ARGAMASSA SUSTENTÁVEL COM CINZA DA CASCA DE PALMA

SUSTAINABLE MORTAR WITH PALM SHELL ASH

Letícia Karolayne da Silva Magno[1]; João Pedro Costa Alves[2]; Antônio Michael Marques da Cruz[3]; Lerika do Amaral Poll[4]; Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro[5]

[1]Cursando Engenharia Civil na Universidade Federal do Pará (Belém – PA, Brasil); [2]Mestrado em Engenharia Civil pelo Programa de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará (Belém – PA, Brasil); [3]Cursando Engenharia Civil na Universidade Federal do Pará (Belém – PA, Brasil); [4] Doutorado em Engenharia Civil pelo Programa de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará (Belém – PA, Brasil); [5] Doutor[a] em Engenharia Civil na Universidade Federal do Pará (Belém – PA, Brasil)

Resumo:
A utilização de resíduos agroindustriais na construção civil é uma estratégia promissora para o desenvolvimento de materiais sustentáveis. A cinza da casca de palma, subproduto da produção de óleo, demonstra potencial como material suplementar ao cimento. Este estudo investigou as propriedades físicas e mecânicas de argamassas com adição e substituição parcial do aglomerante por este resíduo, empregando teores de 10%, 15% e 20%. Foram realizados ensaios de densidade no estado fresco e endurecido, resistência à tração na flexão, compressão, índice de consistência e coeficiente de capilaridade. Os resultados indicam que tanto a adição quanto a substituição proporcionam um bom desempenho mecânico, confirmando a viabilidade técnica da cinza de palma como alternativa sustentável na produção de argamassas. Adicionalmente, o resíduo contribui para a redução das emissões de CO_2, promovendo uma opção mais ecológica e economicamente viável. Conclui-se que a cinza possui elevado potencial de valorização na indústria da construção, alinhando-se perfeitamente com os princípios de sustentabilidade e economia circular.

Palavras-chave:
Construção civil; Argamassa de Revestimento; sustentabilidade.

Abstract:
The use of agro-industrial waste in civil construction has proven to be a promising strategy for developing sustainable materials. Palm shell ash, a byproduct of palm oil production, has the potential to be used as a supplementary cementitious material. This study investigated the physical and mechanical properties of mortars produced by adding palm shell ash and by partially replacing the binder, in both cases using contents of 10%, 15%, and 20% to assess its technical feasibility as a sustainable alternative for mortar production. Tests were carried out for density in the fresh and hardened states, flexural tensile and compressive strength, consistency index, and capillary water absorption. The results show that both addition and partial replacement provide good mechanical performance for the mortar, confirming the technical feasibility of using palm shell ash in this technology. Furthermore, the ash contributes to the reduction of CO_2 emissions, promoting a more ecological and economically viable alternative. It is concluded that palm shell ash is a waste product with high potential for valorization in the construction industry, aligning with the principles of sustainability and the circular economy.

keywords:
Civil Construction; Coating Mortar; sustainability

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é responsável por uma parcela significativa do consumo de recursos naturais e da emissão de gases de efeito estufa, principalmente devido ao uso intensivo de cimento Portland. Nesse contexto, a busca por alternativas sustentáveis que aliem desempenho técnico e menor impacto ambiental tem ganhado destaque na pesquisa científica. Uma das abordagens promissoras é a incorporação de resíduos agroindustriais em materiais cimentícios. Esses resíduos, frequentemente descartados de forma inadequada, podem apresentar características pozolânicas, permitindo sua utilização como substitutos parciais do cimento. Dentre os resíduos estudados, destaca-se a cinza da casca de palma, um subproduto gerado a partir da queima da biomassa da palma, comum na região amazônica (AJAYI, et al. 2019)

A casca da palma é rica em sílica amorfa quando queimada sob condições controladas, o que lhe confere propriedades reativas adequadas para aplicações em argamassas. Além disso, seu uso contribui para a redução de resíduos sólidos e para o aproveitamento de fontes renováveis, favorecendo práticas sustentáveis. Estudos prévios têm mostrado que a cinza da casca de palma pode melhorar algumas propriedades das argamassas, como durabilidade, resistência mecânica e desempenho ambiental. No entanto, a variabilidade nas características do resíduo exige uma avaliação criteriosa de sua aplicação em diferentes proporções (AL-KUTTI, et al. 2019); (OLOWE, ADEBAYO. 2015)

Este trabalho tem como objetivo investigar o efeito da adição e da substituição parcial do cimento por cinza da casca de palma em argamassa, analisando propriedades como resistência à compressão, trabalhabilidade e absorção de água. Também se busca avaliar os impactos ambientais da substituição parcial, com foco na redução de emissões de CO_2. A valorização da cinza da casca de palma como adição mineral está inserida em uma abordagem de economia circular e de inovação tecnológica, com potencial de aplicação em larga escala, principalmente em regiões produtoras da palma. A pesquisa contribui para a expansão do conhecimento sobre materiais alternativos e reforça a importância de soluções sustentáveis na construção civil.

