

ARMANDO DIAS DUARTE  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

**APPLIED CIVIL  
ENGINEERING  
2**

---

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

ARMANDO DIAS DUARTE  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

**APPLIED CIVIL  
ENGINEERING  
2**

---

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 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-Não-Derivativos 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 Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Armando Dias Duarte

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C697 Collection: applied civil engineering 2 / Organizador  
Armando Dias Duarte. – Ponta Grossa - PR: Atena,  
2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0174-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.742222604>

1. Civil engineering. I. Duarte, Armando Dias  
(Organizador). II. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 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

A coleção de trabalhos intitulada “*Collection: Applied civil engineering 2*” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de diversos trabalhos que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar, pesquisas cujos resultados possam auxiliar na tomada de decisão, tanto no campo acadêmico, quanto no profissional.

Os trabalhos desenvolvidos foram realizados em instituições de ensino e pesquisa no Brasil. Nos capítulos apresentados, são encontrados estudos de grande valia nas áreas de materiais da construção civil, métodos numéricos e segurança. A composição dos temas buscou a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos (as), mestres (as) e todos (as) aqueles (as) que de alguma forma se interessam pela área da Engenharia Civil, através de temáticas atuais com resoluções inovadoras, descritas nos capítulos da coleção. Sendo assim, a divulgação científica é apresentada com grande importância para o desenvolvimento de toda uma nação, portanto, fica evidenciada a responsabilidade de transmissão dos saberes através de plataformas consolidadas e confiáveis, como a Atena Editora, capaz de oferecer uma maior segurança para os novos pesquisadores e os que já atuam nas diferentes áreas de pesquisa, exporem e divulgarem seus resultados.

Armando Dias Duarte



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **A INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE CINZA PESADA COMO SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NATURAL EM ARGAMASSA**


André Valmir Saugo Ribeiro

Jéssyca Mendes da Silva

Eduardo Nobre Guindani

Julia Beatriz Saugo Milani

Philippe Jean Paul Gleize


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226041>

### **CAPÍTULO 2..... 13**

#### **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS: UM ESTUDO DE CASO**

Francisca Evânia Carvalho

Aridenise Macena Fontenelle

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226042>

### **CAPÍTULO 3..... 20**


#### **ANÁLISE DE MODELOS DE CÁLCULO DE PONTES COM MÚLTIPLAS VIGAS**

Luís Gabriel de Moura

Daniele Martins

Isadora Paczek

Guilherme Alves Correa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226043>

### **CAPÍTULO 4..... 32**


#### **ANÁLISE DA FORÇA CORTANTE EM LAJES COM VIGOTAS TRELIÇADAS**

Rodrigo Bender

Daniele Martins

Isadora Paczek

Guilherme Alves Correa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226044>

### **CAPÍTULO 5..... 45**

#### **COMPARAÇÃO DE ARMADURA MÍNIMA EM VIGAS PROTENDIDAS EM PÓS-TRAÇÃO ADERENTE COM CAD E CRF**

Fernando Machado Parizi



 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226045>

### **CAPÍTULO 6..... 58**

#### **MODOS DE FALHA EM BARRAGENS E O FENÔMENO DA LIQUEFAÇÃO**

Rafaela Baldi Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226046>

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>68</b>
PRÉDIOS SOB AÇÃO DE TERREMOTO: ANÁLISE E PROJETO DE SISTEMA DE CONTROLE	
Denner Cirqueira Costa	
Wallysonn Alves de Souza	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226047">https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226047</a>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>76</b>
APLICAÇÃO DE INSTRUÇÕES TÉCNICAS DO CBMPA PARA AVERIGUAÇÃO DAS MEDIDAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO	
Flaviany Luise Nogueira de Sousa	
Nuria Pérez Gallardo	
Tamara Daiane de Souza	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226048">https://doi.org/10.22533/at.ed.7422226048</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>88</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>89</b>

# CAPÍTULO 1

## A INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE CINZA PESADA COMO SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NATURAL EM ARGAMASSA

Data de aceite: 01/04/2022

### André Valmir Saugo Ribeiro

Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina  
Florianópolis/SC  
<http://lattes.cnpq.br/0637952084591333>

### Jéssyca Mendes da Silva

Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina  
Florianópolis/SC  
<http://lattes.cnpq.br/7605522261336752>

### Eduardo Nobre Guindani

Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina  
Florianópolis – SC  
<https://orcid.org/0000-0002-4207-1849>

