



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE BIOMASSA DE PALMA EM ARGAMASSAS ESTABILIZADAS

AGUIDA CAMILLE GONÇALVES CARVALHO

**Belém – PA
Novembro/2025**

AGUIDA CAMILLE GONÇALVES CARVALHO

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE BIOMASSA DE
PALMA EM ARGAMASSAS ESTABILIZADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientadora: Prof.^a Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro

**Belém - PA
Novembro/2025**

AGUIDA CAMILLE GONÇALVES CARVALHO

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE BIOMASSA DE PALMA EM ARGAMASSAS ESTABILIZADAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Examinadores:

Professora Dr (a). Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro
Universidade Federal do Pará | UFPA
Orientadora

Professora Dr (a). Mariana Domingues Von Paumgarten
Universidade Federal do Pará | UFPA
Membro da banca

Professora Dr (a). Taiza Naiana da Silva Ferreira
Universidade Federal do Pará | UFPA
Membro da banca

**Belém - PA
Novembro/2025**

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por seu amor infinito, por sua proteção constante, por cada cuidado e por todas as graças que me sustentaram até aqui. Sem sua presença, força e misericórdia, nada disso seria possível.

À minha amada Mãe Santíssima, Virgem Maria, minha intercessora fiel, agradeço por cada oração atendida, por cada momento em que senti seu manto me amparar e me conduzir. Tenho plena certeza de que, sem a sua intercessão junto a Deus Pai, eu jamais teria chegado ao fim desta caminhada.

Com todo o amor e admiração, agradeço à minha mãe, Nágila Gonçalves, pelo dom da vida, pela criação repleta de valores e por sempre me incentivar a voar com asas próprias. Seu amor é o meu lar, sua força é o meu exemplo e suas orações foram o alicerce que me manteve firme nos dias mais difíceis. Se hoje conquisto este sonho, é porque a senhora acreditou em mim — mesmo quando eu duvidava. Tudo o que sou e tudo o que ainda serei, devo à senhora.

Às minhas irmãs, Ádria Gonçalves e Agnis Gonçalves, agradeço o apoio e incentivo constante. Mesmo sem perceberem, foram e são o combustível que impulsiona minha jornada. Em cada conquista minha, há um pedacinho de vocês.

À minha sobrinha, Maria Laura, minha luz e inspiração diária, agradeço por me ensinar, com sua doçura e pureza, que tudo é possível quando olhamos o mundo com amor e esperança. É por você que busco ser uma pessoa e uma profissional melhor a cada dia.

Ao meu pai, Milton Carvalho, agradeço por sua presença, mesmo à distância, por suas palavras cheias de orgulho e por ser exemplo de coragem, esforço e dedicação. Sua trajetória me inspira a seguir em frente com determinação e honra.

Aos meus avós, tias e tios, deixo meu carinho e gratidão por acreditarem em mim, por cada palavra de incentivo e por cada oração enviada com tanto amor. As boas energias de vocês foram essenciais nesta caminhada.

Agradeço também à empresa Bureau Veritas, por me proporcionar a oportunidade de crescimento pessoal e profissional. Em especial, ao meu supervisor, Desaix Silva, que

foi mais do que um chefe — foi um verdadeiro mentor, um incentivador incansável e um exemplo de ética e profissionalismo que levarei para toda a vida. A todos os profissionais que conheci no DNIT, agradeço pelas experiências, aprendizados e por cada exemplo de dedicação e excelência que me inspiraram ao longo do caminho.

Aos meus amigos de infância, em especial à Adria Emanuelle, à Vivia Ramos e ao Paulo Gustavo, registro minha sincera gratidão pelos anos de amizade, lealdade e confiança. Agradeço pelos inúmeros momentos compartilhados, pelas conversas sinceras, pelas risadas e pela compreensão presente até nos silêncios. Cada um de vocês contribuiu de forma singular para a pessoa que me tornei, sendo parte essencial da minha trajetória.

À minha querida amiga de ensino médio, técnico e faculdade, Nayra Della Rovere, agradeço por todos os anos de convivência e cumplicidade. Sua amizade foi e continua sendo um exemplo de amor, lealdade e parceria verdadeira — laços que pretendo carregar comigo por toda a vida.

Aos meus amigos de faculdade, em especial à nossa querida “Panelinha” da turma da manhã — André Risuenho, Autiele Junior, Cauê Carvalho, Gabriela Freire, João Henrique, Matheus Dantas, Mel Dantas e Nayra Della Rovere — deixo minha mais sincera gratidão por cada momento vivido, por cada gesto de apoio, por cada risada em meio ao cansaço e por toda a força compartilhada nessa desafiadora, mas linda, jornada que é cursar Engenharia Civil.

Ao meu amigo Breno, agradeço imensamente por cada palavra de incentivo, por toda a ajuda ao longo dessa caminhada e por ter feito tanto por mim, sempre com generosidade, paciência e amizade sincera.

Por fim, agradeço a todos os amigos e colegas de faculdade que, de alguma forma, contribuíram para que esta jornada fosse mais leve e significativa. Ao corpo docente, registro minha gratidão e admiração, especialmente à minha orientadora, cuja dedicação, paciência e profissionalismo foram essenciais para que este sonho se tornasse realidade.

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE BIOMASSA DE PALMA EM ARGAMASSAS ESTABILIZADAS

Assessment of the technical feasibility of using palm biomass in stabilized mortars

Aguida Camille Gonçalves Carvalho (1)

(1) Graduanda em engenharia civil, UFPA, Belém, Brasil

RESUMO

A incorporação de resíduos agroindustriais em materiais cimentícios tem sido estudada como alternativa sustentável na construção civil. Este trabalho investigou a avaliação da viabilidade técnica do uso de biomassa de palma em argamassas estabilizadas, especificamente, buscando avaliar o efeito da incorporação da biomassa nas características das argamassas nos estados fresco e endurecido, bem como analisar o comportamento do resíduo no processo de estabilização para definição dos tempos de uso. Foram investigadas argamassas com diferentes teores de substituição de cinza de biomassa de palma (0%, 5% e 10%) e tempos de estabilização (0h, 12h, 24h e 36h). Os resultados indicam que a cinza agroindustrial altera o comportamento da argamassa ao longo do tempo, contudo ao estudar essa cinza em termos mecânicos os resultados não foram satisfatórios.

Palavras-chave: Argamassa estabilizada; Cinza agroindustrial; Viabilidade técnica; Estado fresco; Estado endurecido.

ABSTRACT

The incorporation of agroindustrial waste into cementitious materials has been studied as a sustainable alternative in civil construction. This study investigated the technical feasibility of using palm biomass in stabilized mortars. Specifically, it sought to evaluate the effect of biomass incorporation on the characteristics of the mortars in the fresh and hardened states, as well as to analyze the behavior of the waste during the stabilization process to define the use times. Mortars with different palm biomass ash replacement levels (0%, 5%, and 10%) and stabilization times (0 h, 12 h, 24 h, and 36 h) were investigated. The results indicate that agroindustrial ash alters the behavior of the mortar over time; however, when studying this ash from a mechanical perspective, the results were unsatisfactory.

Keywords: Stabilized mortar; agroindustrial ash; Technical feasibility; Fresh state; Hardened state.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Cinza recebida em condições tratada	13
Figura 2- Curva granulométrica do agregado miúdo	15
Figura 3 – (A) Execução da argamassa estabilizada, (B)Traço 0 (Referência) – Sem Cinza (0%), (C) Traço 01 – Com Cinza (5%), (D) Traço 02 – Com Cinza (10%), (E) preparo da argamassa estabilizada	17
Figura 4- Comparação dos ICs	18
Figura 5- Resultado das densidades da argamassa	19
Figura 6- Comparativo do teor de ar incorporado.....	21
Figura 7- teor de ar incorporado e densidade	22
Figura 8- Comparativo da densidade no estado endurecido.....	23
Figura 9- Comparativo da absorção de água por capilaridade.....	24
Figura 10- Comparativo Densidade e Absorção de água por capilaridade	26
Figura 11- Comparativo de tração na flexão	28

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Dados técnicos dos aditivos	14
Tabela 2: Caracterização física da areia natural	14
Tabela 3: Consumo de material	16
Tabela 4 - Características reológicas das argamassas	19
Tabela 5- Quadro geral Densidade e Absorção de água por capilaridade	26
Tabela 6- Quadro geral de Tração na flexão	28
Tabela 7- Valores médio, desvio padrão e coeficiente de variação das densidades das argamassas estabilizadas	43
Tabela 8- Resultado do Teor de ar incorporado na argamassa - Traço 0 (Referência)	44
Tabela 9 - Resultado do Teor de ar incorporado na argamassa - Traço 01 – Com cinza (5%)	45
Tabela 10- Resultado do Teor de ar incorporado na argamassa - Traço 02 – Com cinza (10%)	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	METODOLOGIA.....	12
2.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	13
2.1.1	CINZA DA BIOMASSA DA PALMA (CBP)	13
2.1.2	CIMENTO PORTLAND, ADITIVOS E ÁGUA	14
2.1.3	AGREGADOS	14
2.2	DOSAGEM E PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS DE REVESTIMENTOS.....	15
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
3.1	PROPRIEDADES DA ARGAMASSA (ESTADO FRESCO)	17
3.1.1	DENSIDADE E TEOR DE AR INCORPORADO	19
3.2	PROPRIEDADES DA ARGAMASSA (ESTADO ENDURECIDO).....	23
3.2.1	DENSIDADE E ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	23
3.2.2	TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO	27
4	CONCLUSÃO.....	29
5	REFERÊNCIAS.....	30
6	ANEXOS	43

1 INTRODUÇÃO

As argamassas estabilizadas são uma alternativa cada vez mais utilizada na construção civil devido à sua praticidade e eficiência, diferentes das argamassas convencionais, as argamassas estabilizadas são entregues prontas para uso, permitindo sua aplicação ao longo de um período prolongado, geralmente entre 24 e 72 horas (MARCONDES, 2017).

Seu desenvolvimento foi baseado, em grande parte, em metodologias empíricas adotadas pelos fabricantes, e a literatura científica ainda é escassa quanto à sua caracterização detalhada. (BARRA; SEDRANSK; WANG, 2019; PERROT; ROSSIGNOL, 2018). Dessa forma, estudos que buscam compreender melhor o comportamento reológico dessas argamassas são fundamentais para garantir um desempenho mais previsível e controlado em campo (SHEN; ZHOU; ZHAO, 2025; KALAGARA; ARYA; REDDY, 2021). Por sua praticidade e eficiência, as argamassas estabilizadas são uma alternativa cada vez mais utilizada na construção civil (BASTOS, 2001).

Um dos desafios de utilização desse tipo de argamassa está relacionado à manutenção de suas propriedades ao longo do tempo de estabilização, pois fatores como consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado podem sofrer variações que prejudicam seu desempenho final (CARASEK, 2010). Segundo Silva et al. (2020), a variação na incorporação de ar ao longo do tempo pode impactar diretamente na resistência mecânica do material, tornando essencial o controle específico das configurações reológicas.

A estabilização das argamassas ocorre por meio da adição de compostos químicos que retardam o início da hidratação do cimento e melhoram a retenção de água na mistura (LIU et al., 2020; SHEN; ZHOU; ZHAO, 2025). Esses aditivos controlam a taxa de ocorrência química dos componentes cimentícios e modificam a estrutura interna da argamassa, influenciando diretamente sua trabalhabilidade (LIU et al., 2020; SHEN; ZHOU; ZHAO, 2025). Além disso, a formulação de argamassas estabilizadas pode ser otimizada com a incorporação de materiais alternativos que contribuem para a melhoria de suas propriedades reológicas, promovendo um uso mais eficiente dos recursos naturais e redução do impacto ambiental da construção civil (RYDOCK, 2006).

Muitos resíduos da agroindústria têm sido estudados, entre eles o resíduo proveniente da produção do óleo de palma, popularmente conhecido no Brasil como óleo de dendê (MOHAMAD; AZIZ; RASHID, 2023; SALIM; RAHMAN, 2021). Segundo o Foreign Agriculture Service do United States Department of Agriculture - USDA (2016), os países que mais produzem óleo de palma estão localizados no continente asiático, sendo que a Indonésia, Malásia e Tailândia são responsáveis por 87% da produção.

No Brasil, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), o estado do Pará é o maior produtor de óleo de palma com uma quantidade produzida de aproximadamente 1 milhão e seiscentas toneladas na safra de 2017, sendo os municípios de Tailândia e Concórdia do Pará os maiores produtores do estado. Além disso, a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira impulsionou o uso de óleo vegetal (biodiesel) como fonte alternativa de energia, criando uma tendência de expansão da produção e consequentemente no aumento da geração de resíduos (Brasil, 2018).

No processo de geração de vapor para extração de óleo dos frutos, os resíduos da palma são utilizados nas caldeiras alimentadas à biomassa, gerando uma quantidade considerável de cinza, que caso não seja aproveitada corretamente, pode se transformar em um problema ambiental. Estima-se que em uma usina de processamento anual de 30.000 toneladas de cachos, sejam geradas 3.600 toneladas de fibras de mesocarpo, ao qual a queima resultará em aproximadamente 144 toneladas de cinza (Furlan, 2006).