2. MATERIAIS E MÉTODO

2.1. MATERIAIS

Para a pesquisa, foram utilizados aglomerante CPII F (Cimento Portland Composto com Filer), conforme os requisitos estabelecidos pela NBR 16697 (ABNT, 2018). A cinza da palma foi moída em moinho de bolas por um período de 3h. O agregado miúdo natural é de origem quartzoso, comercializada na região metropolitana de Belém-PA; a água utilizada é proveniente da rede de abastecimento da Universidade Federal do Pará. A caracterização dos materiais foi realizada através de ensaios normatizados conforme dados da Tabela 1. Ressalta-se que a cinza da casca de palma, utilizada para esta pesquisa, foi recebida tendo sido o processo de queima realizado pela empresa Martins Borges Agroindústria, localizada no município de Garrafão do Norte, Nordeste do Estado do Pará. Não foram disponibilizadas informações sobre a temperatura e o tempo utilizado no processo de queima ou quais outros processos realizados no resíduo mineral.

Material	Propriedades	Método de Ensaio	Valores
Cimento Portland CP II F	Massa específica	NBR 16605 (ABNT 2017)	3,17 g/cm³
Areia Natural	Massa unitária	NBR 16972 (ABNT 2021)	1,55 g/cm³
	Massa específica	NBR 16916 (ABNT 2021)	2,65 g/cm³
	Granulometria	NBR 17054 (ABNT 2022)	1,18 mm
Cinza de palma	Massa específica	NBR 16605 (ABNT 2017)	2,12 g/cm³
	Módulo de finura	NBR 11579 (ABNT 2012)	1,2 %

Tabela 1: Caracterização dos materiais.

Fonte: os autores (2025).

2.2. MÉTODOS

Foram analisadas a composição de argamassas produzidas com a adição da cinza da casca de palma, formada pelo grupo de argamassas (AA) e outro grupo de argamassas com a substituição parcial do aglomerante pela cinza da casca de palma (AS). Para a confecção das argamassas, utilizaram se o traço fixo de 1:4 (cimento:areia) em massa. Sendo produzida uma argamassa de referência (ARef), composta com cimento Portland CPII F, agregado miúdo natural e água potável. Para as argamassas com adição da cinza da casca de palma, utilizou-se o cimento Portland CPII F, o agregado miúdo natural, água potável e as adições de cinza nos teores de 10% (AA10), 15% (AA15) e 20% (AA20), nessa formulação, a quantidade de aglomerante permanece inalterado. Já para a substituição parcial da cinza, utilizou-se o cimento Portland CPII F, agregado miúdo natural, água potável e os teores de 10% (AS10), 15% (AS15) e 20% (AS20) a água foi ajustada conforme analise visual e o ensaio de índice de consistência. As proporções adotadas para cada grupo de argamassa produzida encontram-se na tabela 2.

Composição	Aglomerante (Kg)	Areia natural (Kg)	Cinza da casca de palma - CCP (Kg)	Água (l)	Relação a/c
ARef	0,5	2,0	0	0,3401	0,68
A_{A10}	0,5	2,0	0,05	0,3334	0,66
A_{A15}	0,5	2,0	0,075	0,3816	0,76
A_{A20}	0,5	2,0	0,1	0,4048	0,80
A_{S10}	0,45	2,0	0,05	0,4143	0,92
A_{S15}	0,425	2,0	0,075	0,4040	0,95
A_{S20}	0,40	2,0	0,1	0,3639	0,90

Tabela 2: Traço das composições das argamassas.
Fonte: os autores (2025).

