

RESSALVA

Atendendo a solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 13/01/2025.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ADILSON MARTINS DE OLIVEIRA JUNIOR

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM CINZA DE EUCALIPTO
COMO SUBSTITUTO PARCIAL DA AREIA**

**Ilha Solteira
2023**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ADILSON MARTINS DE OLIVEIRA JUNIOR

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM CINZA DE EUCALIPTO
COMO SUBSTITUTO PARCIAL DA AREIA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área do Conhecimento: Estruturas.

Orientador

Prof. Dr. Alex Otávio Sanches

Coorientador

Prof. Dr. João Cláudio Bassan de Moraes

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Oliveira Junior, Adilson Martins de.
O48a Análise do desempenho de argamassas com cinza de eucalipto como
substituto parcial da areia / Adilson Martins de Oliveira Junior. -- Ilha Solteira:
[s.n.], 2023
96 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2023

Orientador: Alex Otávio Sanches
Coorientador: João Cláudio Bassan De Moraes
Inclui bibliografia

1. Argamassa. 2. Biomassa. 3. Cinza de eucalipto.


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM CINZA DE EUCALIPTO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DA AREIA

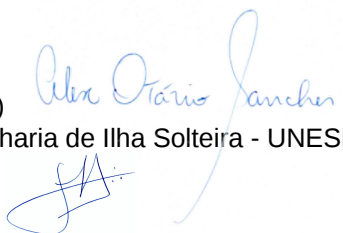
AUTOR: ADILSON MARTINS DE OLIVEIRA JUNIOR

ORIENTADOR: ALEX OTÁVIO SANCHES

COORIENTADOR: JOÃO CLAUDIO BASSAN DE MORAES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, área: Estruturas pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ALEX OTÁVIO SANCHES (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

A handwritten signature in blue ink, reading "Alex Otávio Sanches", is placed over the text of the first professor's name and affiliation.

Prof. Dr. JORGE LUIS AKASAKI (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

A handwritten signature in blue ink, reading "Jorge Luis Akasaki", is placed over the text of the second professor's name and affiliation.

A handwritten signature in blue ink, reading "Guilhermina Ferreira Teixeira", is placed over the text of the third professor's name and affiliation.
Dra. GUILHERMINA FERREIRA TEIXEIRA (Participação Virtual)
Instituto de Química / Universidade Federal de Goiás - UFG - Goiânia

Ilha Solteira, 13 de janeiro de 2023

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos e minhas avós, pelo amor, carinho e apoio que me foi dado por toda essa jornada desafiadora e gratificante.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela força que tem me dado por todos os dias da minha vida para continuar a lutar pelos meus objetivos, pois sem ele nada disso seria possível de se realizar.

Aos meus pais Adilson e Roseli, que foram o meu suporte para todas as horas, pelo carinho, amor, apoio, pela educação, conhecimento e sabedoria passados a mim.

Ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, pela oportunidade de cursar o mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro conferido a mim.

Aos meus orientadores Dr. Alex Sanches e Dr. João Cláudio por terem me guiado de forma sábia e por me incentivarem a todo momento.

A todos os professores, técnicos de laboratório, servidores e terceirizados envolvidos de alguma forma na manutenção da UNESP.

A empresa CONCREPLAN PLANALTO LTDA, pela doação do aditivo plastificante que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Marcelo, Josiane e a todos os amigos e companheiros que fiz no Departamento de Engenharia Civil da FEIS.

Aos professores do Centro Universitário de Santa Fé do Sul – UNIFUNEC, em especial a Dra. Cláudia Scoton, que foi uma das responsáveis pelo meu ingresso no mestrado e que me transmitiu todos os conhecimentos de maneira exemplar.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“Força de ânimo e coragem na adversidade servem
para conquistar o êxito, mais do que um exército”