### Julia Beatriz Saugo Milani

Engenheira Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Pato Branco – PR

### Philippe Jean Paul Gleize

Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis/SC  
<http://lattes.cnpq.br/1885352323857497>

**RESUMO:** A utilização da cinza pesada em seu estado bruto em substituição à areia natural em argamassas pode trazer benefícios ambientais e econômicos para os usuários, uma vez que não

é necessário realizar processos como queima ou moagem e proporcionar uma destinação para o rejeito. Sendo assim, este artigo visa analisar as propriedades do estado fresco e endurecido de argamassas produzidas com a substituição parcial de areia natural por cinza pesada não beneficiada. A utilização da cinza pesada foi feita em substituição em massa ao agregado miúdo natural nos teores de 0, 20%, 40% e 60%, utilizando uma faixa granulométrica entre 75  $\mu\text{m}$  e 600  $\mu\text{m}$ . Os resultados para o estado fresco mostraram que a com o aumento da porcentagem de utilização da cinza pesada aumentou a demanda por aditivo dispersante para obtenção de argamassas de mesma consistência. No estado endurecido infere-se que a cinza pesada possa ser utilizada em substituição parcial ao agregado natural sem gerar perda no desempenho da matriz cimentícia. **PALAVRAS-CHAVE:** *Cimento Cinza pesada, argamassa, estado fresco e estado endurecido.*

### THE INFLUENCE OF USING COAL BOTTOM ASH AS A SUBSTITUTE FOR NATURAL FINE AGGREGATE IN MORTAR

**ABSTRACT:** The use of coal bottom ash in its raw state as a substitute for natural sand in mortars can bring environmental and economic benefits to users, since it is not necessary to perform processes such as burning or grinding and provide a destination for the waste. Therefore, this article aims to analyze the properties of the fresh and hardened state of mortar produced with the partial replacement of natural sand with coal bottom ash not benefited. The use of heavy ash was made in mass substitution to the natural fine

aggregate in the contents of 0, 20%, 40% and 60%, using a size range between 75  $\mu\text{m}$  and 600  $\mu\text{m}$ . The results for the fresh state showed that the increase in the percentage of use of coal bottom ash increased the demand for dispersing additives to obtain mortars of the same consistency. In the hardened state, it is inferred that the coal bottom ash can be used in partial replacement to the natural aggregate without generating loss in the performance of the cementitious matrix.

**KEYWORDS:** Coal bottom ash, mortar, fresh state and hardened state.

## 1 | INTRODUÇÃO

A utilização de materiais que, geralmente, não têm uma destinação adequada, e que não comprometem as propriedades de matrizes cimentícias, têm sido objetos de pesquisas na área da construção civil. Esses materiais normalmente são utilizados conforme suas características, podendo ser utilizados em substituição ao ligante hidráulico e/ou aos agregados. Atualmente insumos como a cinza volante, escória granulada de alto-forno e *filler*, são empregados em substituição ao clínquer de cimento Portland para produção de cimentos com menor consumo de clínquer.

Entretanto um subproduto proveniente de usinas termelétricas que não tem uma destinação adequada, o qual é nocivo ao meio ambiente, é a cinza pesada. Essa cinza é resultado da queima a seco de carvão mineral. Este material tem características por ser um resíduo inorgânico grosso, poroso, com uma coloração cinza escura e com uma granulometria predominantemente de agregado miúdo (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 1998).

A indústria da construção civil gera muitos impactos ambientais negativos, como por exemplo, a produção do clínquer que gera gases poluentes ao meio ambiente. Estima-se que para cada tonelada produzida de cimento Portland seja emitida uma tonelada de gases poluentes (MEYER, 2009). Entretanto, não é só a produção de clínquer que gera impactos ambientais negativos, a retirada de areia natural de leitos de rios também contribui para esse processo de degradação. Assim, um subproduto disponível no meio ambiente que possa substituir um agregado natural, o qual sua disponibilidade depende de ações prejudiciais ao meio ambiente, é de grande relevância.

Jaturakitakkul e Cheerarot (2003) Singh e Siddique (2014), relatam em seus estudos que a granulometria da cinza pesada é semelhante a granulometria de agregados miúdos naturais (como a areia). Além disso Singh (2018), mostra que o material passante da peneira 600  $\mu\text{m}$  é cerca de 10% a 60% do total, e ainda que o material passante da peneira de 75  $\mu\text{m}$  seria menos do que 15% do total.