Nesse contexto, este estudo tem por objetivo avaliar o efeito da adição de cinza agroindustrial derivada da biomassa de palma (Dendê) nas propriedades das argamassas estabilizadas, especificamente, buscando avaliar o efeito da incorporação da biomassa nas características das argamassas nos estados fresco e endurecido, bem como analisar o comportamento do resíduo no processo de estabilização nos tempos de 0 horas, 12 horas, 24 horas e 36 horas de estabilização das argamassas estabilizadas.

Para a avaliação das propriedades da argamassa em função da adição de cinza foram divididos em três parâmetros principais: índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado no estado fresco, e densidade, absorção de água, tração na

flexão e compressão, no estado endurecido. A cinza agroindustrial tem sido cada vez mais estudada na engenharia civil como um material de potencial aproveitamento, apresentando características que podem influenciar a reologia da mistura, a retenção de água e a durabilidade do material. Sua incorporação à argamassa estabilizada pode contribuir para o aprimoramento da trabalhabilidade e para o controle das propriedades ao longo do período de estabilização, além de representar uma alternativa sustentável para o reaproveitamento de resíduos industriais.

2 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida neste trabalho é de caráter laboratorial com o desenvolvimento de um projeto de experimentos para análises quantitativas de desempenho (Koche, 2011). O projeto de experimentos é uma metodologia que visa otimizar o planejamento, execução e análise de um experimento, seu uso permite que seja estruturado a sequência de ensaios para atingir os objetivos propostos (Ribeiro et al., 2000).

De forma a entender o comportamento das argamassas estabilizadas produzidas com a substituição parcial de cimento por cinzas residuais (5% e 10 %) originadas da queima da biomassa da palma. Foi desenvolvido um projeto de experimentos que buscou caracterizar inicialmente este resíduo para identificar suas características individuais, bem como avaliar o efeito da incorporação de biomassa de palma nas características das argamassas no estado fresco; avaliar o efeito da incorporação de biomassa de palma nas características das argamassas no estado endurecido; avaliar o resíduo no processo de estabilização.

Para execução do programa experimental definiu-se as seguintes variáveis de controle:

- Teor de substituição (em relação a massa do cimento): 5% e 10%. Tais teores foram utilizados devido a estes serem de uso comum ao estudo de cinzas agroindustriais;
- Tempos de estabilização: 0 horas, 12 horas, 24 horas e 36 horas. As horas foram estabelecidas devido logísticas controláveis de ensaios.

Para análise do comportamento da argamassa estabilizada adotou-se como variáveis de resposta os seguintes ensaios:

- Determinação do índice de consistência - NBR 13276 (ABNT, 2016);
- Densidade de massa no estado fresco - NBR 13278 (ABNT, 2005);
- Teor de ar incorporado - NBR 13278 (ABNT, 2005);
- Densidade no Estado endurecido- NBR 13280 (ABNT, 2005);
- Absorção de água por capilaridade- NBR 15259(ABNT, 2005);
- Ensaio de Tração na Flexão e à compressão (28 Dias) - NBR 13279 (ABNT, 2005).

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

2.1.1 CINZA DA BIOMASSA DA PALMA (CBP)

A cinza utilizada é oriunda da queima em caldeira dos resíduos, composta pela fibra do mesocarpo, endocarpo e cachos vazios do beneficiamento da palma, fornecida pela empresa Dendê do Tauá, localizada no Município de Concórdia do Pará/PA. A empresa Dendê do Tauá se dedica ao processamento industrial da extração, refino e produção de gorduras de palma para o mercado nacional. A cinza foi recebida em condições tratada (Figura 1), em seguida o material passou por um processo de queima controlada a uma temperatura de 600°C por 2 horas em forno mufla, seguindo os procedimentos recomendados pela NBR 16372 (ABNT, 2015).

Após a calcinação, a cinza foi resfriada em ambiente controlado e submetida a moagem em moinho cerâmico de bolas por um período de 2 horas, conforme as diretrizes da NBR 15895 (ABNT, 2010), com o objetivo de reduzir sua granulometria e aumentar sua reatividade. A caracterização física do material incluiu a determinação da massa específica, obtida conforme a metodologia da NBR 16605 (ABNT, 2017), resultando em um valor de 1,02 g/cm³. Essas etapas garantiram a adequação da cinza agroindustrial para aplicação em compósitos cimentícios.

Figura 1 – Cinza recebida em condições tratada



Fonte: Autor, 2025

2.1.2 CIMENTO PORTLAND, ADITIVOS E ÁGUA

Cimento adotado atendeu a disponibilidade do comércio local que apresentava no período da pesquisa, foi do tipo Portland do tipo CP II-F- 32 (Cimento Portland Pozolânico tipo II), com resistência característica de 32 MPa, foi utilizado conforme a NBR 16697 (ABNT, 2018). Sua massa específica foi determinada em $2,92 \text{ g/cm}^3$, conforme NBR 16605 (ABNT, 2017).

Foram utilizados dois tipos de aditivos químicos, um aditivo incorporador de ar (AIA) e um aditivo estabilizador de hidratação (AEH), cujas características técnicas estão apresentadas na Tabela 2. A água potável utilizada no preparo das misturas atendeu aos requisitos estabelecidos pela NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

Tabela 1: Dados técnicos dos aditivos

Características	Aditivo incorporador de ar (AIA)	Aditivo estabilizador de hidratação (AEH)
Substância	Solução aquosa de tensoativos	Solução aquosa de tensoativos
Densidade	$1,02 \pm 0,02 \text{ kg/L}$	$1,17 \pm 0,02 \text{ kg/L}$
Dosagem	0,10%	1%
Cor	Avermelhado	Transparente

Fonte: Autor, 2025

2.1.3 AGREGADOS

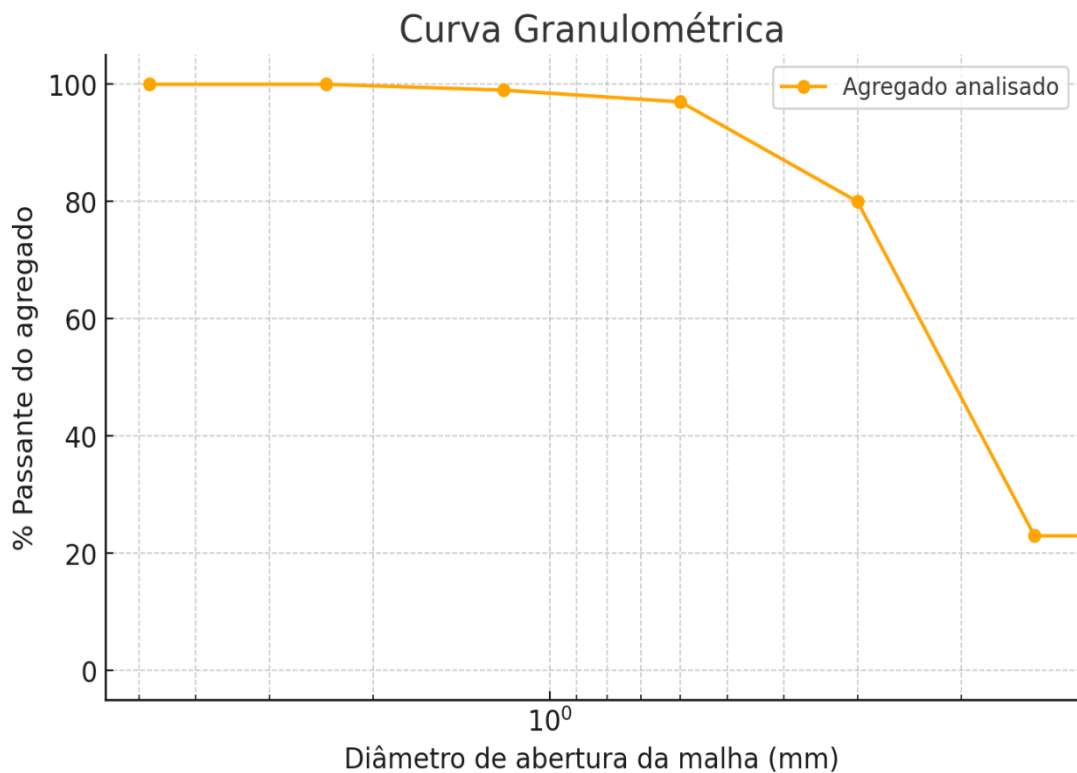
O agregado miúdo empregado foi uma areia natural oriunda de jazidas próximas a Belém/PA, classificada segundo a NBR 7211 (ABNT, 2022). Os resultados alcançados da areia incluem diâmetro máximo de 1,20 mm, módulo de finura de 1,01, massa unitária de $1,59 \text{ g/cm}^3$, massa específica de $2,63 \text{ g/cm}^3$ e índice de vazios de 39,23%. Os ensaios usados para caracterização encontram-se na tabela 2. A curva granulométrica do agregado miúdo encontra-se na figura 2.

Tabela 2: Caracterização física da areia natural

Materiais	Propriedade	Método de ensaio	Valor característico
Areia natural	Massa específica	NBR 16605 (ABNT, 2017)	2,63 g/cm ³
	Massa unitária	NBR 16972 (ABNT, 2021)	1,59 g/cm ³
	Índice de vazios	NBR 16972 (ABNT, 2021)	39,23%
	Diâmetro máximo característico	NBR 17054 (ABNT, 2022)	1,20 mm
	Módulo de finura	NBR 17054 (ABNT, 2022)	1,01

Fonte: Autor, 2025

Figura 2- Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autor, 2025

2.2 DOSAGEM E PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS DE REVESTIMENTOS

A produção dos corpos de prova das argamassas estabilizadas de revestimento foi realizada no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará. As misturas foram preparadas com teores de substituição de cinza agroindustrial, em massa, de 0%, 5% e 10%, e submetidas a tempos de estabilização de 0h, 12h, 24h e 36h. O traço base adotado foi 1:5 (cimento: areia), com relação água/cimento de 1,30 para Traço 0 (0% de cinza), 1,27 para Traço 01 (5% cinza) e 1,24 para o traço 02 (10% de cinza), além de ser utilizado nas misturas o aditivo incorporador de ar,

fixado em 0,10% em relação a massa do cimento e o aditivo estabilizador de hidratação, fixado em 1% em relação a massa do cimento, como mostra na tabela 2, Os teores foram baseados em estudos pilotos para o ajuste das misturas.

Tabela 3: Consumo de material

	Areia (g)	Cimento (g)	Cinza (g)	Água (ml)	Incorporador (ml)	Estabilizador (ml)
Referência	3600	720	0	945	0,72	7,20
Traço 1 (5 %)	3600	720	36	920	0,72	7,20
Traço 2 (10%)	3600	720	72	895	0,72	7,20

Fonte: Autor, 2025

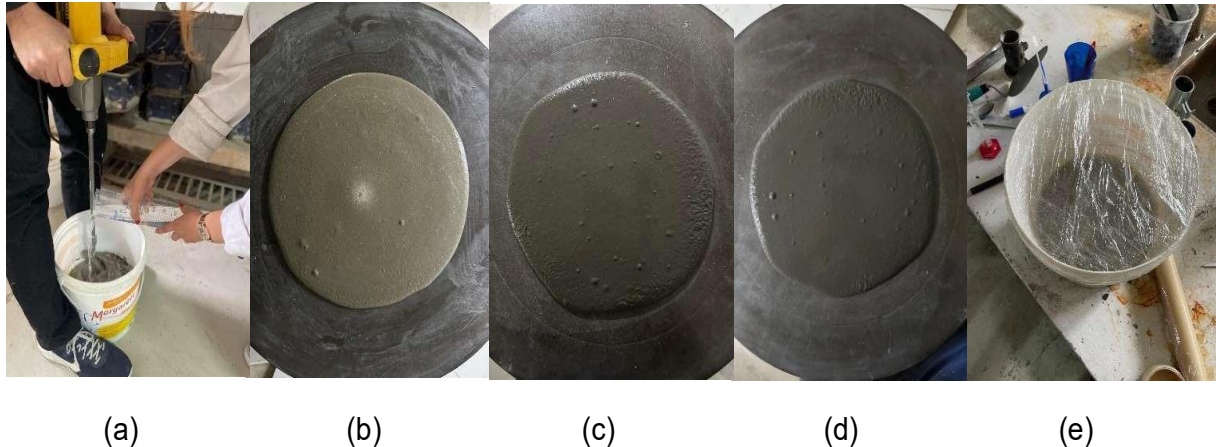
A homogeneização foi realizada em misturador mecânico conforme a NBR 13276 (ABNT, 2016). Após a mistura, as argamassas foram armazenadas em recipientes selados (Figura 1, item E) para evitar perda de umidade e mantidas sob condições ambientais controladas.