John Dryden

RESUMO

Com o crescimento populacional e desenvolvimento dos processos industriais e agroindustriais, é inevitável que ocorra o aumento da produção de resíduos derivados desses processos produtivos. Tendo este cenário em vista, é muito importante que opções de destinação sejam desenvolvidas para dar um descarte correto a estes resíduos de produção. Neste sentido, empresas do setor agrícola, de maneira geral, reaproveitam grande parte dos resíduos de biomassa gerados *in loco*. Para isto, é comum que essas empresas realizem a queima da matéria orgânica excedente para geração de energia para consumo próprio ou comercialização. No entanto, após a combustão da biomassa, tais empresas precisam descartar as cinzas resultantes do processo de queima, o que se não for bem planejado, pode gerar custos extras com manejo e descarte do resíduo. Perante isso, este trabalho investigou o uso de cinzas resultantes da queima de eucalipto, de caráter não pozolânico, em substituição a areia na elaboração de argamassas nas proporções de 15%, 30% e 50% em massa. O programa experimental contou com a caracterização física e química da cinza de eucalipto e sua posterior reclassificação granulométrica. Os ensaios executados nas argamassas foram os de DRX, MEV, reatividade pozolânica, índice de consistência, densidade nos estados fresco e endurecido, absorção por capilaridade, absorção por imersão e resistência à compressão. Os resultados indicaram que a cinza de eucalipto analisada tem caráter cristalino, alta higroscopicidade e perda ao fogo variando de 3,34% para a cinza reclassificada (CR) até 16,66% para a cinza de fundo (CF). Os resultados dos ensaios executados nos compósitos, mostraram que as argamassas com cinzas de eucalipto tendem a apresentar mais vazios, absorver mais água e aos 28 dias, manter estáveis valores de resistência à compressão a partir dos traços com a presença da cinza de eucalipto.

Palavras-chave: Argamassa. Cinza de eucalipto. Biomassa.

ABSTRACT

With population growth and the development of industrial and agro-industrial processes, it is inevitable that an increase in the production of waste derived from these production processes occurs. With this scenario in mind, it is very important that destination options are developed to provide a correct disposal of these production residues. In this sense, companies in the agricultural sector, in general, reuse a large part of the biomass waste generated on site. To this end, it is common for these companies to burn the surplus organic matter to generate energy for their own consumption or commercialization. However, after the biomass combustion, these companies need to discard the ash resulting from the burning process, which, if not well planned, can generate extra costs with waste management and disposal. In view of this, this work investigated the use of ash resulting from eucalyptus burning, of non-pozzolanic character, as a substitute for sand in the preparation of mortars in the proportions of 15%, 30% and 50% by mass. The experimental program included the physical and chemical characterization of the eucalyptus ash and its subsequent granulometric reclassification. The tests performed on the mortars were DRX, MEV, pozzolanic reactivity, consistency index, density in fresh and hardened states, absorption by capillarity, absorption by immersion and compressive strength. The results indicated that the eucalyptus ash analyzed has a crystalline character, high hygroscopicity and loss on ignition ranging from 3.34% for the reclassified ash (CR) to 16.66% for the bottom ash (CF). The results of the tests performed on the composites showed that the mortars with eucalyptus ash tend to present more voids, absorb more water and at 28 days, maintain stable values of compressive strength from the mixtures with the presence of eucalyptus ash.

Keywords: Mortar. Eucalyptus ash. Biomass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Oferta interna de energia por fonte.	19
Figura 2: Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa.	20
Figura 3: Pesagem do corpo de prova.	44
Figura 4: Curva granulométrica dos agregados.	50
Figura 5: Difratometria das cinzas de eucalipto.	53
Figura 6: Gráfico de análise termogravimétrica das cinzas de eucalipto.	55
Figura 7: Micrografias dos grãos de areia e cinzas.	56
Figura 8: Micrografias e EDX da CR e dos bastonetes.	58
Figura 9: Reatividade pozolânica da cinza reclassificada.	59
Figura 10: Padrões de DRX das argamassas contendo diferentes proporções de cinzas.	60
Figura 11: Resultados de TG das argamassas.	62
Figura 12: Evolução dos poros e vazios das argamassas testadas.	63
Figura 13: Comparativo do mapeamento químico com EDS.	65
Figura 14: Índice de consistência das amostras.	66
Figura 15: Gráfico de resultados médios da densidade no estado fresco.	67
Figura 16: Teor de ar incorporado nas argamassas.	68
Figura 17: Gráfico de resultados médios da densidade no estado endurecido.	69
Figura 18: Gráfico de absorção e volume de vazios.	71
Figura 19: Gráfico de absorção por capilaridade.	72
Figura 20: Gráfico de resistência à compressão média dos compósitos.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de resíduos.....	18
Tabela 2: Síntese de composições químicas por autores analisados.....	21
Tabela 3: Classificação das argamassas.	25
Tabela 4: Classes cimento Portland comercializados no Brasil.	27
Tabela 5: Classificação quanto ao diâmetro da areia.	28
Tabela 6: Classes de aditivos e suas funções.	29
Tabela 7: Caracterização física do cimento utilizado.	33
Tabela 8: Ensaio químicos.	34
Tabela 9: Propriedades do aditivo.	35
Tabela 10: Aberturas das peneiras utilizadas.	36
Tabela 11: Quantitativos dos traços para 1m ³ de argamassa (kg/m ³).	38
Tabela 12: Caracterização física dos agregados.....	49
Tabela 13: Composição de óxidos da cinza de eucalipto.	51
Tabela 14: Valores médios de perda ao fogo.	52
Tabela 15: Valores de perda de massa em cada estágio de temperatura.	54
Tabela 16: Quantificação de Portlandita e Carbonato de Cálcio.	62