Dessa forma, verifica-se que a utilização de um material que em substituição ao agregado natural que possa mitigar e/ou diminuir os impactos ambientais negativos ocasionados pelo processo de extração do agregado natural é ambientalmente relevante. Nesse contexto, justifica-se a importância e relevância dessa pesquisa que se propõe ao estudo das propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas confeccionadas

com cinza pesadas não beneficiadas em substituição da areia natural.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados no presente estudo foram: ligante hidráulico: cimento Portland CP V – ARI; areia fina natural; aditivo dispersante de terceira geração; água, proveniente do sistema de abastecimento de Florianópolis, Santa Catarina. O cimento Portland CP V – ARI (Alta Resistência Inicial) foi utilizado pois ele é o cimento com maior grau de pureza encontrado na região. A sua caracterização química e física está descrita na tabela 1.

<b>Análise Física</b>	
Massa específica (Kg/dm <sup>3</sup> )	3,09
Superfície específica de Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4698
Início de Pega (min)	217
Fim de Pega (min)	277
<b>Análise Química</b>	
Perda ao Fogo (%)	4,8
Resíduo insolúvel (%)	1,6
SiO <sub>2</sub> (%)	17,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2,9
CaO (%)	59,9
C3S (%)	55,8
C2S (%)	9,96
C3A (%)	3,1
C4AF (%)	9,59

Tabela 1 - Caracterização Física e Química do cimento.

Os insumos foram obtidos através da colaboração de empresas da região de Florianópolis - Santa Catarina. Para a caracterização desses materiais foram feitos ensaios de granulometria e massa específica conforme a ABNT NBR NM 248 (2003) e ABNT NBR 6508 (1984). A massa específica da areia natural foi de 2,623 Kg/dm<sup>3</sup> e a da cinza pesada foi de 1,779 Kg/dm<sup>3</sup>. A granulometria da areia utilizada está ilustrada na Figura 1.

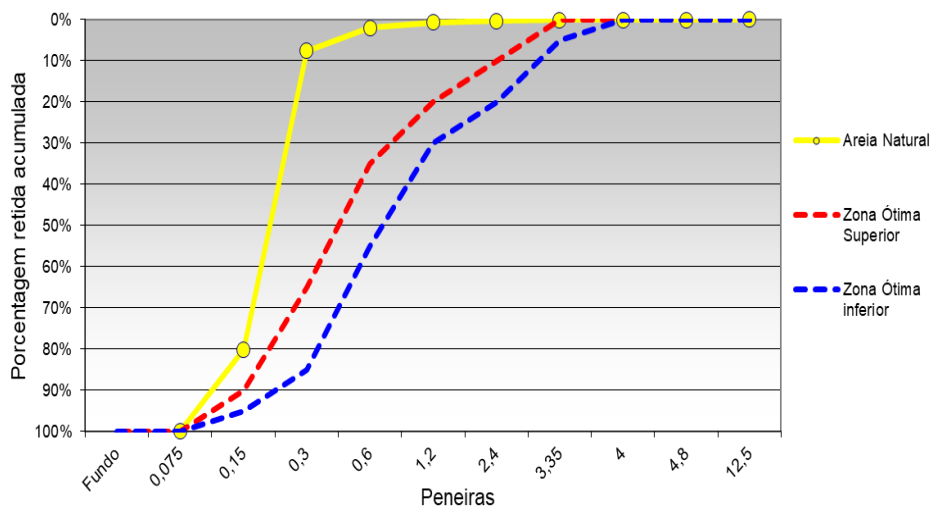


Figura 1 - Granulometria da areia natural.

O agregado miúdo utilizado no presente estudo é um agregado comumente utilizado pelas empresas da região da Grande Florianópolis - Santa Catarina. Geralmente ela é utilizada combinada com uma areia de britagem (areia artificial), entretanto decidiu-se utilizar somente a areia natural pois seu percentual de utilização é maior do que a de britagem. Assim, para melhor verificar a influência da substituição da cinza pesada em relação a areia natural utilizou-se somente a areia natural como agregado miúdo. O aditivo utilizado no estudo foi o dispersante de terceira geração MC Powerflow 4000, o qual foi obtido por meio de uma empresa que produz aditivos para misturas cimentícias.

O programa experimental foi planejado com o intuito de estudar as propriedades de argamassas cimentícias produzidas com cinza pesada não beneficiada em substituição a areia natural, tanto no estado fresco quanto endurecido. Para tal, foram produzidas argamassas com relação ligante/agregado miúdo 1:2 e 1:3, com substituições de cinza pesada (em massa) ao agregado miúdo nos teores de 20%, 40% e 60%. A figura 2, apresenta o resumo dos ensaios realizados nas argamassas produzidas com cinza pesada não beneficiada. Os procedimentos e detalhes de cada ensaio serão discutidos posteriormente.