A colocação dos materiais no interior de um recipiente de medida conhecida (balde de 15 litros), obedeceu a uma determinada ordem em todos os traços. Primeiramente foi colocado a metade do agregado miúdo, depois toda a quantidade de aglomerante, e então adicionou-se a outra metade do agregado miúdo no interior do balde. Em seguida acionou-se o misturador mecânico durante 60s, na velocidade 1; depois adicionou-se 80% da quantidade de água da mistura, diluído com o aditivo incorporador de ar e o estabilizador de hidratação, pois era como o fabricante orientava, em seguida acionou-se o misturador durante 180s, na velocidade 1; parou-se para raspagem das laterais do misturador mecânico durante 60s; depois adicionou-se os 20% de restante da água. Após acionou-se o misturador novamente por 180s na velocidade 1.

Os ensaios foram repetidos para cada tempo de estabilização adotado no estudo (0h, 12h, 24h e 36h), permitindo uma análise detalhada dos efeitos da adição de cinza agroindustrial na reologia das argamassas ao longo do tempo. As misturas foram acondicionadas em baldes e vedados com plástico filme, fita e tampa. Essa repetição possibilitou uma avaliação mais precisa das variações nas propriedades da mistura, reduzindo possíveis inconsistências experimentais e permitiu identificar tendências de comportamento e a influência progressiva da cinza na estabilidade e trabalhabilidade da argamassa. Além disso, a cada tempo de estabilização foram

moldados 6 corpos de provas, sendo 3 prismáticos (1 de cada traço) e 3 cilíndricos (1 de cada traço) dos traços referência, traço 1 (5%) e traço 2 (10%).

Figura 3 – (A) Execução da argamassa estabilizada, (B) Traço 0 (Referência) – Sem Cinza (0%), (C) Traço 01 – Com Cinza (5%), (D) Traço 02 – Com Cinza (10%), (E) preparo da argamassa estabilizada



Fonte: Autor, 2025

A caracterização reológica das argamassas no estado fresco envolveu a realização de diferentes ensaios normatizados. A consistência foi avaliada por meio do ensaio de espalhamento (flow table test), conforme estabelecido na NBR 13276 (ABNT, 2016). A densidade de massa aparente no estado fresco foi medida de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 2005). Além disso, o teor de ar incorporado foi analisado conforme os procedimentos especificados na NBR 13279 (ABNT, 2005).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

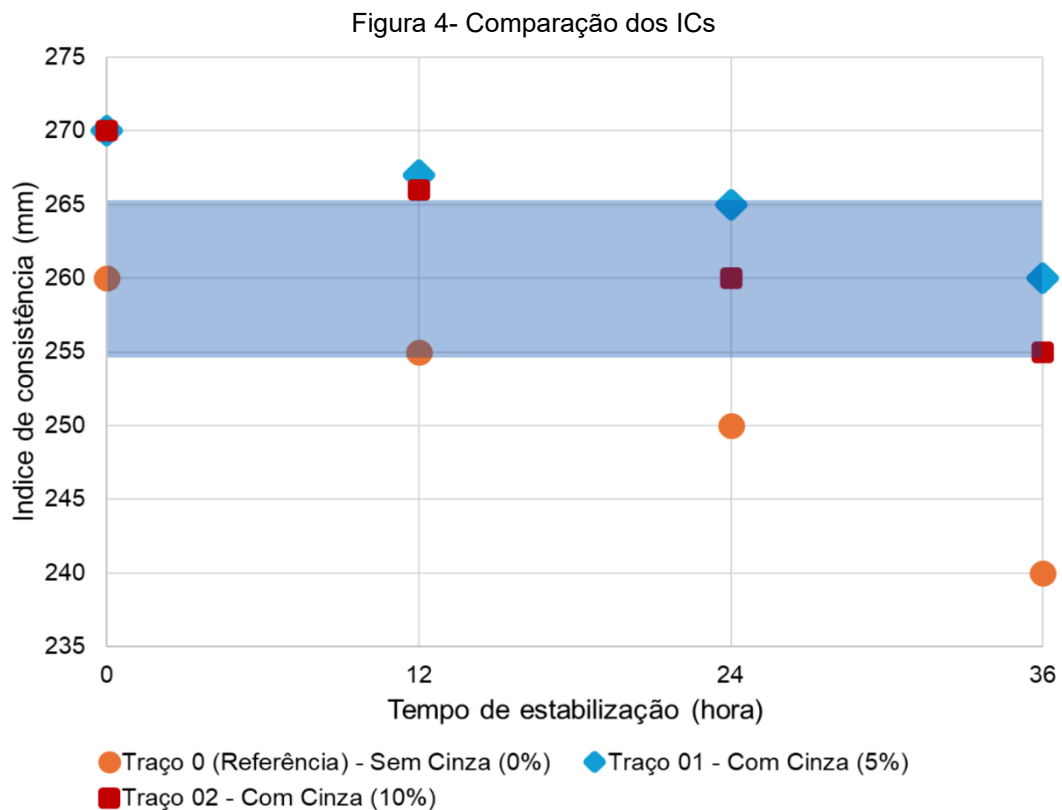
3.1 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA (ESTADO FRESCO)

O índice de consistência foi determinado conforme a norma NBR 13276 (ABNT, 2016) para ambos os traços nos tempos de 0h, 12h, 24h e 36h. O Traço 0 (referência) apresentou uma média inicial de 260,00 mm (conforme apresentado na tabela 4), reduzindo para 255,00 mm em 12 horas, 250,00 mm em 24 horas e 240,00 mm após 36 horas. Esse comportamento evidencia um endurecimento parcial da argamassa, característico do processo de hidratação do cimento, resultando na perda gradual de fluidez.

No traço 01 (com 5% de cinza), o índice de consistência inicial foi ligeiramente superior ao de referência, com um valor médio de 270,00 mm, que foi descrito na

Tabela 4 e comparado na figura 4, essa maior fluidez inicial pode ser atribuída à maior finura da cinza, que favorece a dispersão das partículas e reduz o atrito interno da mistura, ao longo do tempo, o IC se manteve estável, com 267,00 mm em 12 horas, 265,00 mm em 24 horas e 260,00 mm em 36 horas, indicando que, embora a cinza tenha um efeito inicial positivo na trabalhabilidade, não impede a perda parcial de fluidez.

No traço 02 (com 10% de cinza), o índice de consistência inicial foi ligeiramente superior ao de referência e igual do traço 1, com um valor médio de 270,00 mm, que foi descrito na Tabela 4 e comparado na figura 4, essa maior fluidez inicial pode ser atribuída à maior finura da cinza, que favorece a dispersão das partículas e reduz o atrito interno da mistura, ao longo do tempo, o IC se manteve estável, com 266,00 mm em 12 horas, 260,00 mm em 24 horas e 255,00 mm em 36 horas, indicando que, embora a cinza tenha um efeito inicial positivo na trabalhabilidade, não impede a perda parcial de fluidez.



Fonte: Autor, 2025

Do ponto de vista da coesão, ambos os traços permaneceram sem alterações significativas até as 36 horas. Com isso, pode-se observar que os traços com cinza

são os que mais mantiveram sua plasticidade dentre os intervalos estabelecidos pela norma NBR 13276 (ABNT, 2016) que estabelece o índice de consistência de 260 ± 5 , enquanto o traço 0 (referência) as 36 horas saiu do intervalo estabelecido, porém continuou plástica. Esse comportamento sugere que a cinza melhora a estabilidade da mistura, possivelmente devido à sua capacidade de retenção de água e interação com a matriz cimentícia.

Tabela 4 - Características reológicas das argamassas

	IC	Coesão	Plasticidade
Referência	Não Atendeu	Atendeu	Atendeu
Traço 1 (5 %)	Atendeu	Atendeu	Atendeu
Traço 2 (10%)	Atendeu	Atendeu	Atendeu

Fonte: Autor, 2025

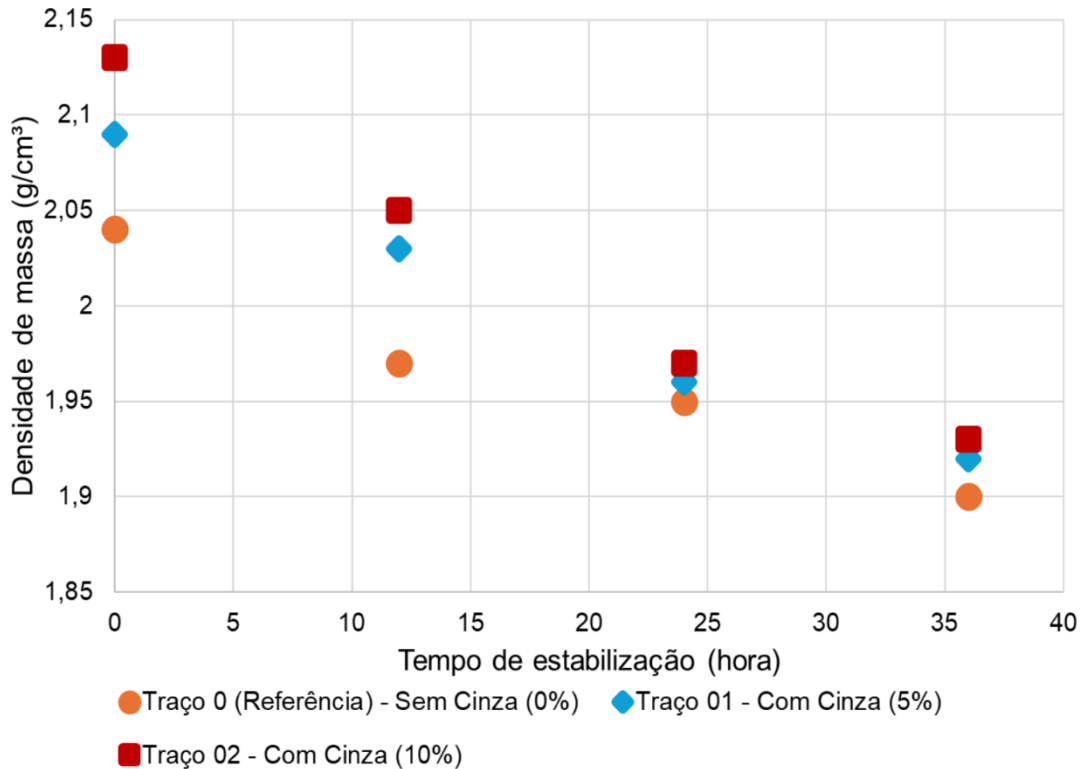
3.1.1 DENSIDADE E TEOR DE AR INCORPORADO

A densidade de massa da argamassa foi determinada de acordo com a norma NBR 13278 (ABNT, 2005) para ambos os traços nos tempos de 0h, 12h, 24h e 36h, foram apresentando na figura 5. No Traço 0, observa-se uma redução que ocorre possivelmente devido à perda de água por evaporação e ao avanço do processo de hidratação do cimento, levando à formação de uma estrutura mais compacta e densa.

No Traço 01, essa redução pode ocorrer devido à perda de água por evaporação e ao avanço do processo de hidratação do cimento, levando à formação de uma estrutura mais compacta e densa.

No Traço 2, a diferença inicial pode ser atribuída à maior compacidade conferida pela adição da cinza. A perda de densidade ao longo do tempo foi menos acentuada nesse traço, o que sugere um melhor controle da evaporação e uma interação mais eficiente da cinza com os demais componentes da mistura.

Figura 5- Resultado das densidades da argamassa



Fonte: Autor, 2025

Todas essas misturas pertencem à mesma classe de aplicação, sendo denominadas argamassas estabilizadas de revestimentos, em termos de aplicação (uso), as argamassas são da mesma classe (argamassas para revestimento, do tipo estabilizada). Em termos de formulação e desempenho, elas são misturas diferentes devido à variação no teor de CBP e nas relações água/cimento. As argamassas estabilizadas enquadram-se no escopo da NBR 13281-1 (ABNT, 2023). Para serem formalmente classificadas nas categorias exigidas pela norma (ARV-I, ARV-II, ARV-III ou AET), elas devem atender integralmente aos quatro requisitos classificatórios do estado endurecido, não fornecidos nesse estudo.