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AFt	Fase de Etringita
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRALPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza de Resíduos Especiais
Al_2O_3	Óxido de Alumínio
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASTM	American Society for Testing and Materials
CaCO_3	Carbonato de Cálcio
CaO	Cálcio
CCDM	Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais
CF	Cinza de Fundo
Cl	Cloreto
CO	Cinza Original
CPV	Cimento de Portland de Alta Resistência Inicial
CR	Cinza Reclassificada
CVB	Cinza Volante de Biomassa
CVC	Cinza Volante de Carvão
DFQ	Departamento de Física e Química
DRX	Difratometria por Raios - X
DTG	Derivada de Termogravimetria
EAF	Escória de Alto Forno
ECA	Eucalyptus Chip Ash
EMIC	Equipamentos e Sistemas de Ensaios
EMO	European Mortar Industry Organization
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
Fe_2O_3	Óxido Férreo
FRX	Fluorescência de Raios - X
IPEA	Instituto de Pesquisa e Estudos Avançados
KCl	Cloreto de Potássio
LOI	Loss on Ignition
MCS	Material Cimentício Suplementar
MgO	Óxido de Magnésio
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

ONU	Organização das Nações Unidas
P ₂ O ₅	Pentóxido de Difósforo
PC	Perda de Condutividade
PF	Perda ao Fogo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRS	Programa Nacional de Resíduos Sólidos
RAA	Reação Álcali Agregado
RHA	Rice Husk Ash
RS	Resíduo Sólido
SCBA	Sugarcane Bagasse Ash
SiO ₂	Dióxido de Silício
SO ₃	Trióxido de Enxofre
SP	São Paulo
SPC	Sobre o peso do Cimento
T0	Argamassa de referência
T15	Argamassa com 15% de cinza de eucalipto
T30	Argamassa com 30% de cinza de eucalipto
T50	Argamassa com 50% de cinza de eucalipto
TG	Termogravimetria
TiO ₂	Dióxido de Titânio
UNESP	Universidade Estadual Paulista
Z.O	Zona Ótima
ZTI	Zona de Transição de Interface
Z.U	Zona Útil

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°	Grau
°C	Grau celsius
±	Mais ou Menos
a/c	Relação água/cimento
g/cm ³	Grama por centímetro cúbico
Kg/m ³	Quilograma por centímetro cúbico
mg	Miligrama
Mg/m ³	Miligrama por metro cúbico
min	Minuto
ml	Mililitro
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
MPa/s	Mega Pascal por segundo
s	Segundo
θ	Ângulo de Bragg

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	17
2.1.1	Breve histórico	17
2.2	BIOMASSA.....	19
2.3	ARGAMASSA.....	24
2.4	OBJETIVOS	30
2.4.1	Objetivo geral	30
2.4.2	Objetivos específicos	30
2.5	JUSTIFICATIVA	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	MATERIAIS	33
3.1.1	Cimento Portland	33
3.1.2	Agregados Miúdos	34
3.1.3	Água.....	34
3.1.4	Aditivo Plastificante.....	34
3.2	MANUSEIO DA CINZA E FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS	35
3.2.1	Coleta e classificação das cinzas	35
3.2.2	Reclassificação granulométrica	36
3.2.3	Produção das Argamassas	37
3.3	CARACTERIZAÇÃO.....	39
3.3.1	Fluorescência de raios X – (FRX)	39
3.3.2	Difração de raios X – (DRX)	39
3.3.3	Termogravimetria – (TG)	39
3.3.4	Perda ao fogo	40
3.3.5	Microscopia eletrônica de varredura – (MEV)	41
3.3.6	Reatividade pozolânica.....	41
3.4	ARGAMASSA.....	42
3.4.1	Índice de Consistência.....	42
3.4.2	Densidade no Estado Fresco.....	43
3.4.3	Densidade no Estado Endurecido.....	44
3.4.4	Resistência à Compressão	45
3.4.5	Absorção por Imersão	45