As misturas foram realizadas em uma argamassadeira planetária de eixo vertical com o volume de mistura variando entre 1 e 1,5 litros. Após o procedimento de mistura, foram realizados os ensaios no estado fresco e, posteriormente, moldados corpos de prova (50x100mm) para os ensaios no estado endurecido na idade de 28 dias.

Em seguida, os CPs foram acondicionados em tanques contendo água e cal até a idade de execução dos ensaios no estado endurecido. Ainda, os exemplares foram capeados a fim de promover uma superfície de contato plana entre os corpos de prova e os pratos da prensa.

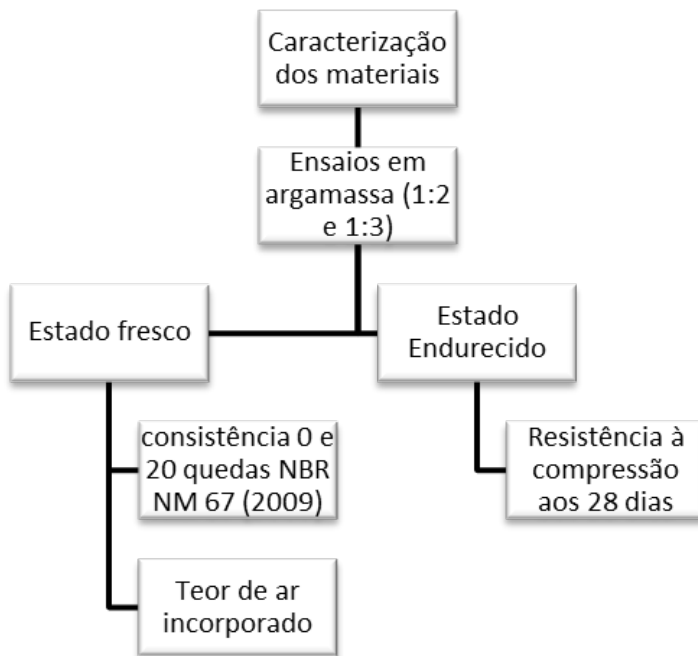


Figura 2 - Ensaio adotados para a determinação das propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas.

No que tange a avaliação das propriedades no estado fresco das argamassas foi realizado o ensaio do índice de consistência conforme ABNT NBR 13276 (2016). O objetivo foi verificar a influência da substituição na consistência e trabalhabilidade da argamassa. Em relação aos ensaios no estado endurecido, foram realizados ensaios de resistência à compressão seguindo as diretrizes da ABNT NBR 13279 (2005).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como a substituição de cinza pesada em relação ao agregado natural foi realizada em massa, e a massa específica da cinza pesada é menor do que a da areia natural, foi necessário realizar a correção dos traços para produção de 1 metro cúbico de argamassa. Os novos traços das argamassas estão apresentados na tabela 2.

Conforme pode ser verificado na tabela 2, as argamassas que tiveram substituição do agregado miúdo natural por cinza pesada, tiveram uma redução de consumo de cimento Portland em relação à argamassa de referência. Nota-se também que, o volume adicionado de cinza pesada é maior do que o volume retirado de areia natural, portanto o volume de mistura é modificado e conseqüentemente, a quantidade dos insumos para a sua produção.

Volume produzido real para 1000 litros				Volume produzido real para 1000 litros			
1:2	Composição em massa			1:3	Composição em massa		
	Referência	20%	40%		Referência	20%	40%
cimento (kg)	638,4	614,4	592,1	cimento (kg)	529,1	504,5	482,2
areia natural (kg)	1083,5	834,1	602,9	areia natural (kg)	1346,9	1027,5	736,4
cinza pesada (kg)	0	208,5	401,9	cinza pesada (kg)	0	256,9	491
água (kg)	380,2	365,8	352,6	água (kg)	315,1	300,4	287,1
Massa total (kg)	2102,1	2022,8	1949,4	Massa total (kg)	2191,1	2089,4	1996,7
volume produzido (l)	1000	1000	1000	volume produzido (l)	1000	1000	1000

Tabela 2 - Traço das argamassas estudadas.