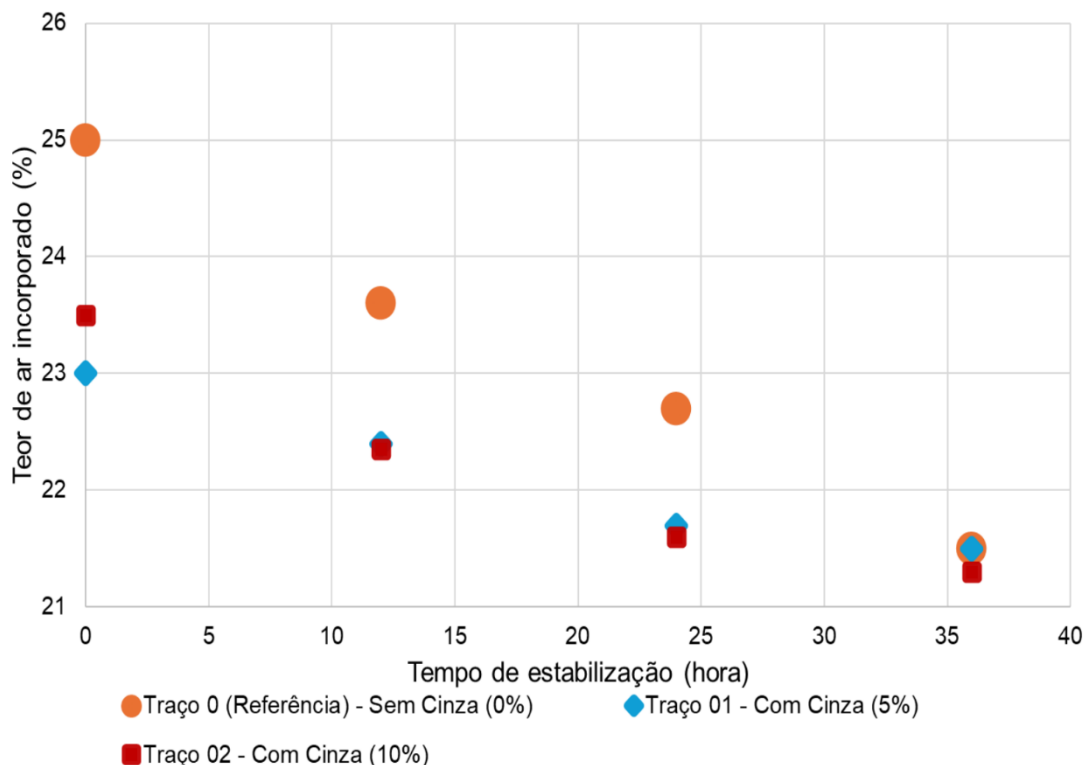
O teor de ar incorporado foi obtido a partir da diferença entre a densidade teórica da argamassa e a densidade real da mistura. No traço referência, a diminuição do teor de ar incorporado é justificada pela liberação gradual do ar contido na argamassa. Essa liberação de ar leva à sedimentação das partículas sólidas. Além disso, a redução da trabalhabilidade ao longo do tempo está frequentemente associada à perda (liberação) de ar incorporado. A interação entre os constituintes da mistura, especialmente o cimento e os aditivos incorporadores, influencia diretamente a estabilidade dessas bolhas de ar. Esse comportamento é crucial para a durabilidade

e resistência final da argamassa, uma vez que a presença de ar pode impactar tanto a densidade quanto a capacidade de absorção de água da mistura endurecida.

No Traço 01, a menor incorporação final de ar pode ser atribuída à presença da cinza, que reduz a tensão superficial da mistura, favorecendo um empacotamento mais eficiente das partículas. No entanto, a diminuição ao longo do tempo segue uma tendência similar ao Traço 0, indicando que a adição de cinza contribui para a diminuição da formação de poros com o tempo.

No Traço 02, a menor incorporação final de ar pode ser atribuída à presença da cinza, que reduz a tensão superficial da mistura, favorecendo um empacotamento mais eficiente das partículas. No entanto, a diminuição ao longo do tempo segue uma tendência similar ao Traço referência e 01, indicando que a adição de cinza contribui para a diminuição da formação de poros com o tempo (Gráfico 3).

Figura 6- Comparativo do teor de ar incorporado



Fonte: Autor, 2025

A menor incorporação inicial de ar nas misturas com CBP é justificada pela capacidade da cinza de reduzir a tensão superficial da mistura, promovendo um

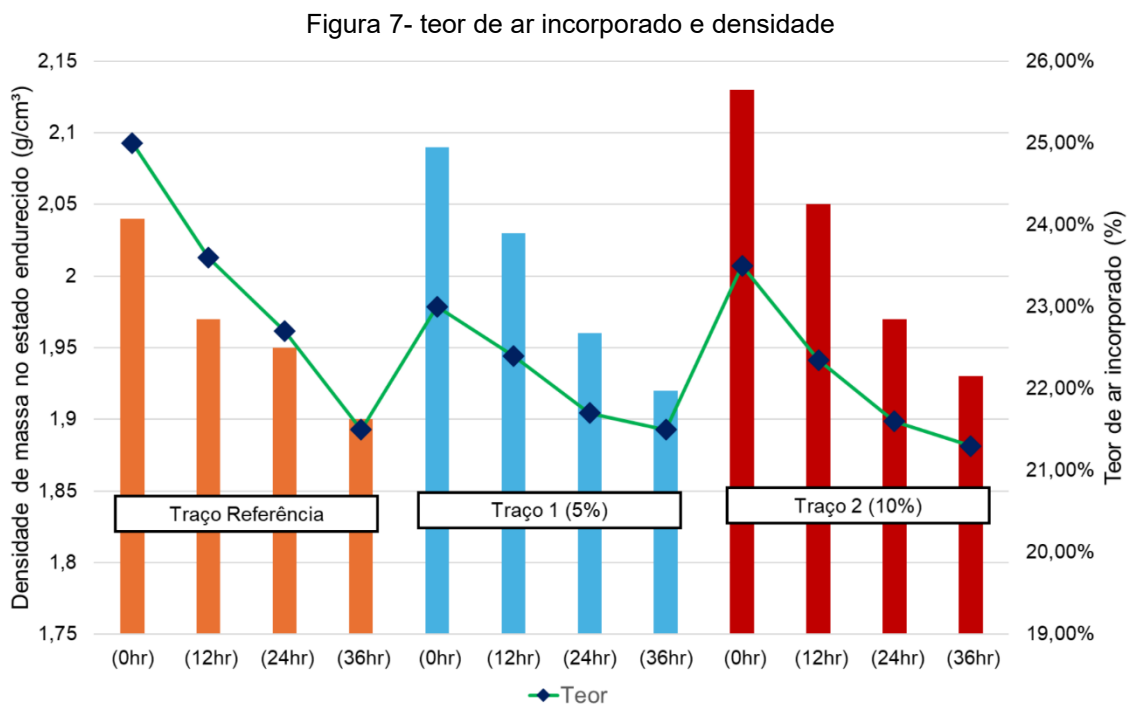
empacotamento mais eficiente das partículas sólidas. Ao longo do período de estabilização (0h a 36h), houve uma diminuição gradual do teor de ar incorporado em todos os traços, devido à liberação gradual do ar e à sedimentação das partículas sólidas. No entanto, a diminuição do ar nas misturas com cinza (CBP) seguiu uma tendência similar à do traço de referência, confirmando que a adição da cinza contribui para a diminuição da formação de poros com o tempo.

A análise conjunta da Densidade de Massa e do Teor de Ar Incorporado no estado fresco demonstra que a Cinza da Biomassa de Palma (CBP) atua como um material que otimiza a compacidade da argamassa estabilizada, resultando em:

1. Aumento da densidade inicial e maior estabilidade de massa aparente ao longo do tempo (especialmente no Traço 02, com 10% CBP).

2. Redução do teor de ar incorporado inicial, indicando um empacotamento de partículas mais eficiente.

Estes resultados são cruciais, uma vez que o controle do teor de ar é essencial para o desempenho da argamassa endurecida, influenciando diretamente a resistência mecânica e a durabilidade, especialmente a capacidade de absorção de água.



Fonte: Autor, 2025

3.2 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA (ESTADO ENDURECIDO)

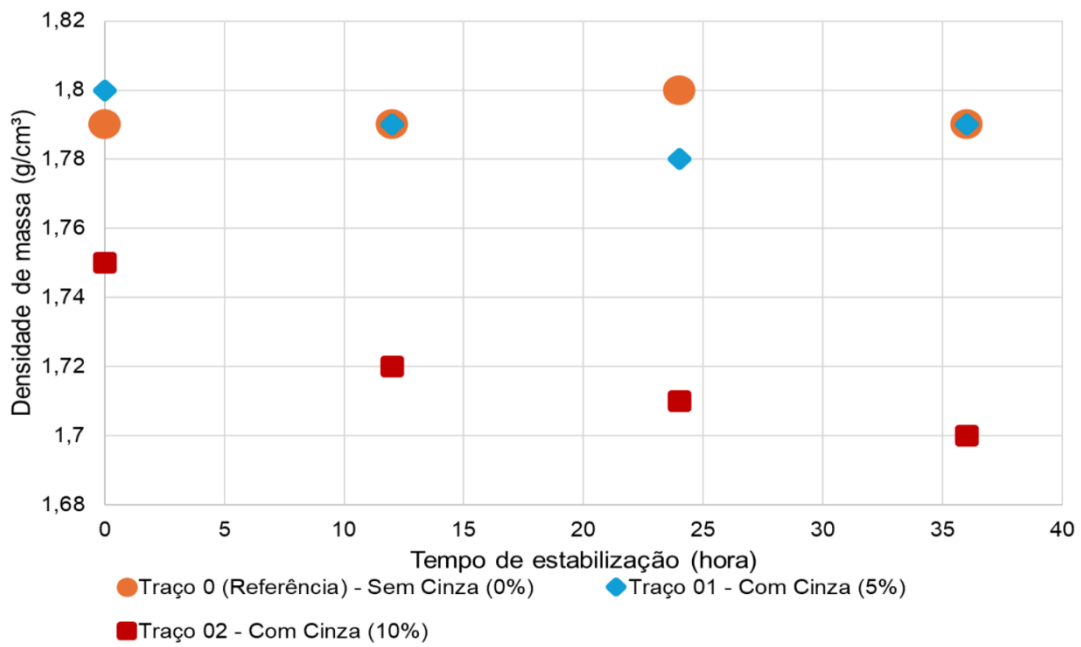
3.2.1 DENSIDADE E ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A densidade de massa da argamassa no estado endurecido foi determinada de acordo com a norma NBR 13280 (ABNT, 2005) para ambos os traços nos tempos de 0h, 12h, 24h e 36h, foram apresentando na figura 8. Observou-se que o comportamento das densidades no estado endurecido seguiu o mesmo padrão obtido no estado fresco. O Traço 0 (Referência) e o Traço 01 (5% CBP) mantiveram a densidade praticamente constante ao longo dos tempos de estabilização (0h a 36h), variando em torno de $1,79 \text{ g/cm}^3$ e $1,80 \text{ g/cm}^3$, respectivamente.

O Traço 02 (10% CBP), contudo, apresentou uma redução gradual da densidade ao longo do período de utilização, iniciando em $1,75 \text{ g/cm}^3$ em 0h e atingindo $1,70 \text{ g/cm}^3$ em 36h. Esta redução está associada ao maior teor de cinza. Seguindo o padrão geral obtido no estado fresco e endurecido, quanto maior o teor de ar incorporado na mistura fresca, menor a densidade da argamassa endurecida, o que é justificado pela menor massa específica do resíduo em comparação com o cimento.

Este achado é convergente com a literatura sobre cinzas agroindustriais. A Cinza da Folha de Bananeira (BLA), por exemplo, causou uma reversão na tendência de densidade do concreto quando incorporada em altas taxas (20%), devido à sua menor gravidade específica em comparação com o cimento Portland (BHUTTO et al., 2024). Similarmente, a Cinza da Casca de Arroz (RHA) e a Cinza do Bagaço de Cana (SCBA) possuem densidades inferiores à do cimento Portland (NAYAK et al., 2025), de modo que sua incorporação tende a reduzir a densidade volumétrica final do compósito (AMRAN et al., 2021).

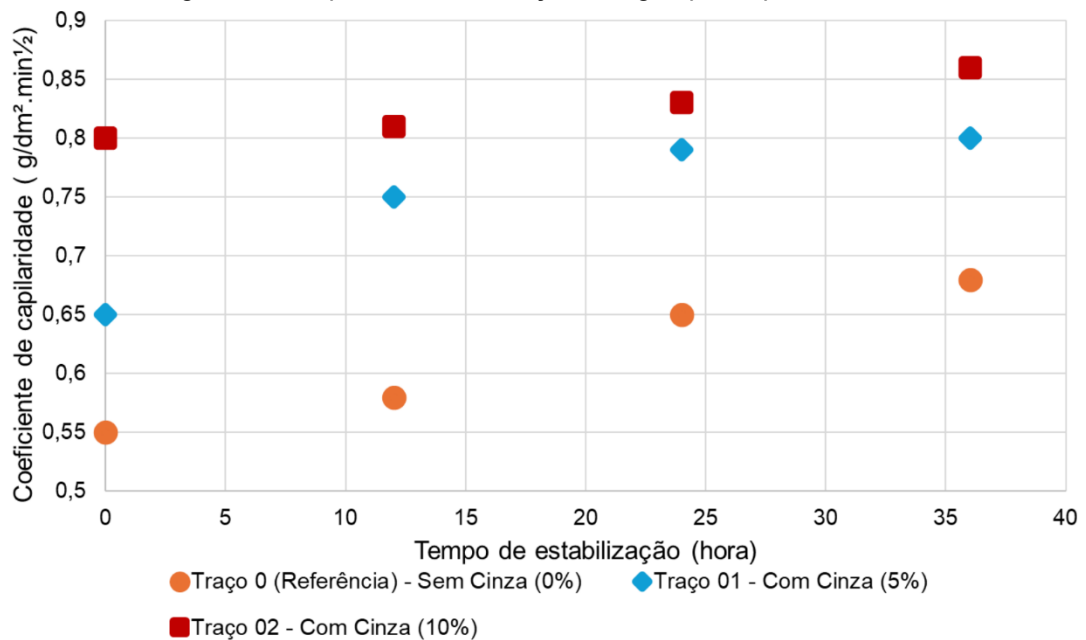
Figura 8- Comparativo da densidade no estado endurecido



Fonte: Autor, 2025

A absorção de água no estado endurecido foi determinada pelo coeficiente de capilaridade (C), conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005), para ambos os traços nos tempos de 0h, 12h, 24h e 36h, foram apresentando na figura 9. Observou-se que o coeficiente de capilaridade aumentou progressivamente tanto com o tempo de utilização (0h para 36h) quanto com o aumento do teor de Cinza da Biomassa de Palma (CBP).