3.4.6 Absorção por Capilaridade	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1 CARACTERIZAÇÃO.....	49
4.1.1 Caracterização de agregados	49
4.1.2 Reclassificação granulométrica	50
4.1.3 Fluorescência de raios - X (FRX).....	51
4.1.4 Perda ao Fogo.....	51
4.1.5 Difração de Raios – X (DRX)	52
4.1.6 Análise termogravimétricas das cinzas	54
4.1.7 Microscopia de varredura eletrônica e composição química (MEV/EDX)	56
4.1.8 Reatividade Pozolânica	59
4.2 ARGAMASSA.....	60
4.2.1 DRX.....	60
4.2.2 Análise termogravimétrica de argamassas	61
4.2.3 Microscopia eletrônica de varredura - (MEV / EDS).....	63
4.2.4 Índice de Consistência.....	66
4.2.5 Densidade no Estado Fresco.....	67
4.2.6 Densidade no Estado Endurecido.....	69
4.2.7 Absorção por Imersão	70
4.2.8 Absorção por Capilaridade	71
4.2.9 Resistência à Compressão	72
5 CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS.....	77

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas – ONU (2019), a população mundial no ano de 2050 deverá se aproximar de 9,7 bilhões. Este cenário será acompanhado de um aumento na demanda por energia e alimentos na ordem de 60% em comparativo aos dias atuais, além de um acentuado aumento na geração de resíduos, ocasionando impactos sociais, ambientais e econômicos (BEARE, 2013; HORORNWEG, 2012).

Em especial, a agroindústria produz uma quantidade significativa de resíduos que se originam em seus processos de produção e beneficiamento, entre eles estão os resíduos de eucalipto, casca de arroz e bagaço de cana de açúcar. Resíduos como a biomassa são aproveitados para se produzir energia elétrica ou energia térmica por meio do processo de combustão. Como resultado, são produzidos um grande montante de cinzas, que a depender do tratamento térmico e tamanho de partículas, se tornam um importante problema, não apenas de cunho ambiental, mas de saúde pública (AYOBAMI, 2021; BONFIM; MARTINS DE PAULA, 2021; TORRES DE SANDE *et al.*, 2021).

Neste cenário, estudos vêm sendo desenvolvidos visando a reutilização desse resíduo, sendo uma das aplicações principais, sua utilização como material pozolânico em concretos e argamassas (FRANÇA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2021). Evidentemente, o reaproveitamento deste material depende principalmente de fatores correlacionados a suas características físicas e químicas. Essas características tendem a sofrer grandes variações em escala regional ligadas tanto a seu processo produtivo quanto a fonte de biomassa disponível (AYOBAMI, 2021).

A indústria da construção civil se aproveita do potencial pozolânico que algumas cinzas possuem para o emprego como substituição parcial do cimento. O caso mais famoso, e em emprego comercial, é o da cinza da casca de arroz, que devido à sua alta área superficial, natureza porosa, leveza e teor de sílica, a torna útil para construção, indústria siderúrgica e outras aplicações. Tais características e aplicações tem tornado a cinza da casca de arroz em uma comódite, com um mercado global de U\$ 2.5 bilhões em 2021 (MARKETS AND MARKETS, 2017; RESEARCHNESTER, 2022).