### 3.1 Estado Fresco

A seguir, nas Figuras 3 e 4, são ilustrados os resultados para o ensaio de índice de consistência das argamassas produzidas. O índice de consistência da argamassa foi medido na mesa de espalhamento de argamassa sem nenhuma queda (consistência 0) e após 20 quedas (consistência 20).



Figura 3 - Ensaio de consistência das argamassas com 0 quedas.



## Consistência 20

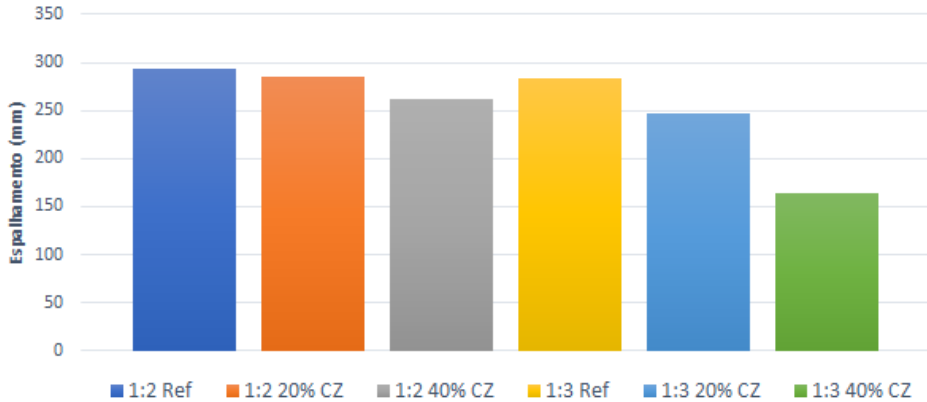


Figura 4 - Ensaio de consistência das argamassas com 20 quedas.

Pode ser verificado que há um padrão no comportamento das argamassas, esse padrão indica que quanto maior a substituição em massa de areia natural por cinza pesada (CZ) menor será o espalhamento da argamassa. Esse comportamento pode ser explicado devido a massa específica da cinza pesada ser menor do que a massa específica da areia natural. Assim, quando se faz a substituição em massa de areia natural por cinza pesada coloca-se maior volume de sólidos para uma mesma mistura e assim diminui a fluidez do sistema, acarretando menores índices de consistências.

Ainda, ressalta-se que uma diminuição no espalhamento das argamassas com relação ligante:agregado miúdo 1:3 comparadas com as argamassas com relação 1:2, com mesmas relações água/cimento. Isso é esperado já que com a relação 1:3 se tem menor quantidade de água disponível no sistema em relação às argamassas com relação 1:2. Com menor quantidade de água disponível para lubrificar as partículas no sistema, deve haver uma diminuição no índice de consistência das argamassas.

Além disso, com os resultados do estado fresco pode-se traçar um gráfico relacionando a quantidade de ar incorporado pelas misturas com o teor de aditivo utilizado. Esse gráfico é ilustrado na Figura 5.

A figura 5 apresenta que a maior substituição de areia natural por cinza pesada exigiu maior quantidade de aditivo para atingir o espalhamento desejado. Isso pode ser explicado devido ao aumento do volume de sólidos da mistura gerado pela substituição. Além de que, sabe-se que a cinza pesada é um material poroso, portanto absorve maior quantidade de água do sistema e demanda maior quantidade de aditivo para atingir a mesma consistência. Mangi et al. (2019) indica que a superfície irregular e porosa do material contribui para o maior consumo de água para que a mistura atinja a mesma consistência.