Para a caracterização das argamassas no estado fresco, foram realizados os ensaios de densidade do estado fresco, conforme NBR 13278 (ABNT, 2005) e o ensaio de índice de consistência NBR 13276 (ABNT, 2016). Em seguida, procedeu-se à moldagem de três corpos de prova cilíndricos (5 cm × 10 cm) e três prismáticos (4 cm × 4 cm × 16 cm) para cada composição de argamassa. Adotou-se cura úmida por imersão durante sete dias, após esse período os corpos de provas foram retirados da cura e mantidos em temperatura ambiente até a idade de 28 dias.

No estado endurecido, realizaram-se os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, segundo a NBR 13279 (ABNT 2005), densidade no estado endurecido, seguindo a NBR 13280 (ABNT, 2005) e coeficiente de capilaridade, conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. TRABALHABILIDADE E REOLOGIA

Os resultados dos ensaios de consistência mostram que a utilização da cinza da casca de palma, tanto por adição quanto por substituição parcial, alterou o comportamento reológico das argamassas. O consumo de água aumentou em relação a argamassa de referência para as argamassas com adição (AA15 – 12,3%; AA20 – 19%) e a com substituição (AS10 – 21,84%; AS15 – 18,8%). O aumento da relação água/cimento nas formulações com o material de biomassa em especial as com substituição parcial, está relacionado à maior finura da cinza, o que amplia a área superficial específica do material demandando maior teor de água para obtenção de uma mistura mais homogênea (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Esse resultado é justificado pela natureza física do material alternativo utilizado, pois a cinza da casca de palma ao ser moído suas partículas ficam

menores e assim sua área de contato com outras partículas é maior, o que faz com que o material tenha uma grande área superficial específica, assim é necessário aumentar a quantidade de água para dispersar homogeneamente o material e obter uma mistura mais coesa, com espalhamento adequado evitando-se que a mistura fique seca e sem trabalhabilidade (MEHTA, MONTEIRO. 2014)

O Índice de consistência das argamassas com adição (AA10 – 256mm; AA15 – 268mm, AA20 – 260mm) e as com substituição (AS10 – 259mm, AS15 – 261mm e AS20 – 257mm) em relação a de referência (ARef – 257mm), apresentaram um espalhamento maior, porém permaneceu dentro dos limites estabelecidos pela NBR 13276 (ABNT, 2016), com valores médios entre 256 mm e 268 mm. Isso indica que, apesar da necessidade de um maior consumo de água, a utilização da cinza não comprometeu a fluidez das argamassas.

Com análise visual da imagem (figura 1), realizada no momento da confecção das argamassas, percebeu-se que o proporcionamento adotado foi satisfatório no quesito coesão e trabalhabilidade, com uma misturas coesão, sem exsudação ou segregação dos materiais, reforçando que a cinza da casca de palma pode ser empregada sem impactar negativamente, desde que o traço seja devidamente ajustado as características do material e aos resultados a serem alcançados. (NEVILLE. 2011), (COUTINHO. et al. 2015)

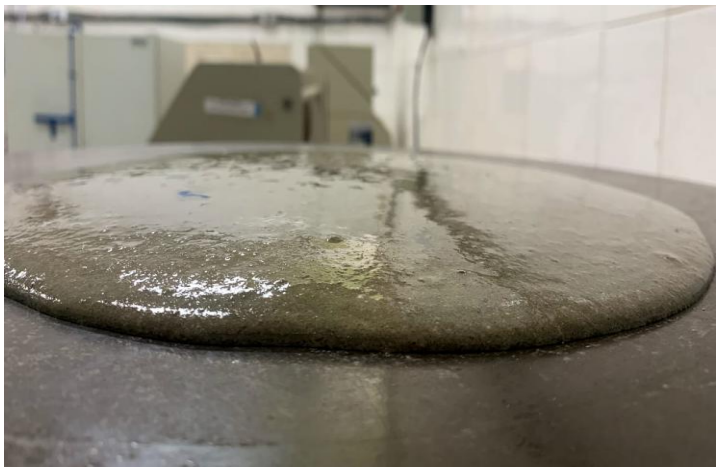


Figura 1: Argamassa com adição de cinza de casca de palma.
Fonte: Autores

3.2. DENSIDADE NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO

Tendo como base os dados da Tabela 3, as argamassas com adição (AS10, AS15 e AS20) apresentaram aumento na densidade no estado fresco, uma vez que o material alternativo é incorporado ao traço sem reduzir a massa do cimento. Esse resultado também é influenciado pela ausência de aditivos incorporadores de ar, que normalmente atuam na formação de microbolhas, reduzindo a massa unitária influenciando diretamente nas propriedades reológicas e físicas da matriz cimentícia (SILVA; CASTRO-GOMES; FERRAZ, 2016). No estado endurecido, foi possível observar redução da densidade em todas as formulações em comparação a argamassa de referência, principalmente devido à evaporação da água e formação de vazios como também pela menor massa específica da cinza em comparação a massa do cimento Portland (FEITOSA, et al. 2021), (ANTONIAZZI, et al. 2020), (PEREIRA, et al. 2017)