Figura 9- Comparativo da absorção de água por capilaridade



Fonte: Autor, 2025

A ABNT NBR 13281-1 (2023), que estabelece os requisitos e métodos de ensaio para argamassas de revestimento, classifica o Coeficiente de Absorção de Água por Capilaridade (Wh) como um requisito informativo. Portanto, a norma não estabelece

limites de desempenho obrigatórios que determinem a aprovação ou reprovação da argamassa para que ela se enquadre nas classes classificatórias (ARV-I, ARV-II, ARV-III ou AET). O documento exige que o fabricante ou o responsável técnico informe a classe em que a argamassa se enquadra. A nota da norma reitera que os requisitos exigidos para o coeficiente de absorção de água por capilaridade dependem de fatores como o local de aplicação (interno ou externo), o tipo de acabamento e as condições higrótérmicas da região.

A classificação do Coeficiente de Absorção de Água por Capilaridade (Wh) é definida na Tabela 11 da NBR 13281-1 (ABNT, 2023) em classes de W1 a W7. Com base nos resultados obtidos, o coeficiente de capilaridade, mesmo nos traços com maior teor de cinza (10% CBP) e maior tempo de estabilização (36h), enquadra-se na faixa de desempenho mais restritiva da norma. Desse modo, todas as argamassas se classificam na Classe W7

O aumento do coeficiente de capilaridade observado com a adição de CBP (Traços 01 e 02) é um indicador de que a presença do resíduo torna a argamassa de revestimento mais permeável. Isso é notado pelo aumento do coeficiente com o maior teor de CBP. O aumento da permeabilidade é uma característica que deve ser cuidadosamente avaliada e otimizada em estudos futuros para garantir a estanqueidade e durabilidade do revestimento a longo prazo.

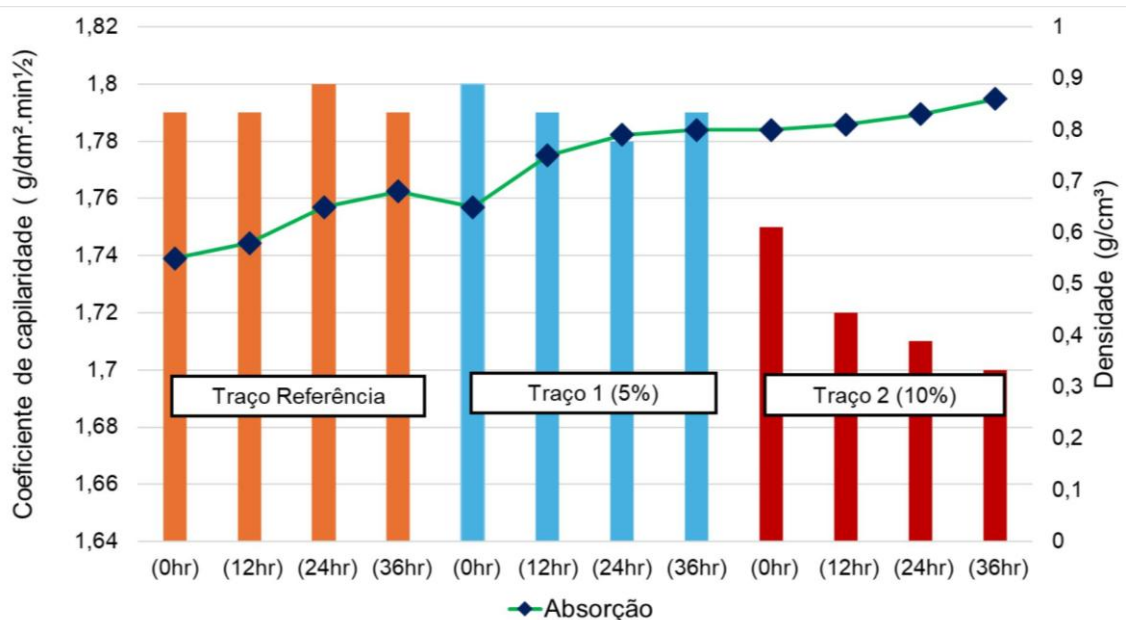
Pesquisas mostram que a absorção de água feita nessa pesquisa é convergente com o comportamento de muitas cinzas agroindustriais, como a cinza da casca de café, do inglês, *Coffee Husk Ash* (CHA), uma vez que a cinza diminui a densificação dos géis de silicato de cálcio hidratado, do inglês, *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H), resultando em uma morfologia fragmentada e porosa. O aumento da absorção de água é diretamente proporcional ao aumento do teor de CHA (GEDEFW et al., 2022). Estudos com concreto de Cinza da Casca de Coco, do inglês *Coconut Shell Ash* (CSA) também encontraram um aumento na absorção de água com o aumento do teor de cinza, atribuído ao aumento dos vazios totais e à menor formação de silicato de cálcio hidratado C-S-H (RANATUNGA et al., 2023)

Tabela 5- Quadro geral Densidade e Absorção de água por capilaridade

Tempo (h)	Traço	Densidade (g/cm ³)	Coefficiente de Capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})
0	Referência	1,79	0,55
	Traço 1 (5%)	1,80	0,65
	Traço 2 (10%)	1,75	0,80
12	Referência	1,79	0,58
	Traço 1 (5%)	1,79	0,75
	Traço 2 (10%)	1,72	0,81
24	Referência	1,80	0,65
	Traço 1 (5%)	1,78	0,79
	Traço 2 (10%)	1,71	0,83
36	Referência	1,79	0,68
	Traço 1 (5%)	1,79	0,80
	Traço 2 (10%)	1,70	0,86

Fonte: Autor, 2025

Figura 10- Comparativo Densidade e Absorção de água por capilaridade



Fonte: Autor, 2025

3.2.2 TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO

A tração na flexão e a compressão no estado endurecido foi determinada de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005). O comportamento mecânico das argamassas, avaliado por meio dos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, demonstrou variações notáveis e heterogêneas ao longo dos diferentes períodos de estabilização (0h, 12h, 24h e 36h), presentes na figura 11.

A variação na resistência mecânica observada está diretamente ligada à cinética de hidratação do cimento e à função do Aditivo Estabilizador de Hidratação (AEH) utilizado nas misturas. As argamassas estabilizadas são formuladas com o objetivo de retardar o início da hidratação do cimento para prolongar a trabalhabilidade, garantindo o desempenho no estado fresco por um período estendido (neste estudo, até 36 horas).

Nos tempos iniciais de estabilização (0h e 12h), o AEH exerce seu papel de retardamento, limitando a formação dos produtos de hidratação (principalmente o gel C-S-H) que são responsáveis pelo ganho de resistência. O aumento mais significativo da resistência à compressão foi observado nos tempos mais avançados de estabilização (24h e 36h). Isso indica que, após o tempo de 12 horas, o efeito do retardador começa a ser superado, permitindo que a reação de hidratação do cimento se desenvolva e progrida de forma acentuada antes da moldagem e cura. Este avanço na hidratação resulta na densificação da matriz cimentícia e no consequente aumento da capacidade de suporte de carga, refletindo-se nos picos de observados nestas idades.

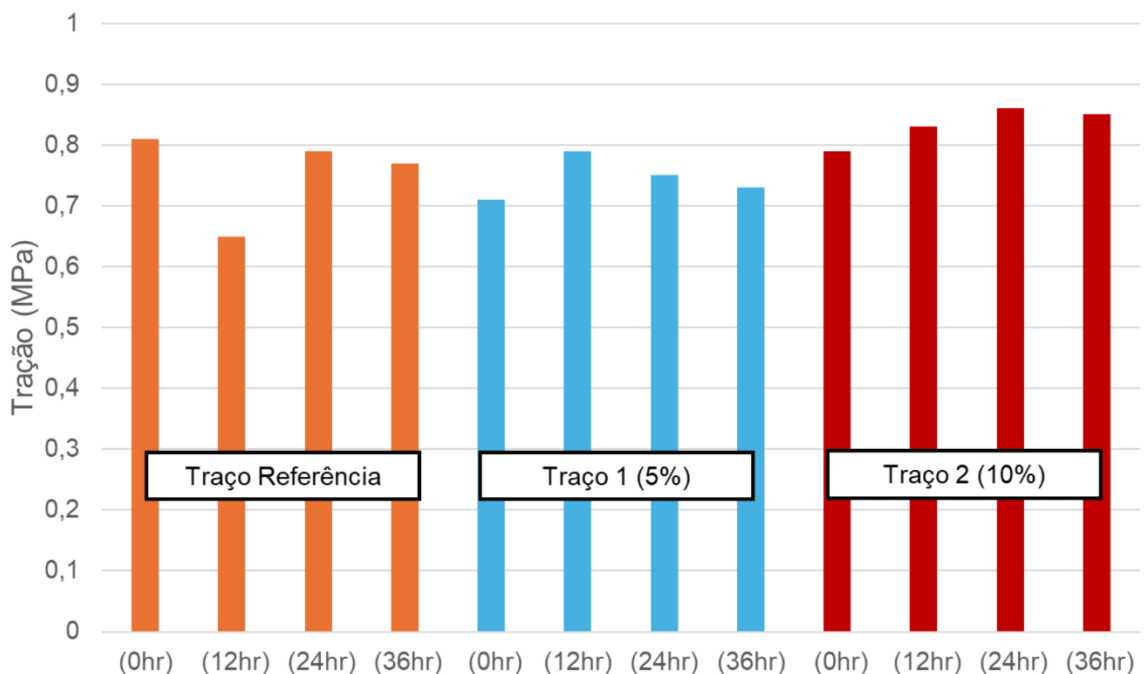
Para a tração na flexão, o comportamento também foi variável: o traço de referência (Traço 0) apresentou maior resistência inicial (0h) e uma recuperação em 24h. Já o traço com 5% de Cinza da Biomassa da Palma (CBP) alcançou seu pico em 12h, enquanto o traço com 10% de CBP alcançou sua máxima resistência em 24h. Essa diferença de picos sugere que a adição da cinza agroindustrial (CBP) altera o comportamento da argamassa ao longo do tempo de estabilização, possivelmente influenciando a forma como o retardamento químico interage com a matriz e com a presença das partículas de cinza.

Tabela 6- Quadro geral de Tração na flexão

Tempo (h)	Argamassa	Tração (Mpa)
0	Referência	0,81
	Traço 1 (5%)	0,71
	Traço 2 (10%)	0,79
12	Referência	0,65
	Traço 1 (5%)	0,79
	Traço 2 (10%)	0,83
24	Referência	0,79
	Traço 1 (5%)	0,75
	Traço 2 (10%)	0,86
36	Referência	0,77
	Traço 1 (5%)	0,73
	Traço 2 (10%)	0,85

Fonte: Autor, 2025

Figura 11- Comparativo de tração na flexão



Fonte: Autor, 2025

A NBR 13281-1 (ABNT, 2023) classifica a resistência à tração na flexão como um requisito informativo, conforme a Tabela 10 da norma. Todos os valores de tração

na flexão medidos em 28 dias variaram entre 0,65 MPa (Traço Ref. 12h) e 0,86 MPa (Traço 10% Cinza 24h). Dessa forma, todos os resultados se enquadram na Classe R2 (MPa), correspondente às argamassas que apresentam uma resistência à tração na flexão que se enquadra no intervalo de $0,5 \text{ MPa} \leq R_f < 1,5 \text{ Mpa}$.

Os resultados mostram que a incorporação da cinza (CBP) resultou em uma compressão ligeiramente inferior à do traço de referência no estado endurecido, confirmando que, em termos mecânicos, os resultados com cinza não foram satisfatórios quando comparados ao traço de referência.

4 CONCLUSÃO

Com base na investigação realizada sobre a utilização da CBP como substituto parcial do cimento na produção de argamassas estabilizadas, indicam que a pesquisa confirma a viabilidade técnica do uso da Cinza da Biomassa de Palma (CBP) como substituto parcial do cimento na produção de argamassas estabilizadas. O estudo contribui para o reaproveitamento de resíduos industriais, alinhando-se com práticas sustentáveis na construção civil. No estado fresco, os traços com CBP apresentaram uma fluidez inicial ligeiramente superior (IC médio de 270,00 mm) em comparação com o traço de referência (260,00 mm). A CBP contribuiu para a melhor manutenção da plasticidade ao longo do período de estabilização, permanecendo dentro do intervalo normativo (NBR 13276) por mais tempo do que a amostra de referência. A argamassa com CBP apresentou maior densidade inicial no estado fresco. A incorporação de CBP resultou em menor teor de ar incorporado inicial (23,5% para 10% CBP vs. 25% na referência). A menor incorporação de ar é atribuída à presença da cinza, que pode favorecer um empacotamento mais eficiente das partículas.