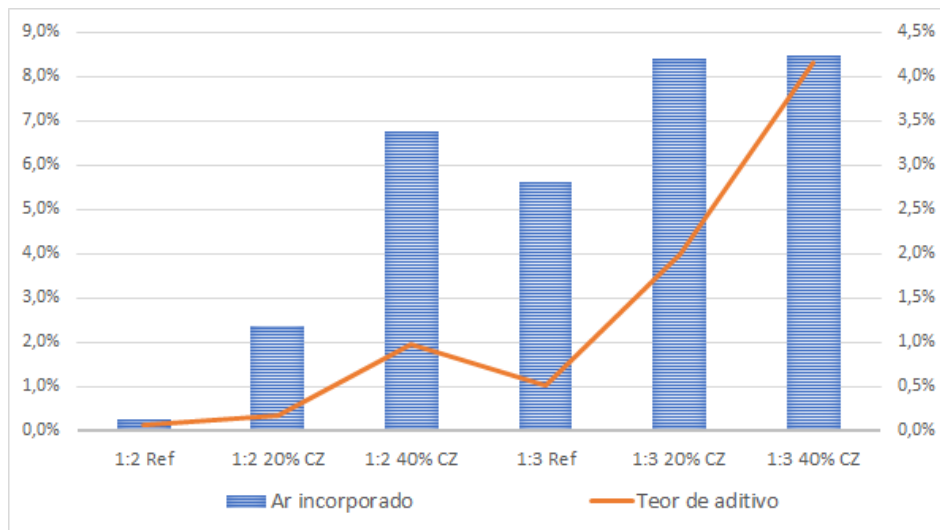


Figura 5 - Correlação entre teor de ar incorporado e quantidade de aditivo utilizado em cada argamassa.

Observa-se que o aumento da relação ligante:agregado miúdo acarretou em um aumento no consumo de aditivo. Isso se explica pela diminuição da água livre para lubrificar a mistura, já que para maiores relações ligante:agregado, com mesma relação água/cimento, ocorre a diminuição do ligante e água para um mesmo volume de mistura.

Verifica-se também que, o aumento do consumo de aditivo nas misturas causou uma tendência de aumento da incorporação de ar. Verifica-se que devido à demanda de grandes teores de aditivo superplastificantes as argamassas incorporaram grandes quantidades de ar. Colleparidi (1976), Ramachandram e Malhotra (1998), afirmam que superdosagens de aditivos superplastificantes em matrizes cimentícias podem resultar em altos valores de ar incorporado. Segundo Raabe (1991) e Gjorv (1992), aditivos redutores de água de alta eficiência, como os superplastificantes, tendem a gerar maior incorporação de ar em concretos de alto desempenho. Sabe-se que uma maior incorporação de ar em uma matriz cimentícia pode resultar em redução nas suas propriedades mecânicas.

### 3.2 Estado endurecido

A seguir serão discutidos os ensaios de resistência à compressão das argamassas produzidas com e sem a substituição de cinza pesada. Os resultados do ensaio aos 28 dias são ilustrados na Figura 6.

Conforme pode ser verificado pelos resultados de resistência à compressão aos 28 dias na figura 6, houve uma tendência da argamassa produzida com a substituição de areia natural por cinza pesada no teor de 20% resultando em menor resistência à compressão do que as demais argamassas estudadas. Isso pode ser explicado pela diferença de massa

específica entre os agregados, que suscita em um traço mais pobre quando há a substituição de areia natural por cinza pesada. Sendo a substituição da areia por cinza pesada realizada em massa, e sendo a massa específica da cinza pesada menor em comparação à da areia, o volume de sólidos é maior na argamassa com cinza pesada em sua composição. Além disso, ensaios à compressão para idades mais avançadas podem resultar na diminuição da diferença da resistência à compressão das argamassas de referência e as com cinza pesada, isso porque, pode ocorrer atividade pozolânica com o passar do tempo para as argamassas com cinza pesada (CHERIAF, et al. 1999).

Assim, fez-se o desempenho de quilograma utilizado para produção de cada argamassa para atingir 1 Mpa de resistência à compressão. Esse índice de desempenho ajuda a identificar a mistura que apresenta os melhores resultados no quesito de resistência à compressão. Esses resultados são ilustrados na Figura 7.

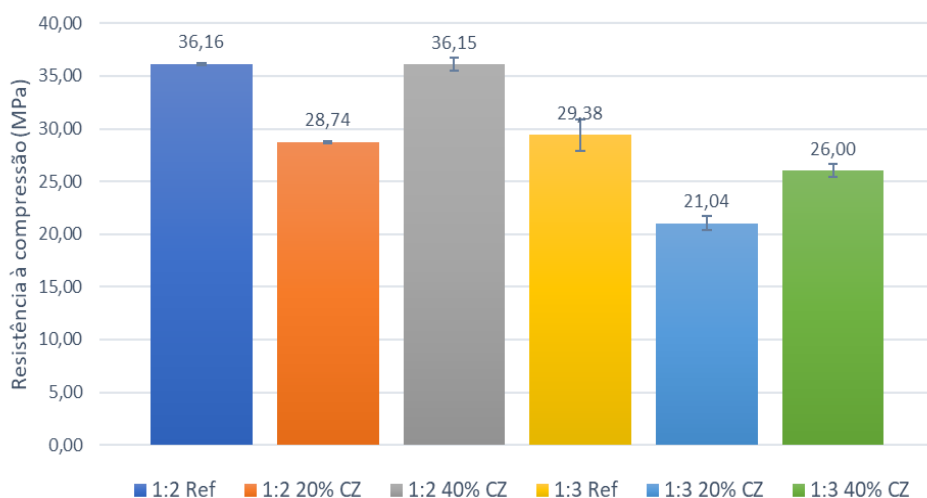


Figura 6 - Resultados de resistência à compressão das argamassas aos 28 dias.