Composição	Densidade estado fresco km/m^3	Percentual da densidade no estado fresco km/m^3	Densidade estado endurecido km/m^3	Percentual da densidade no estado endurecido km/m^3
ARef	2.043	Referência	1.863	Referência
A_{A10}	2.157	+ 5,58 %	1.748	- 6,17 %
A_{A15}	2.135	+ 4,50 %	1.851	- 0,64 %

A_{AA20}	2.172	+ 6,36 %	1.874	+ 0,59 %
A_{AS10}	2.125	+ 4,01 %	1.903	+ 2,14 %
A_{AS15}	2.054	+ 0,53 %	1.881	+ 0,96 %
A_{AS20}	2.020	- 1,12 %	1.862	- 0,05 %

Tabela 3: Resultado da densidade no estado fresco e endurecido das argamassas. Os percentuais das argamassas nos estados frescos e endurecidos, com sinais (+) indica que houve um aumento em relação a de referência e (-) houve uma diminuição.
Fonte: os autores (2025).

3.3. DESEMPENHO MECÂNICO E CAPILARIDADE

No gráfico 2, tem-se os resultados dos ensaios mecânicos realizados no estado endurecido, onde é possível fazer uma análise comparativa entre as diferentes técnicas de elaboração. Nos ensaios de resistência à compressão, observou-se redução nas argamassas com maiores teores de cinza de casca de palma, em especial nas composições AA20 (-37,58%) e AS20 (-39,75%). Esse comportamento é coerente com estudos anteriores, que apontam para a diluição do ligante e aumento da porosidade em altos teores de substituição (FEITOSA et al. 2021), (GONÇALVES; GONÇALVES; TUTIKIAN; DAL MOLIN. 2010). Entretanto, as formulações com teores moderados (AA10, AA15 e AS15) demonstraram resistências próximas à da argamassa de referência, indicando que, em proporções controladas, o material de biomassa pode atuar como filler e contribuir para o empacotamento de partículas e a compacidade da matriz cimentícia (COUTINHO et al. 2015).

Na resistência à tração na flexão, as argamassas com adição mantiveram desempenho semelhante à referência, enquanto as com substituição apresentaram reduções mais significativas, sendo a AS20 a com maior redução, cerca de 32,39% em comparação a argamassa de referência. Essa diferença reforça a importância de ajustes de dosagem e controle da relação a/c para mitigar perdas de desempenho mecânico (BITENCOURT; DAL MOLIN. 2019). Esses resultados estão alinhados com os valores encontrados em pesquisas semelhantes: Caracterização e viabilidade de utilização de cinzas de biomassa vegetal em argamassa e Efeito sinérgico das cinzas de biomassa em argamassas: desempenho em diferentes períodos de estocagem. Dos quais indicam que a utilização de material de biomassa pode trazer bons resultados (GUIMARÃES; PAULA. 2025); (GONÇALVES; SOARES; PAULA. 2021); (BARBOSA; BRITO; SOUSA. 2020)

