
- CUADRI, A.A.; NAVARRO, F.J.; GARCÍA-MORALES, M.; BOLÍVAR, J.P. Valorization of phosphogypsum waste as asphaltic bitumen modifier. **Journal of Hazardous Materials**. v. 279, p. 11–16, ago. 2014.
- HOLANDA, F. C.; SCHMIDT, H.; QUARCIONI, V. A. Influence of phosphorus from phosphogypsum on the initial hydration of Portland cement in the presence of superplasticizers. **Cement and Concrete Composites**, v. 83, p. 384–393, oct. 2017.
- LIU, S.; WANG, L.; YU, B. Effect of modified phosphogypsum on the hydration properties of the phosphogypsum-based supersulfated cement. **Construction and Building Materials**, v. 214, p. 9-16, jul. 2019.

7. POTGIETER, J.H.; HOWELL-POTGIETER, S.S. A plant investigation into the use of treated phosphogypsum as a set-retarder in OPC and an OPC/FLY ash blend. **Minerals Engineering**. v. 14, n. 1, p. 791–795, jul. 2001.
8. POTGIETER, J.H.; POTGIETER, S.S.; MCCRINDLE, R.I.; STRYDOM, C.A. An investigation into the effect of various chemical and physical treatments of a South African phosphogypsum to render it suitable as a set retarder for cement. **Cement and Concrete Research**. v. 33, n. 8, p. 1223–1227, ago. 2003.
9. RASHAD, A.M. Phosphogypsum as a construction material. **Journal of Cleaner Production**, v. 166, p. 732–743, nov. 2017.
10. SCRIVENER, K.; JUILLAND, P.; MONTEIRO, P. J. M. Advances in understanding hydration of Portland cement. **Cement and Concrete Research**, v. 78, p. 38-56, 2015.
11. SHEN, W.; GAN, G.; DONG, R.; CHEN, H.; TAN, Y.; ZHOU, M. Utilization of solidified phosphogypsum as Portland cement retarder. **Journal of Material Cycles and Waste Management**. v. 14, p. 228–233, jun. 2012.
12. SINGH, M. Treating waste phosphogypsum for cement and plaster manufacture. **Cement and Concrete Research**. v. 32, n. 7, p. 1033–1038, jul. 2002.
13. SINGH, M.; GARG, M. Production of beneficiated phosphogypsum for cement manufacture. **Journal of Scientific and Industrial Research**. v. 61, p. 533–537, jul. 2002.
14. TAYIBI, H.; CHOURA, M.; LÓPEZ, F. A.; ALGUACIL, F. J.; LÓPEZ-DELGADO, A. Environmental impact and management of phosphogypsum. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 8, p. 2377–2386, jun. 2009.



Contatos

Endereço:

Av. Osvaldo Aranha, 99 - Prédio Castelinho, CEP:
90035-190. Porto Alegre-RS.

Telefone:

(51) 3308-3518

E-mail da comissão organizadora:

enarc2021@gmail.com

E-mail do comitê científico:

enarc.ccientifico2021@gmail.com

Site:

<https://www.ufrgs.br/enarc2021>

Instagram:

<https://www.instagram.com/enarc2021/>

Facebook:

<https://www.facebook.com/enarc2021/>