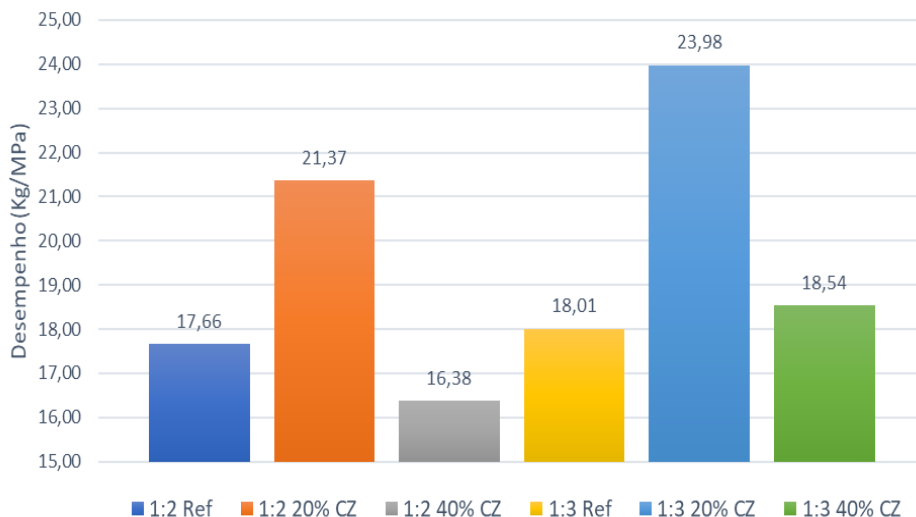


Figura 7 - Índice de desempenho da quantidade de cimento Portland utilizado para o ganho de 1 Mpa na resistência à compressão das argamassas aos 28 dias.

Como apresentado no gráfico da figura 7, após comparação entre a argamassa de referência e as argamassas com substituição do agregado miúdo natural por cinza pesada, nota-se que os maiores índices de desempenho entre as misturas foram resultado da substituição de 20% de areia natural por cinza pesada. Percebe-se também que o traço de 1:3 (ligante:agregado miúdo) apresentou maiores índices de desempenho se comparados individualmente com o traço 1:2 (ligante:agregado miúdo).

Quanto maior o valor do índice de desempenho da matriz cimentícia indica que a mistura necessita de maior quantidade de ligante hidráulico para atingir a mesma resistência à compressão aos 28 dias. Assim, verifica-se que, independente da relação ligante:agregado miúdo, a utilização de cinza pesada em argamassa em substituição em relação a massa de agregado miúdo resultou em aumento na demanda de cimento Portland para a substituição de 20% para atingir mesma resistência à compressão em relação à argamassa de referência. Ainda, pode-se verificar que para a substituição de 40% o desempenho da mistura foi o mesmo que a mistura de referência, independente da relação água/ligante utilizada. Segundo Abdulmatin et al. (2018) os finos da cinza pesada podem preencher poros menores que não eram preenchidos anteriormente e assim promovendo uma ação de refinamento de poros na matriz, o que pode acarretar em melhorias nas propriedades mecânicas e na durabilidade da mistura.

## 4 | CONCLUSÕES

Com os materiais e os métodos utilizados no presente estudo, os resultados da

pesquisa em questão inferiram que:

- A utilização cinza pesada em substituição parcial em massa ao agregado miúdo natural demandou maior quantidade de aditivo dispesante para obter mesma consistência do que a argamassa de referência;
- A argamassa produzida com 60% de substituição de agregado miúdo natural por cinza pesada não obteve mesma consistência das demais argamassas independentemente da quantidade de aditivo dispersante utilizado;
- O maior consumo de aditivo resultou em maior teor de ar incorporado pelas misturas;
- A substituição com 40% de substituição de agregado miúdo natural por cinza pesada obteve mesmo desempenho de resistência à compressão aos 28 dias para o mesmo consumo de cimento Portland.