No estado endurecido, o traço de referência (0% CBP) e o traço com 5% de CBP mantiveram a densidade no estado endurecido praticamente constante ao longo dos tempos de utilização. O traço com 10% de CBP apresentou uma redução gradual da densidade no estado endurecido (de $1,75 \text{ g/cm}^3$ para $1,70 \text{ g/cm}^3$) entre 0h e 36h de utilização. O coeficiente de capilaridade aumentou tanto com o tempo de utilização (0h para 36h) quanto com o aumento do teor de CBP. Este aumento sugere uma maior permeabilidade, que pode ser crucial na durabilidade do revestimento. As

resistências à compressão e à tração na flexão variaram ao longo do tempo de estabilização, com picos de resistência frequentemente observados nos tempos de 24h e 36h de utilização.

A Cinza da Biomassa de Palma (CBP) otimiza as propriedades de estado fresco da argamassa estabilizada, aumentando a densidade e o espalhamento inicial, e ajudando a manter a trabalhabilidade durante o período de 36 horas. Contudo, o aumento do teor de CBP (10%) resultou em um aumento da absorção de água por capilaridade, uma característica que deve ser cuidadosamente avaliada e otimizada em estudos futuros para garantir a estanqueidade e durabilidade do revestimento a longo prazo.

5 REFERÊNCIAS

- MARCONDES, C. G. Características e benefícios da argamassa estabilizada. 2009. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/caracteristicas-e-beneficios-da-argamassa-estabilizada/>>. Acesso em: 09 set. 2017.
- BARRA, M.; SEDRANSK, K.; WANG, Y. Rheology of mortar with Portland-limestone cement CEM II/A,B-LL in relation to properties of cement. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, v.12, n.3, p.87-94, 2019. DOI: 10.21307/acee-2019-007.
- PERROT, A.; ROSSIGNOL, S. Rheological behavior of fresh cement pastes. *Fluids*, v.3, n.4, p.106, 2018. DOI: 10.3390/fluids3040106.
- SHEN, W.; ZHOU, H.; ZHAO, Z. Influences of additives on the rheological properties of cement composites: A review of material impacts. *Materials*, v.18, n.8, p.1753, 2025. DOI: 10.3390/ma18081753.
- KALAGARA, S.; ARYA, A.; REDDY, G. Rheological behavior and strength characteristics of cement paste and mortar with fly ash and GGBS admixtures. *Sustainability*, v.13, n.17, p.9600, 2021. DOI: 10.3390/su13179600.
- LIU, Y. et al. Water retention mechanism of HPMC in cement mortar. *Materials*, v.13, n.13, p.2918, 2020. DOI: 10.3390/ma13132918.
- BASTOS, P. K. X. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (ed.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, cap. 28, p. 893-944.

RYDOCK, J. P. A look at driving rain intensities at five cities. *Building and Environment*, v. 41, n. 12, p. 1860-1866, mar. 2006.

Foreign Agriculture Service do United States Department of Agriculture (USDA), 2016. <[https //www. fas.usda. v/](https://www.fas.usda.v/)>.

IBGE (2017) Produção Agrícola - Lavoura permanente de 2017 - Estado do Pará. <<http://cidades.ibge.gov.br/brasil/vpa/pesquisa/15/11934?localidade=150275&localidadeI=150795>>.

Furlan Júnior, J (2006) Dendê manejo e uso dos subprodutos e dos resíduos. Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E).

RESENDE, M. M.; BARROS, M. M. S. B.; MEDEIROS, J. S. A influência da manutenção na durabilidade dos revestimentos de fachada de edifícios. In: WORKDUR - WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 2., 2001, São José dos Campos. Anais [...]. São José dos Campos: ITA, 2001, p. 144-154.

FÓRUM DA CONSTRUÇÃO. Perdas na construção civil: como minimizar os impactos? Fórum da Construção, 2013. Disponível em: <www.forumdaconstrucao.com.br>. Acesso em: 13 de Julh. 2025.

SIKA BRASIL. Sika AE-202: Ficha Técnica do Aditivo Incorporador de Ar. Disponível em: <www.sika.com.br>. Acesso em: 16 de Julh. 2025

Centripor Retard 225. Ficha Técnica do Aditivo Estabilizador de Hidratação. Disponível em: (site do fabricante). Acesso em: (data de acesso).

ABDULLAHI, M. Characteristics of Wood ASH/OPC Concrete. 2006. *Leonardo Electron. J. Pract. Technol.*, v. 8, p. 9–16.

ABDULKAREEM, O. A. et al. Production of Geopolymer Mortar System Containing High Calcium Biomass Wood Ash as a Partial Substitution to Fly Ash: An Early Age Evaluation. 2019. *Compos. B Eng.*, v. 174, p. 106941. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.11.109.

ABDULKAREEM, O. A. et al. Strength and Porosity Characterizations of Blended Biomass Wood Ash-Fly Ash-Based Geopolymer Mortar. 2018. *AIP Conf. Proc.*, v. 2045, 020096. DOI: 10.1063/1.5080928.

ABU BAKAR, B. H.; RAMADHANSYAH, P. J.; MEGAT AZMI, M. J. Effect of rice husk ash fineness on the chemical and physical properties of concrete. 2011. *Magazine of Concrete Research*, v. 63, n. 5, p. 313-320. DOI: 10.1680/macr.2011.63.5.313.

ACCAR, W. et al. Granite waste and coffee husk ash synergistic effect on clay-based ceramics. 2016. *Advances in Applied Ceramics*, v. 115, n. 4, p. 236–242. DOI: 10.1179/17436761.2016.1147575.

ACCAR, W.; DULTRA, E. J. V. Thermal analysis and X-ray diffraction of untreated coffee's husk ash reject and its potential use in ceramics. 2013. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 111, n. 2, p. 1331–1334. DOI: 10.1007/s10973-012-2512-y.

- ADJAR, M. A. Compressive strength and durability of concrete with coconut shell ash as cement replacement. 2020. *Int. J. GEOMATE*, v. 18, n. 70. DOI: 10.21660/2020.70.9132.
- AGARWAL, M.; DEL CASTILLO, E. R. Normal and controlled low-strength material concrete with high volume of fly ash and glass waste. 2022. *ACI Mater. J.*, v. 119, n. 4. DOI: 10.14359/51734687.
- AGUILA, I.; SOSA, M. Evaluación físico químico de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolonicos (Physical chemical evaluation of rice husks, corn leaves and cane bagasse ashes and their influence in mortar mixtures, as pozzolanic materials). 2008. Tese (Mestrado) – Central University of Venezuela, Faculty of Architecture and Urbanism, Institute of Experimental Development of Construction, Caracas, Venezuela.
- AHAD, I. A. et al. Investigation of Mortar Using Rice Husk Ash as Partial Substitution of Portland Composite Cement. 2022. *IOSR J. Mech. Civ. Eng.*, v. 19, n. 3, p. 20–26. DOI: 10.21660/2020.70.9132.
- AHMAD, W. et al. Sustainable approach of using sugarcane bagasse ash in cement-based composites: a systematic review. 2021. *Case Stud. Constr. Mater.*, v. 15, e00698. DOI: 10.1016/j.cscm.2021.e00698.
- AHMED, Y. et al. Production of biogas and performance evaluation of existing treatment processes in palm oil mill effluent (POME). 2015. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, v. 47, p. 1021–1031. DOI: 10.1016/j.rser.2015.02.046.
- AKINYEMI, B. A.; DAI, C. Development of Banana Fibers and Wood Bottom Ash Modified Cement Mortars. 2020. *Constr. Build. Mater.*, v. 241, 118041. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118041.
- AKRAM, T.; MEMON, S. A.; OBAID, H. Production of low cost self compacting concrete using bagasse ash. 2009. *Construct. Build. Mater.*, v. 23, n. 2, p. 703–712. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2008.02.012.
- AL-KHALAF, M. N.; YOUSIF, H. A. Use of rice husk ash in concrete. 1984. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, v. 6, n. 4, p. 241-248. DOI: 10.1016/0262-5075(84)90013-X.
- AL-MULALI, M. Z. et al. The incorporation of oil palm ash in concrete as a means of recycling: A review. 2015. *Cem. Concr. Compos.*, v. 62, p. 153–161. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2015.07.001.
- ALMEIDA, R. P. A.; CORDEIRO, G. C. Sustainable approach to simultaneously improve the pozzolanic activity of sugarcane bagasse ash and the vinasse fertilization potential. 2023. *Clean. Eng. Technol.*, v. 13, 100617. DOI: 10.1016/j.clet.2023.100617.
- ALSHAMSI, A. M.; SABOUNI, A. R.; BUSHLAIBI, A. H. Influence of set-retarding superplasticisers and microsilica on setting times of pastes at various temperatures. 1993. *Cem. Concr. Res.*, v. 23, n. 3, p. 592–598. DOI: 10.1016/0008-8846(93)90009-X.

- ALSUBARI, B. et al. Utilization of high-volume treated palm oil fuel ash to produce sustainable self-compacting concrete. 2016. *J. Clean. Prod.*, v. 135, p. 1297–1306. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.037.
- ALSUBARI, B. et al. Properties of eco-friendly self-compacting concrete containing modified treated palm oil fuel ash. 2018. *Constr. Build. Mater.*, v. 165, p. 175–182. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.054.
- AMARAL, R. C. et al. Reuse of Wood Ash from Biomass Combustion in Non-structural Concrete: Mechanical Properties, Durability, and Eco-efficiency. 2022. *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, v. 24, p. 2439–2454. DOI: 10.1007/s10163-022-01452-Z.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Cementitious Materials for Concrete. 2013. ACI.
- AMRAN, M. et al. Palm Oil Fuel Ash-Based Eco-Efficient Concrete: A Critical Review of the Short-Term Properties. 2021. *Materials*, v. 14, n. 332. DOI: 10.3390/ma14020332.
- AMRAN, Y. H. M. et al. Properties and applications of foamed concrete: A review. 2015. *Constr. Build. Mater.*, v. 101, p. 990–1005. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.081.
- ANDRADE NETO, J. D. S. et al. Effects of adding sugarcane bagasse ash on the properties and durability of concrete. 2021. *Constr. Build. Mater.*, v. 266, 120959. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120959.
- ANDREÃO, P. V. et al. Beneficiation of sugarcane bagasse ash: pozzolanic activity and leaching behavior. 2020. *Waste Biomass Valori*, v. 11, p. 4393–4402. DOI: 10.1007/s12649-019-00721-x.
- ANURADHA, R.; BALA THIRUMAL, R.; NAVEEN JOHN, P. Optimization of Molarity on Workable Self-Compacting Geopolymer Concrete and Strength Study on SCGC by Replacing Flyash with Silica fume and GGBFS. 2014. *Int. J. Adv. Struct. Geotech. Eng.*, v. 3.
- ARAÚJO, P. A. et al. Cordierite-based ceramics with coffee husk ash addition: I–microstructure and physical properties. 2021. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 15, p. 2471–2483. DOI: 10.1016/j.jmrt.2021.09.043.
- ARIF, E.; CLARK, M. W.; LAKE, N. Sugar cane bagasse ash from a high efficiency co-generation boiler: applications in cement and mortar production. 2016. *Construct. Build. Mater.*, v. 128, p. 287–297. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.10.091.
- ASSISTENZA TÉCNICA ÀS EMPRESAS DE GRUPPO BASSANETTI. Natural inert materials “Sand and gravel” Extracted from an artificial quarry basin. 2020. EPD Italy.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6023: Informação e documentação: Referências: Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16697:2018. Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16372:2015. Materiais pozolânicos - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15895:2010. Materiais cimentícios suplementares - Determinação da granulometria por peneiramento. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16605:2017. Materiais pozolânicos - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7211:2022. Agregados para concreto - Requisitos Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15900-1:2009. Água para amassamento do concreto - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13276:2016. Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13277. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13278:2005. Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13280:2005. Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13281-1:2023. Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15259:2005. Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13279:2005. Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5891. Regras de arredondamento na numeração decimal. Rio de Janeiro: ABNT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7221. Agregado – Índice de desempenho de agregado miúdo contendo impurezas orgânicas – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13529. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13749. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15258. Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15261. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro: ABNT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15900-1:2009. Água para amassamento do concreto - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM C143/C143M. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. 2015. DOI: 10.1520/C0143_C0143M-15.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM C267-20. Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacing and Polymer Concretes. 2013. DOI: 10.1520/C0267-20.2.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM C311-04. Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete. 2005.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM C39/C39M. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens 1. 2003. DOI: 10.1520/C0039.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM C642-97. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. 1997. DOI: 10.1520/C0642-21.2.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM C1012-12. Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulphate Solution. 2009. DOI: 10.1520/C1012.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM C1064/C1064M-17. Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete. 2017.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM C1437-20. Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. 2020.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM C1723-16(2022). Standard Guide for Examination of Hardened Concrete Using Scanning Electron Microscopy. 2022.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM E1508-12a(2019). Standard Guide for Quantitative Analysis by Energy-Dispersive Spectroscopy. 2019.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM E1621-21. Standard Guide for Elemental Analysis by Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry. 2021.
- ATAHU, M. K.; SAATHOFF, F.; GEBISSA, A. Strength and compressibility behaviors of expansive soil treated with coffee husk ash. 2019. *Journal of Rock Mechanics and*