Especificamente, cinzas que não demonstram características pozolânicas, seja por seu baixo teor de aluminosilicatos ou grande presença de fases inertes (como o quartzo ou cristobalita), são negligenciadas em estudos e utilização na construção civil. De fato, poucos trabalhos buscam estudar sua utilização e valoração comercial cabendo a estas o descarte. Em particular, sabe-se que, a cinza de eucalipto demonstra características típicas de um material com baixo potencial pozolânico. Tal fato, decorre não apenas das características da cultura em si, mas também da alta eficiência dos fornos industriais para queima da madeira e geração de energia. Tais fatores conjuntos conferem as cinzas advindas da queima do eucalipto, em muitos casos, uma grande presença de cristobalita, alto teor de carbonato de cálcio em detrimento do óxido de silício e uma elevada perda ao fogo, tornando tal material desinteressante a área de engenharia civil (BONFIM E PAULA, 2021; FRANÇA *et al.*, 2016; SALES *et al.*, 2010).

Diante de tal contexto, sob a premissa de um desenvolvimento sustentável pautado na capacidade de suprir as necessidades da atual sociedade sem que haja o comprometimento de sociedades futuras, é de suma importância se buscar alternativas para o modelo econômico atual em que a matéria-prima é extraída, transformada e em seguida descartada em resíduos. Neste sentido, este estudo buscou avaliar a viabilidade da cinza obtida a partir da queima de resíduos de eucalipto em fornos industriais para geração de energia, como material alternativo para o emprego na substituição parcial da areia em argamassas

5 CONCLUSÕES

Nesta dissertação, foi analisada a influência da incorporação da cinza de eucalipto de caráter não pozolânico, quando inserida em composições de argamassas, com o objetivo central de averiguar as alterações de comportamento das argamassas nos estados fresco e endurecido, abrangendo desde a caracterização básica dos componentes da argamassa até a resistência mecânica à compressão, absorção por imersão e capilaridade. As cinzas de eucalipto foram empregadas em substituição a areia nas proporções de 15%, 30% e 50%, em massa.

Com base nos resultados de caracterização, pode-se dizer que a CR assim como as demais variações, demonstram possuir caráter cristalino de acordo com o ensaio de DRX. A CR também possui um baixo índice de perda ao fogo (3,34%), que em grande parte é devido a degradação do carbonato de cálcio.

Os grãos de cinza de eucalipto possuem aspecto poroso e uma quantidade notável de bastonetes presentes na superfície dos grãos. Isso contribuiu para uma maior absorção de água da mistura, o que foi possível contornar corrigindo a água para hidratação desses grãos e fazendo uso de um aditivo plastificante para se obter uma boa consistência final das argamassas.

Os resultados referentes à atividade pozolânica da cinza de eucalipto, indicaram que o material possui um baixo nível de reatividade pozolânica, fato que limita o uso do mesmo a substituição de agregados miúdos não reativos, como a areia natural.

A substituição parcial da areia pela cinza de eucalipto na argamassa culminou em um aumento dos teores de ar incorporado, que conseqüentemente reduziram as densidades das argamassas. Com isso, os índices de vazios, absorção por imersão e capilaridade aumentaram à medida que a areia foi substituída pela cinza.

Foi constatado por meio da análise microscópica que a cinza de eucalipto quando incorporada na argamassa, contribuía para o aumento dos vazios avistados nas proximidades da ZTI, assim como o maior avistamento de formações de etringita. Características que promovem a queda gradual de resistência conforme o teor de substituição da areia por cinza aumentava.

Observando especificamente o desempenho das amostras T50, o mesmo teor de substituição da areia também poderia ser utilizado em traços de concreto em estudos futuros, visto que esta proporção de substituição afetou de forma limitada a

resistência das amostras e que todas as amostras a partir dos 28 dias de idade alcançavam mais de 45 MPa de resistência à compressão.

Considerando os resultados de resistência à compressão aos 28 dias, verifica-se que as amostras que continham cinza de eucalipto obtiveram resistência à compressão igual a amostra de referência (T0) o que reforça a possibilidade de uso de substituições que podem variar de 15% a 50%. Deve-se também analisar em futuros trabalhos, questões como a durabilidade e resistência aos agentes agressivos, por conta da maior permeabilidade desta amostra.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília, 2002. Disponível em: www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf. Acesso em: 07 de jan de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília, 2005. Disponível em: www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf. Acesso em: 09 de jan de 2021.