## REFERÊNCIAS

ABDULMATIN, A.; TANGCHIRAPAT, W.; JATURAPITAKKUL, C. An investigation of bottom ash as a pozzolanic material. *Construction and Building Materials*. Vol, 186. Pages,155–162. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.101>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6508**: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

CHERIAF, M.; ROCHA, J. C.; PÉRA, J. Pozzolanic properties of pulverized coal combustion bottom ash. **Cement Concrete Research**. Vol, 29. Pages, 1387–1391. 1999. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00098-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00098-8).

COLLEPARDI, M. Assessment of the “rheoplasticity” of concretes. **Cement and Concrete Research**. v. 6, n.3, p. 401-408. 1976.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION: TURNER FAIRBANK HIGHWAY RESEARCH CENTER. User guidelines for waste and by-product material in pavement construction. United States Department of transport. 1998. Acesso em 02/12/2020. Disponível em : <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/97148/008.cfm>.

GJORV, O. E. MALHOTRA, V. M. High strength concrete. *Advances in Concrete Technology*. In: (ed) . **Otawa: Energy Mines Resources**. p.21-78, 1992

JATURAPITAKKUL, C. CHEERAROT, R. Development of bottom ash as pozzolanic material. **Journal Materials Civil Engineering**. vol 15. p.48–53. 2003.[https://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(2003\)15:1\(48\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(2003)15:1(48)).

KLEE, H. The cement sustainability initiative. **Proceeding of Institution of Civil Engineers Engineering Sustainability**. Institute of Civil Engineers: London, UK, 2004.

MANGI, S. A.; WAN IBRAHIM, M. H.; JAMALUDDIN, N.; ARSHAD, M. F.; PUTRA JAYA, R. Shortterm effects of sulphate and chloride on the concrete containing coal bottom ash as supplementary cementitious material. **Engineering Science and Technology, an International Journal**. Vol, 22. Pages, 515–522. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.09.001>.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

MEYER, C. The greening of the concrete industry. **Cement Concrete Composites**. Volume 31, páginas 601–605, 2009.

RAABE, A. L. **Aditivos Superplastificantes em Concretos de Cimento Portland**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil, 144pg, 1991.

RAMACHANDRAN, V. S. MALHOTRA, V. M. **Superplasticizers: Properties and Applications in Concrete**. Capítulo 7. Pg 410 – 518. 1998. ISBN: 978-0660173931.

SINGH, M. Coal bottom ash, Waste Supplementary Cementitious Materials in Concrete: Characterisation, Properties and Applications. **Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering**. p. 3-50. 2018. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102156-9.00001-8>.

SINGH, M. SIDDIQUE, R. Strength properties and micro-structural properties of concrete containing coal bottom ash as partial replacement of fine aggregate. **Construction and Building Materials**. vol 50. p.246–256. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.026>.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Análise de estruturas 20

Análise experimental 32

Análise teórica 32

Areias 58, 59, 64

Argamassa 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 19

Armadura transversal 32, 34, 40, 41, 42, 44

### B

Barragem 60, 61, 65

### C

CAD 45

CBMPA 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86

CRF 45, 48, 54

### D

Desigualdades matriciais lineares 68, 69, 70

Distribuição 20, 21, 31, 63

### E

Estabilidade de lyapunov 69

Estado endurecido 1, 4, 5, 8

Estado fresco 1, 2, 4, 5, 6, 7

### F

Fachadas 13, 14, 16, 17, 18, 19

Força cortante 32, 33, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44

### I

Incêndio 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87

Instruções técnicas 77, 78, 79, 81, 86

### L

Laje treliçada 32, 42

Liquefação 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66

## **M**

Massa 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 59, 60, 61, 63, 64, 72, 73, 74

Medidas de segurança 77, 78, 82, 84, 85, 86

Métodos 2, 3, 10, 19, 20, 21, 25, 26, 29, 31, 45, 47

Modo de falha 58, 65, 66

## **P**

Patologia 13, 16, 17, 18

Pontes 20, 21, 57

PONTES 20, 21, 31, 48

Pós-tração aderente 45, 46, 55, 57

Protendido 31, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 56, 57

## **R**

Revestimento cerâmico 13, 15, 19

## **S**

Sinistro 77, 78, 79, 80

Sistemas lineares 68, 70, 76


## **T**


Terremotos 65, 66, 68, 69, 71, 72


## **V**


Viga 18, 29, 45, 47, 48, 49, 50, 52, 54, 55



 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora


 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)


---

*Collection:*

# APPLIED CIVIL ENGINEERING 2

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED CIVIL ENGINEERING 2