- Geotechnical Engineering*, v. 11, n. 2, p. 337–348. DOI: 10.1016/j.jrmge.2018.06.002.
- AWAL, A. S. M. A. et al. Effect of cooling regime on the residual performance of high-volume palm oil fuel ash concrete exposed to high temperatures. 2015. *Constr. Build. Mater.*, v. 98, p. 550–559. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.134.
- AWAL, A. S. M. A.; NGUONG, S. K. A Short-Term Investigation On High Volume Palm Oil Fuel Ash (POFA) Concrete. 2010. In: *35th Conference on Our World in Concrete & Structures*, Singapore, 25–27 August 2010.
- AWAL, A. S. M. A.; SHEHU, I. A. Evaluation of heat of hydration of concrete containing high volume palm oil fuel ash. 2013. *Fuel*, v. 104, p. 333–338. DOI: 10.1016/j.fuel.2012.08.067.
- BADOGIANNIS, E. et al. Metakaolin as a main cement constituent. Exploitation of poor Greek kaolins. 2005. *Cem. Concr. Compos.*, v. 27, n. 2, p. 197–203. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2004.02.043.
- BAHURUDEEN, A. et al. Development of sugarcane bagasse ash based Portland pozzolana cement and evaluation of compatibility with superplasticizers. 2014. *Construct. Build. Mater.*, v. 68, p. 465–475. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.013.
- BAHURUDEEN, A. et al. Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement in concrete. 2015. *Cem. Concr. Compos.*, v. 59, p. 77–88. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2015.03.004.
- BARBOSA, F. L.; CORDEIRO, G. C. Partial cement replacement by different sugar cane bagasse ashes: hydration-related properties, compressive strength and autogenous shrinkage. 2021. *Construct. Build. Mater.*, v. 272, 121625. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121625.
- BARKAKATI, P.; BORDOLOI, D.; BORTHAKUR, P. C. Paddy husk as a raw material and fuel for making Portland cement. 1994. *Cement and Concrete Research*, v. 24, n. 4, p. 613–620. DOI: 10.1016/0008-8846(94)90180-5.
- BARRA, M.; SEDRANSK, K.; WANG, Y. Rheology of mortar with Portland-limestone cement CEM II/A,B-LL in relation to properties of cement. 2019. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, v.12, n.3, p.87-94. DOI: 10.21307/acee-2019-007.
- BATUELA, F.; MASOOD, A.; ALI, M. Characterization of Sugarcane Bagasse Ash as Pozzolan and Influence on Concrete Properties. 2020. *Arabian J. Sci. Eng.*, v. 45, p. 3891–3900. DOI: 10.1007/s13369-019-04301-y.
- BEAGLE, E. C. Rice husk conversion to energy. 1978. *FAO Agricultural Services Bulletin No. 31*. Rome, Italy: Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- BECKHOFF, B. et al. (Eds.). *Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis*. 2006. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- BENTZ, D. P.; STUTZMAN, P. E. Evolution of porosity and calcium hydroxide in laboratory concretes containing silica fume. 1994. *Cem. Concr. Res.*, v. 24, n. 6, p. 1044–1050. DOI: 10.1016/0008-8846(94)90027-2.

- BERRA, M. et al. Reuse of Woody Biomass Fly Ash in Cement-Based Materials. 2015. *Constr. Build. Mater.*, v. 76, p. 286–296. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.11.054.
- BEZERRA, I. M. T. et al. Coating mortar using rice husk ash as binding. 2012. *Mater. Sci. Forum*, v. 727–728, p. 1502–1507. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.727-728.1502.
- BHEEL, N. et al. Influence of coconut shell ash on workability, mechanical properties, and embodied carbon of concrete. 2021. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, v. 28, n. 5, p. 5682–5692. DOI: 10.1007/s11356-020-10882-1.
- BHUTTO, S. et al. Effect of banana tree leaves ash as cementitious material on the durability of concrete against sulphate and acid attacks. 2024. *Heliyon*, v. 10, e29236. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29236.
- BIE, R.-S. et al. Studies on effects of burning conditions and rice husk ash (RHA) blending amount on the mechanical behavior of cement. 2015. *Cem. Concr. Compos.*, v. 55, p. 162–168. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2014.10.015.
- BLINOVÁ, L. et al. Review: utilization of waste from coffee production. 2017. *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, v. 25, n. 40, p. 91–101. DOI: 10.1515/rput-2017-0010.
- BOATENG, A. A.; SKEETE, D. A. Incineration of rice hull for use as a cementitious material the Guyana experience. 1990. *Cement and Concrete Research*, v. 20, p. 795-802. DOI: 10.1016/0008-8846(90)90069-7.
- BRAZÃO FARINHA, C.; DE BRITO, J.; VEIGA, R. Influence of Forest Biomass Bottom Ashes on the Fresh, Water and Mechanical Behaviour of Cement-Based Mortars. 2019. *Resour. Conserv. Recycl.*, v. 149, p. 750–759. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.06.012.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). BS EN 1097-5: 2008. Tests for Mechanical And Physical Properties of Aggregates Determination of the Water Content by Drying in a Ventilated Oven. 2008.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). BS EN 12350-2: 2019. Testing fresh concrete - Slump test. 2019.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). BS EN 15804: 2012 +A1: 2013. Sustainability of Construction Works. Environmental Product Declarations. Core Rules for the Product Category of Construction Products. 2012.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). BS EN 15978:2011. Sustainability of Construction Works. Assessment of Environmental Performance of Buildings. Calculation method. 2012.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). BS EN 933-2: 2020. Tests for geometrical properties of aggregates - Determination of particle size distribution. Test sieves, nominal size of apertures. 2020.
- BROWN, D. K. Unprocessed Rice Husk Ash as a Partial Replacement of Cement for Low-Cost Concrete. 2012. Tese (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA.

- BUI, D. D. et al. Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete. 2005. *Cem. Concr. Compos.*, v. 27, p. 357–366. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2004.09.006.
- BUMRONGJAROEN, W. et al. Application of glass corrosion tests to the reactivity of fly ash. 2007. *The World of Coal Ash (WOCA)*, Kentucky, USA.
- CANDAMANO, S. et al. Workability, Strength and Drying Shrinkage of Structural Mortar Containing Forest Biomass Ash in Partial Replacement of Cement. 2014. *Adv. Mater. Res.*, v. 1051, p. 73–742. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1051.73.
- CARDÉ, C.; FRANÇOIS, R. Modelling the loss of strength and porosity increase due to the leaching of cement pastes. 1999. *Cem. Concr. Compos.*, v. 21, n. 3, p. 181–188. DOI: 10.1016/S0958-9465(98)00046-8.
- CAREVIĆ, I. et al. Preliminary Screening of Wood Biomass Ashes for Partial Resources Replacements in Cementitious Materials. 2019. *J. Clean. Prod.*, v. 229, p. 1045–1064. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.283.
- CHARITHA, V. et al. Use of different agro-waste ashes in concrete for effective upcycling of locally available resources. 2021. *Constr. Build. Mater.*, v. 285, 122851. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122851.
- CHEAH, C. B.; RAMLI, M. The Implementation of Wood Waste Ash as a Partial Cement Replacement Material in the Production of Structural Grade Concrete and Mortar: An Overview. 2011. *Resour. Conserv. Recycl.*, v. 55, p. 669–685. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.02.002.
- CHI, M.-C. Effects of Sugar Cane Bagasse Ash as a Cement Replacement on Properties of Mortars. 2012. *Sci. Eng. Compos. Mater.*, v. 19, p. 279–285. DOI: 10.1515/secm-2012-0043.
- CHINDAPRASIRT, P. et al. Effect of fly ash fineness on microstructure of blended cement paste. 2007. *Constr. Build. Mater.*, v. 21, n. 7, p. 1534–1541. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2005.12.024.
- CHINDAPRASIRT, P. et al. Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash. 2008. *Constr. Build. Mater.*, v. 22, n. 8, p. 1689–1694. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2007.06.014.
- CHINDAPRASIRT, P.; RUKZON, S. Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar. 2008. *Construct. Build. Mater.*, v. 22, n. 8, p. 1601–1606. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2007.06.010.
- CHOWDHURY, S. et al. Strength Development in Concrete with Wood Ash Blended Cement and Use of Soft Computing Models to Predict Strength Parameters. 2015. *J. Adv. Res.*, v. 6, p. 907–913. DOI: 10.1016/j.jare.2014.08.006.
- COOK, D. J. Rice husk ash. 1986. In: SWAMY, R. N. (ed.). *Concrete Technology and Design: Vol. 3, Cement Replacement Materials*. Surrey University Press. p. 171-196.
- CORDEIRO, G. C. et al. Pozzolanic Activity and Filler Effect of Sugar Cane Bagasse Ash in Portland Cement and Lime Mortars. 2008. *Cem. Concr. Compos.*, v. 30, p. 410–418. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2008.01.001.

- CORDEIRO, G. C. et al. Influence of particle size and specific surface area on the pozzolanic activity of residual rice husk ash. 2011. *Cement Concr. Compos.*, v. 33, n. 5, p. 529–534. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2011.02.005.
- CORDEIRO, G. C. et al. Improved pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash by selective grinding and classification. 2016. *Cement Concr. Res.*, v. 89, p. 269–275. DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.08.020.
- CORDEIRO, G. C.; KURTIS, K. E. Effect of mechanical processing on sugar cane bagasse ash pozzolanicity. 2017. *Cement Concr. Res.*, v. 97, p. 41–49. DOI: 10.1016/j.cemconres.2017.03.008.
- CORDEIRO, G. C. et al. Study on the pozzolanic activity of sugar cane straw ash produced using different pretreatments. 2017. *Quím. Nova*, v. 40, n. 3, p. 264–269. DOI: 10.21577/0100-4042.20170002.
- CORDEIRO, G. C. et al. Long term compressive behavior of concretes with sugarcane bagasse ash as a supplementary cementitious material. 2018. *J. Test. Eval.*, v. 46, p. 564–573. DOI: 10.1520/JTE20160316.
- CORDEIRO, G. C. et al. Pozzolanic properties of ultrafine sugar cane bagasse ash produced by controlled burning. 2019. *Heliyon*, v. 5, e02566. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02566.
- CORINALDESI, V.; MORICONI, G. Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete. 2009. *Constr. Build. Mater.*, v. 23, n. 9, p. 3073–3078. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.05.006.
- CORDERO, G. C. et al. Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash. 2009. *Construct. Build. Mater.*, v. 23, n. 10, p. 3301–3303. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.02.013.
- COUTINHO, J. S.; PAPADAKIS, V. G. Rice Husk Ash—Importance of Fineness for its Use as a Pozzolanic and Chloride-Resistant Material. 2011. In: *12th International Conference o Durability of Building Materials ad Components*, Porto, Portugal, 12–15 April 2011.
- DE LARRARD, F. *Concrete Mixture Proportioning: a Scientific Approach*. 1999. 1. ed. E&FN Spon, London, 421 p.
- DE SOUZA CEZAR, D. Características de durabilidade de concretos com cinza volante e cinza de casca de arroz com e sem beneficiamento. (Durability characteristics of fly ash and rice husk ash concretes with and without improvement). 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.
- DEMISSEW, A.; FUFA, F.; ASSEFA, S. Partial replacement of cement by coffee husk ash for C-25 concrete production. 2019. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, v. 10, n. 1, p. 12–21.
- DHAGE, B. et al. Experimental study on partial replacement of cement by banana leaves ash. 2020. *XII*, n. 886, p. 1869–1876.
- DIAMOND, S. The microstructure of cement paste and concrete—a visual primer. 2004. *Cem. Concr. Compos.*, v. 26, n. 8, p. 919–933. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2004.02.028.