ALVES, B. P. **Avaliação de casos de retração em argamassas de revestimento devido ao uso de “cal líquida”**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 1585 – 20**: Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes. Philadelphia, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 642 – 13**: Standard Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. Philadelphia, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 7348 – 13**: Standard Test Method for Methods for Loss on Ignition (LOI) OF Solid Combustion Residues. Philadelphia, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos 2020**. São Paulo, 2020. Disponível em: www.abrelpe.org.br/panorama-2020. Acesso em 24 de jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 12653**: Materiais Pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 11768-1**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto - Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 16605:**
Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 16697:**
Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 13276:**
Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 13280:**
Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 13278:**
Argamassas e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 7175:** Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 7215:**
Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 9935:**
Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 9939:**
Agregado – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR NM 30:**
Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR NM 45:**
Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR NM 46:**
Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR NM 52:**
Agregado Miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE FABRICANTES DE ARGAMASSAS E ETICS – APFAC. **O que fazemos**. 2020. Disponível em: <http://www.apfac.pt/o-que-faz/>. Acesso em: 22 jan. 2021.

ATAIE, F. F.; RIDING, K. A. Influence of agricultural residue ash on early cement hydration and chemical admixtures adsorption. **Construction and Building Materials**, v. 106, p. 274–181, 15 dez. 2016.

AYOBAMI, A. B. Performance of wood bottom ash in cement-based applications and comparison with other selected ashes: Overview. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 166, p. 112–135, 05 mar. 2021.

BARROS, F. S. **Efeito da substituição do cimento Portland por cinza de casca de arroz e cal nas propriedades de tijolos ecológicos**. Dissertação, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2016.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**: Livros técnicos e científicos. 6ª edição, volume 1, Editora LTC, São Paulo, 2019.

BEARE, H. **Creating the future school**. Routledge, 2013.

BEISER, V. **The world in a grain: the story of sand and how it transformed civilization**. Riverhead Books, 2019.

BEDOYA, M. A; TOBÓN, J. I. Incidence of recycled aggregates and ternary cements on the compressive strength and durability of ecological mortars. **Case Studies in Construction Materials**, v. 17, p. e01192, 11 dez. 2022.

BONFIM, W. B.; MARTINS DE PAULA, H. Characterization Of Different Biomass Ashes As Supplementary Cementitious Material To Produce Coating Mortar. **Journal of Cleaner Production**, p. 125869, 8 jan. 2021.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 3 out. 2010. Seção 1, p. 12.

BRASIL. Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Seção 1, p. 1.

CANOVA, J. A.; MIOTTO, J. L.; MORI, L. M. Avaliação de argamassa mista de revestimento com substituição da areia natural por cinza de bagaço de cana-de-açúcar. **Ciência & Engenharia** v. 24, p. 125–134, 10 jan. 2015.

CELIK, F; CANAKCI, H. An investigation of rheological properties of cement-based grout mixed with rice husk ash (RHA). **Construction and Building Materials**, v. 30, p. 187–194, 16 mai. 2015.

COMPANHIA DE CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS – CCDM. **Perda ao Fogo**. 2020. Disponível em: www.ccdm.ufscar.br/ensaios-tecnologicos-em-materiais/ceramicas-ensaio-tecnologico/materia-prima-ceramica/perda-ao-fogo/. Acesso em: 09 de fev. 2021

CUENCA, J.; RODRÍGUEZ, J.; MARTÍN – MORALES, M.; ROLDÁN, S.; ZAMORANO, M. Effects of olive residue biomass fly ash as filler in self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 702–709, 1 mar. 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional 2014**: Ano base 2013. Rio De Janeiro: EPE, 2014. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2014>. Acesso em: 07 de jan 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional 2021**: Ano base 2020. Rio De Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 20 de jun 2021.

FARINHA, C. B.; BRITO, J.; VEIGA, M. R. Influence of forest biomass bottom ashes on the fresh, water and mechanical behavior of cement-based mortars. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 149, p. 750-759, 1 out. 2019.

FERRARO, R. M.; NANNI, A. Effect of off-white rice husk ash on strength, porosity, conductivity and corrosion resistance of white concrete. **Construction and Building Materials**, v. 31, p. 220–225, 25 jan. 2012.

FRANCA, D. F. S.; REY, R. O.; FERREIRA, L. R. C.; RIBEIRO, D. V. Avaliação da reologia, da RAA e das propriedades de argamassas no estado fresco utilizando cinza de eucalipto como substituição parcial ao cimento Portland. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 153-166, setembro, 2016.

GIL, M. V.; CASAL, M. D.; PEVIDA, C.; PIS, J. J.; RUBIERA, F. Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends. **Biosource Technology**, v. 101, p. 8859–8867, 5 jul. 2010.

HENNE, R. M.; BRAND, M. A.; SCHVEITZER, B.; SCHEIN, V. A. S. Thermal behavior of forest biomass wastes produced during combustion in a boiler system. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 43, n.1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-90882019000100008>.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a waste: a global review of solid waste management**. 2012.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. Brasília, 2020. Disponível em: www.ipea.gov.br/cts/pt/. Acesso em: 28 de jan de 2021.

KIM, H. K.; LEE, H. K. Use of power plant bottom ash as fine and coarse aggregates in high-strength concrete. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 1115–1122, 20 jul. 2011.

KOEHNKEN, L.; RINTOUL, M. Impacts of sand mining on ecosystem structure,

process and biodiversity in rivers. **World Wildlife Fund International**, 2018.

KHAWAJA, S. A.; JAVED, U.; ZAFAR, M. S.; KHAN, M. K. Eco-friendly incorporation of sugarcane bagasse ash as partial replacement of sand in foam concrete. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 4, p. 100–164, 8 jun. 2021.

LAL, D.; CHATTERJEE, A.; DWIVEDI, A. Investigation of properties of cement mortar incorporating pond ash – An environmental sustainable material. **Construction and Building Materials**, v. 209, p. 20–31, 10 jun. 2019.

LIMA, F. P. C. **Cinzas pozolânicas da folha de milho: avaliação da produção, hidratação em pastas cimentícias e resistência a compressão e durabilidade em argamassas**. Dissertação, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.

MACIEL, M. H.; SORAES, G. S.; ROMANO, R. C. O.; CINCOTTO, M. A. Monitoring of Portland cement chemical reaction and quantification of the hydrated products by XRD and TG in function of the stoppage hydration technique. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 136, p. 1269 – 1284, 17 set. 2018.

MC – BAUCHEMIE. **Muraplast FK 420**. 2020. Disponível em: www.mc-bauchemie.com.br. Acessado em: 22 dez. 2020.

MEDINA, J. M.; BOSQUE, I. F. S.; FRÍAS, M.; ROJAS, M. I. S.; MEDINA, C. Characterisation and valorisation of biomass waste as a possible addition in eco-cement design. **Materials and Structures**, v. 50, p. 148–158, 18 ago. 2017.

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

MELO, F. C. A. C. **Análise de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinza residual de lenha de algaroba**. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, RN, 2012.

MEMON, S. A.; JAVED, U.; KHUSHNOOD, R. A. Eco-Friendly utilization of corncob ash as partial replacement of sand in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 195, p. 165–177, 20 jan. 2019.

MOBILI, A.; BELL, A.; GIOSUÈ, C.; BELLEZZE, T.; TITTARELLI, F. Metakaolin and fly ash alkali-activated mortars compared with cementitious mortars at the same strength class. **Construction and Building Materials**, v. 88, p. 198 – 210, 21 jul. 2016.

MURUGESAN, T.; VIDJEAPRIYA, R.; BAHURUDEEN, A. Sugarcane Bagasse Ash-Blended Concrete for Effective Resource Utilization Between Sugar and Construction Industries. **Sugar Tech**, v. 22, p. 858–869, 14 jan. 2020.

O' HOSPITAL, E.; LOTHENBACH, B.; KULIK, D. A.; SCRIVENER, K. Influence of calcium to silica ratio on aluminium uptake in calcium silicate hydrate. **Cement and**

Concrete Research, v. 85, p. 111–121, 26 abr. 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **População mundial deve ter mais de 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos**. Disponível em: <http://www.news.un.org/pt/tags/populacao-mundial/date/2019>. Acesso em: 07 de jul de 2021.

RAEIS SAMIEI, R. *et al.* Properties of cement-lime mortars vs. cement mortars containing recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 84, p. 84–94, 1 jun. 2015.

RAMOS, T.; MATOS, A. M.; COUTINHO, J. S. Mortar with wood waste ash: Mechanical strength carbonation resistance and ASR expansion. **Construction and Building Materials**, v. 49, p. 343–351, 19 set. 2013.