- DRIEMEIER, C. et al. Characterization of sugarcane bagasse powders. 2011. *Powder Technol.*, v. 214, p. 111–116. DOI: 10.1016/j.powtec.2011.07.043.
- ELINWA, A. U.; EJEH, S. P. Effects of the Incorporation of Sawdust Waste Incineration Fly Ash in Cement Pastes and Mortars. 2004. *J. Asian Archit. Build. Eng.*, v. 3, p. 117654. DOI: 10.3130/jaabe.3.117654.
- ELINWA, A. U.; MAHMOOD, Y. A. Ash from Timber Waste as Cement Replacement Material. 2002. *Cem. Concr. Compos.*, v. 24, p. 219–222. DOI: 10.1016/S0958-9465(01)00049-5.
- EMBONG, R. et al. Effectiveness of low-concentration acid and solar drying as pre-treatment features for producing pozzolanic sugarcane bagasse ash. 2016. *J. Clean. Prod.*, v. 112, p. 953–962. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.066.
- EUROPEAN STANDARD (EN ISO). EN ISO 12572:2016. Higrothermal performance of buildings materials and products – Determination of water vapour transmission properties Cup method. 2016.
- EUROPEAN STANDARD (EN ISO). EN ISO 15148. Higrothermal performance of buildings materials and products – Determination of water absorption coefficient by partial immersion.
- FAPOHUNDA, C. et al. Structure and Properties of Mortar and Concrete with Rice Husk Ash as Partial Replacement of Ordinary Portland Cement—A Review. 2017. *Int. J. Sustain. Built Environ.*, v. 6, p. 675–692. DOI: 10.1016/j.ijsbe.2017.07.001.
- FEDIUK, R. S. et al. Composite binders for concretes with improved shock resistance. 2019. *Mag. Civ. Eng.*, v. 86, n. 2, p. 104–114. DOI: 10.18720/mce.86.10.
- FENG, Q.-G. et al. Concrete with highly active rice husk ash. 2004. *J. Wuhan Univ. Technol. Mat. Sci. Edit.*, v. 19, p. 74–77. DOI: 10.1007/bf02896587.
- FERRARO, R. M. et al. Carbon neutral off-white rice husk ash as a partial white cement replacement. 2010. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 22, n. 10. DOI: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000109.
- FIGUEIREDO, R. L.; PAVÍA, S. A study of the parameters that determine the reactivity of sugarcane bagasse ashes (SCBA) for use as a binder in Construction. 2020. *SN Appl. Sci.*, v. 2, n. 9. DOI: 10.1007/s42452-020-03224-w.
- FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAOSTAT). Global Rice Production. 2011a. FAQ Statistical Database on crops. Acesso em: 11 fev. 2012. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>.
- FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAOSTAT). Worldwide Rice Production. 2011b. ChartsBin statistics collector team. Acesso em: 12 mar. 2012. Disponível em: <http://chartsbin.com/view/1009>.
- FOŘT, J. et al. Assessment of Wood-Based Fly Ash as Alternative Cement Replacement. 2020. *Sustainability*, v. 12, 9580. DOI: 10.3390/su12229580.
- FRANZ, A. S.; PUKK, K. Crushed Stone Construction Aggregate Products. 2018. The Norwegian EPD Foundation, Oslo and Bærum.

- GEDÉFAW, A. et al. Experimental Investigation on the Effects of Coffee Husk Ash as Partial Replacement of Cement on Concrete Properties. 2022. *Advances in Materials Science and Engineering*. DOI: 10.1155/2022/4175460.
- GHER, N. et al. Eco-Friendly Mortar: Optimum Combination of Wood Ash, Crumb Rubber, and Fine Crushed Glass. 2021. *Case Stud. Constr. Mater.*, v. 15, e00588. DOI: 10.1016/j.cscm.2021.e00588.
- GHOSH, P.; VENKATACHALAPATHY, N. Processing and drying of coffee—a review. 2014. *International Journal of Engineering Research and Technology*, v. 3, n. 12, p. 784–794.
- GIVI, A. N. et al. Assessment of the effects of rice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete. 2010. *Construction and Building Materials*, v. 24, p. 2145-2150. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.045.
- GLOBAL CEMENT REPORT. Cambodia. 2011. *The Global Cement Report 9 th Ed.*, p. 84.
- GLEN, A. B. et al. Utilization of millet husk ash as a supplementary cementitious material in eco-friendly concrete: RSM modelling and optimization. 2022. *Structures*, v. 49, p. 826–841. DOI: 10.1016/j.istruc.2023.02.015.
- GOLDSTEIN, J. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. 2003. Springer.
- HABEEB, G. A.; FAYYADH, M. M. Rice Husk Ash Concrete: The Effect of RHA Average Particle Size on Mechanical Properties and Drying Shrinkage. 2009. *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, v. 3, p. 1616–1622.
- HASAN, N. M. S. et al. Integration of Rice Husk Ash as Supplementary Cementitious Material in the Production of Sustainable High-Strength Concrete. 2022. *Materials*, v. 15, 8171. DOI: 10.3390/ma15228171.
- HILLS, C. D. et al. Valorisation of Agricultural Biomass-Ash with CO₂. 2020. *Sci. Rep.*, v. 10, 13801. DOI: 10.1038/s41598-020-70868-w.
- HOUGH, J. H. Lightweight building bricks from soil and rice-husk ash. 1955. *Rice Journal*, v. 58, p. 14-15.
- HOUGH, J. H.; BARR, H. T. Possible uses for waste rice hulls. 1956. Louisiana State University Agricultural Experiment Station, *Bulletin No. 507*.
- HUANG, H.; YE, G. Use of Rice Husk Ash for Mitigating the Autogenous Shrinkage of Cement Pastes at Low Water Cement Ratio. 2016. In: *Ultra-High Performance Concrete and Hgh Performance Construction Materials*, Kassel, Germany, 9–11 March 2016, v. 27, p. 1–8.
- HUSSIN, M. W. et al. Durability of high strength concrete containing palm oil fuel ash of different fineness. 2009. *Malaysian J. Civ. Eng.*, v. 21, p. 180–194.
- HUSSIN, M. W. et al. Effect of mixing constituent toward engineering properties of POFA cement-based aerated concrete. 2010. *J. Mater. Civ. Eng.*, v. 22, n. 10, p. 1007–1013. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000105.

IBRAGIMOV, R.; FEDIUK, R. Improving the early strength of concrete: Effect of mechanochemical activation of the cementitious suspension and using of various superplasticizers. 2019. *Constr. Build. Mater.*, v. 228, 116744. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116744.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION (ICO). Output of Coffee Brew in the. 2022.

IKPONG, A. A. The relationship between the strength and non-destructive parameters of rice husk ash concrete. 1993. *Cement and Concrete Research*, v. 23, p. 387-398. DOI: 10.1016/0008-8846(93)90184-Q.

ISAIA, G. C. et al. Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete. 2003. *Cem. Concr. Compos.*, v. 25, n. 1, p. 135–145. DOI: 10.1016/S0958-9465(01)00055-0.

JATURAPITAKKUL, C. et al. Evaluation of the sulfate resistance of concrete containing palm oil fuel ash. 2007. *Constr. Build. Mater.*, v. 21, n. 7, p. 1399–1405. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2006.07.001.

JATURAPITAKKUL, C.; KIATTIKOMOL, K.; TANGCHIRAPAT, W. Utilization of palm oil fuel ash in high-strength concrete. 2004. *J. Mater. Civ. Eng.*, v. 16, n. 6, p. 623–628. DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:6(623).

JAMIL, M. et al. Physical and chemical contributions of Rice Husk Ash on the properties of mortar. 2016. *Constr. Build. Mater.*, v. 128, p. 185–198. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.10.126.

JHA, P. et al. Agro-waste sugarcane bagasse ash (ScBA) as partial replacement of binder material in concrete. 2021. *Mater. Today Proc.*, v. 44, p. 419–427. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.09.528.

JUER, M. C. G. et al. Supplementary cementitious materials: New sources, characterization, and performance insights. 2019. *Cem. Concr. Res.*, v. 122, p. 257–273. DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.05.018.

JULIANO, B. O. Rice: Chemistry and Technology. 1985. St. Paul, Minneapolis: American Association of Cereal Chemists.

KALAGARA, S.; ARYA, A.; REDDY, G. Rheological behavior and strength characteristics of cement paste and mortar with fly ash and GGBS admixtures. 2021. *Sustainability*, v.13, n.17, p.9600. DOI: 10.3390/su13179600.

KANNING, R. C. et al. Banana leaves ashes as pozzolan for concrete and mortar of Portland cement. 2014. *Construct. Build. Mater.*, v. 54, p. 460–465. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.12.030.

KARA DE MAEIJER, P. et al. Effect of ultra-fine fly ash on concrete performance and durability. 2020. *Constr. Build. Mater.*, v. 263, 120493. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120493.

KARAYANNIS, V. G. et al. Sustainable ash-based geopolymers. 2018. *Chem. Eng. Trans.*, v. 63, p. 331–336. DOI: 10.3303/CET1863056.

KARIM, M. R. et al. Fabrication of a non-cement binder using slag, palm oil fuel ash and rice husk ash with sodium hydroxide. 2013. *Constr. Build. Mater.*, v. 49, p. 890–899. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.09.006.

KASANIYA, M. et al. Development of a rapid and reliable pozzolanic reactivity test method. 2019. *ACI Mater. J.*, v. 116, p. 145–154. DOI: 10.14359/51716718.

KAWABATA, C. Y. Aproveitamento de cinzas da queima de resíduos agroindustriais na produção de compósitos fibrosos e concreto leve para a construção rural (Utilization of ashes from the burning of agroindustrial wastes in the production of fibrous composites and lightweight concrete for rural construction). 2008. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

KHEDR, S. A.; ABOU-ZEID, M. N. Characteristics of silica-fume concrete. 1994. *J. Mater. Civ. Eng.*, v. 6, n. 3, p. 357–375. DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(1994)6:3(357).

KIKONGI, P. et al. Curve-fitting regression: improving light element quantification with XRF: Light element quantification improvement with XRF. 2017. *X-Ray Spectrom.*, v. 46, n. 5, p. 347–355. DOI: 10.1002/xrs.2760.

KIM, M. S. et al. Use of CaO as an activator for producing a price-competitive non-cement structural binder using ground granulated blast furnace slag. 2013. *Cement and Concrete Research*, v. 54, p. 208–214. DOI: 10.1016/j.cemconres.2013.08.016.

KOSMATKA, S. H.; WILSON, M. L. Design and control of concrete mixtures: the guide to applications, methods, and materials. 2011. 15. Aufl. Skokie, Ill, Portland Cement Association (Engineering Bulletin, 1).

KROEHONG, W. et al. Effect of palm oil fuel ash fineness on packing effect and pozzolanic reaction of blended cement paste. 2011. *Procedia Eng.*, v. 14, p. 2561–2565. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.07.323.

KUMAR, V.; SHARMA, P. An experimental research on the strength characteristics of concrete with ground nut shell ash, fly ash and coconut shell ashes partial replacement of cement. 2019. *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng. (IJITEE)*, v. 8, n. 8, p. 1405–1409.

6 ANEXOS

Tabela 7- Valores médio, desvio padrão e coeficiente de variação das densidades das argamassas estabilizadas

Estabilização (h)	Traço	Média (g/cm ³)	Desvio padrão (g/cm ³)	CV (%)
0	Referência	2,04	0,006	0,28
0	Traço 1 (5 %)	2,09	0,006	0,28

0	Traço 2 (10%)	2,13	0,006	0,27
12	Referência	1,97	0,006	0,29
12	Traço 1 (5 %)	2,03	0,006	0,28
12	Traço 2 (10%)	2,05	0,006	0,28
24	Referência	1,95	0,006	0,30
24	Traço 1 (5 %)	1,96	0,006	0,30
24	Traço 2 (10%)	1,97	0,006	0,29
36	Referência	1,90	0,006	0,30
36	Traço 1 (5 %)	1,92	0,006	0,30
36	Traço 2 (10%)	1,93	0,006	0,30

Fonte: Autor, 2025

Tabela 8- Resultado do Teor de ar incorporado na argamassa - Traço 0 (Referência)

Ensaio	0h (g/cm ³)	12h (g/cm ³)	24h (g/cm ³)	36h (g/cm ³)
Valor médio da densidade de massa da argamassa (d)	2,04	1,97	1,95	1,90
Valor da densidade de massa teórica da argamassa (dt)	2,17	2,17	2,17	2,17
Teor de ar incorporado na argamassa(A)	25%	23,6%	22,7%	21,5%

Fonte: Autor, 2025

Tabela 9 - Resultado do Teor de ar incorporado na argamassa - Traço 01 – Com cinza (5%)

Ensaio	0h (g/cm ³)	12h (g/cm ³)	24h (g/cm ³)	36h (g/cm ³)
Valor médio da densidade de massa da argamassa (d)	2,09	2,03	1,95	1,90
Valor da densidade de massa teórica da argamassa (dt)	2,15	2,15	2,15	2,15
Teor de ar incorporado na argamassa(A)	23%	22,4%	21,7%	21,5%

Fonte: Autor, 2025

Tabela 10- Resultado do Teor de ar incorporado na argamassa - Traço 02 – Com cinza (10%)

Ensaio	0h (g/cm ³)	12h (g/cm ³)	24h (g/cm ³)	36h (g/cm ³)
Valor médio da densidade de massa da argamassa (d)	2,13	2,05	1,97	1,9
Valor da densidade de massa teórica da argamassa (dt)	2,16	2,16	2,16	2,16
Teor de ar incorporado na argamassa(A)	23,5%	22,35%	21,6%	21,3%

Fonte: Autor, 2025