REVISTA AREIA E BRITA. **Areia de brita para construção. Evolução de processos e mudanças estruturais nos grandes centros urbanos favorecem utilização do produto para o mercado**. Ano 22, Edição 73, 2019. Disponível em: <https://www.anepac.org.br/publicacoes/revista-areia-e-brita>. Acessado em: 12 nov. 2020.

RISSANEN, J.; GIOSUÈ, C.; OHENOJA, H.; KINNUNEN, P. The effect of peat and wood fly ash on the porosity of mortar. **Construction and Building Materials**, v. 223, p. 421–430, 30 out. 2019.

SALES, A.; LIMA, S. A. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. **Waste Management**, v. 30, p. 1114–1122, 18 fev. 2010.

SALES, C. A. V. B., ANDRADE, R. V.; LORA, E. E. S. **Geração de eletricidade a partir da gaseificação de biomassa**. Universidade Federal de Itajubá, MG, 2006.

SAMADI, M.; HUSEIEN, G. F.; LIM, N. H. A. S.; MOHAMMADHOSSEINI, H.; ALYOUSEF, R.; MIRZA, J.; RAHMAN, A. B. A. Enhanced performance of nano-palm oil ash-based green mortar againsts sulphate environment. **Journal of Building Engineering**, v. 32, p. 210–221, 11 jul. 2020.

SANDE, V. T.; SADIQUE, M.; PINEDA, P.; BRAS, A.; ATHERTON, W.; RILEY, M. Potential use of sugar cane bagasse ash as sand replacement for durable concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 39, p. 140–151, 19 fev. 2021.

SCHANDL, H.; FISCHER-KOWALSKI, M.; WEST, J.; GILJUM, S.; DITTRICH, N.; EISENMENGER, N. Global material flows and resource productivity: assessment report for the UNEP international resource panel. **United Nations Environment Programme: Paris, France**, 2016.

SILVA, L. H. P.; TAMASHIRO, R.; PAIVA, F. F. G.; SANTOS, L. F.; TEIXEIRA, S. R.; KINOSHITA, A.; ANTUNES, P. A. Bamboo leaf ash for use as mineral addition with portland cement. **Journal of Building Engineering**, v. 42, p. 200–311, 28 mai. 2021.

SILVA, S. P.; AKASAKI, J. L.; SANCHES, A. O. **Reaproveitamento do resíduo da madeira de eucalipto (RME) para a produção de energia sustentável**. ANAP Brasil. Volume 13, nº28, 2020.

SUZANO. **Sustentabilidade**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.suzano.com.br/sustentabilidade/meio-ambiente>. Acessado em: 10 mar. 2021.

TASHIMA, M. M.; FIORITI, C. F.; AKAZAKI, J. L.; BERNABEU, J. P.; SOUSA, L. C.; MELGES, J. L. P. Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozzolânica. **Ambiente Construído.**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 151-163, 2012.

TASHIMA, M. M.; SORIANO, L.; MONZÓ, J.; BORRACHERO, M. V.; AKASAKI, J. L.; PAYÁ, J. New method to assess the pozzolanic reactivity of mineral admixtures by means of pH and electrical conductivity measurements in lime: pozzolan suspensions. **Materiales de Construcción.**, v. 64, n. 316, p. e032, 2014.

TEIXEIRA, E. R.; MATEUS, R.; CAMÕES, A.; BRANCO, F. G. Quality and durability properties and life-cycle assessment of high volume biomass fly ash mortar. **Construction and Building Materials**, v. 197, p. 195–207, 10 fev. 2019.

TEIXEIRA, E. R.; CAMÕES, A.; BRANCO, F. G.; AGUIAR, J. B.; FIGUEIRO, R. Recycling of biomass coal fly ash as cement replacement material and its effect on hydration and carbonation of concrete. **Waste Management**, v. 94, p. 39 – 48, 30 mai. 2019.

THE WORD BANK. **What a Waste 2.0**. 2018. Disponível em: www.datatopics.worldbank.org/what-a-waste/. Acessado em 28 jan. 2021.

THOMAS, A. S.; YANG, J.; MO, K. H.; ABDALA, J. A.; HAWILEH, R. A.; ERANDI ARIYACHANDRA, E. Biomass ashes from agricultural wastes as supplementary cementitious materials or aggregate replacement in cement/geopolymer concrete: A comprehensive review. **Journal of Building Engineering**, v. 40, p. 102–124, 25 ago. 2021.