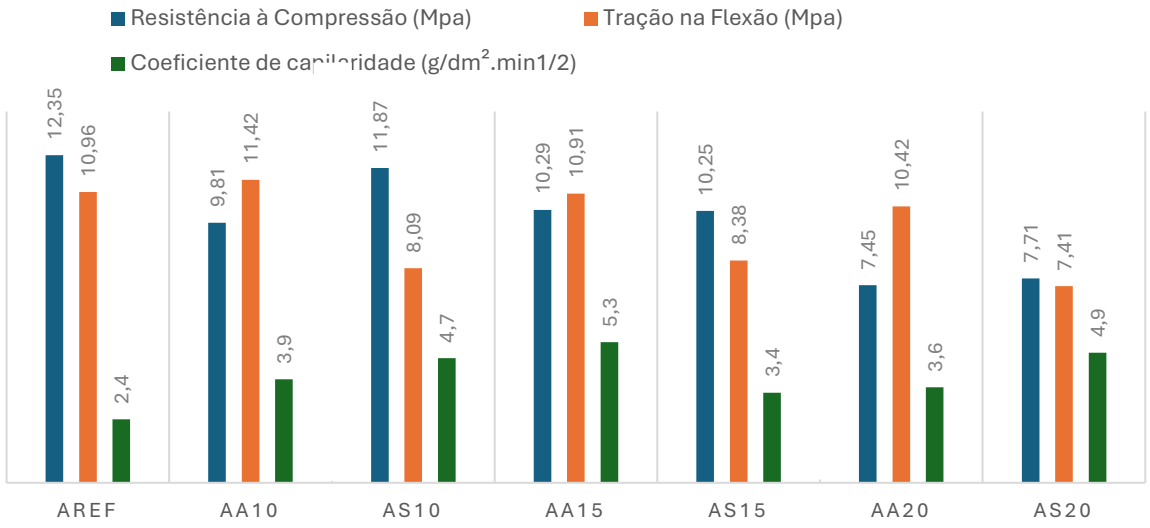


Gráfico 2: Resultados dos ensaios mecânicos das argamassas.
Fonte: os autores (2025).

Os resultados do coeficiente de capilaridade das argamassas com adição e substituição parcial apresentaram um aumento, esse resultado indica que essas matrizes cimentícias possuem uma elevada porosidade, com interligação entre esses poros o que justifica a alta permeabilidade do material produzido (MEHTA, MONTEIRO. 2014)

4. CONCLUSÃO

O estudo apresentou uma análise sobre a influência da cinza da casca de palma nas propriedades físico-mecânicas de argamassas, considerando-se diferentes proporções e formas de incorporação. A presença do resíduo de biomassa, demonstrou um potencial para a utilização das técnicas de adição e substituição parcial, onde os resultados, tanto do estado fresco quanto do estado endurecido, trouxeram uma melhor compreensão, do comportamento e do desempenho de matrizeis cimentícias com esse tipo de material alternativo (CENTENARO; SILVA; PAULINO. 2021)

Embora o presente estudo não contemple a caracterização físico-química detalhada da cinza da casca de palma, sua aplicação neste trabalho se justifica a partir de evidências empíricas obtidas por meio de ensaios e referencial teórico fornecido por uma ampla literatura já consolidada sobre o assunto. Assim, a atuação da cinza da casca de palma como adição e substituição parcial ao cimento demonstrou coerência com o comportamento típico de materiais pozolânicos ou com efeito filler. E os resultados experimentais obtidos, aliados à base teórica da literatura científica, sustentam sua viabilidade técnica e ambiental, principalmente como adição, e justificam futuras investigações mais aprofundadas quanto ao seu comportamento pozolânico.

Os resultados apontam uma viabilidade técnica quanto ao uso desse material, promovendo valores similares aos de referência, com a combinação do material alternativo foi possível reduzir em cerca de 8% o consumo de cimento e 25% o consumo dos agregados naturais, sem grandes prejuízos para as argamassas. Este fato fundamenta que com o proporcionamento adequado dos materiais é possível confeccionar argamassas com bom desempenho.

Com a realização dos ensaios, pode-se demonstrar que a adição da cinza acarretou melhorarias a compacidade da argamassa sem comprometer significativamente suas propriedades mecânicas, enquanto que a substituição parcial pelo cimento trouxe uma redução considerável nas resistências. No estado fresco, as argamassas com adição da cinza apresentaram boa trabalhabilidade, resultado atribuído à maior dispersão das partículas finas e à melhoria na retenção de água. No entanto, as formulações com substituição parcial do cimento apresentaram um aumento na relação a/c, o que afetou negativamente sua resistência.

Pode-se pontuar, que o uso racional desse tipo de materiais alternativos aliado ao parâmetro de uma dosagem adequada entre os materiais para o desenvolvimento de argamassas com desempenho mecânico, durabilidade, podem ser utilizados em parceria com o compromisso ambiental na promoção da sustentabilidade no setor da construção civil como alternativa viável para reduzir o consumo de cimento Portland, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e a redução de custos representar uma estratégia promissora para o aproveitamento de resíduos e o desenvolvimento de soluções construtivas mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJAYI A. S.; OLUWOYE J.; OLUTOGE F. A.; COKER A. O. Impact of Palm Kernel Shell Ash (PKSA) on the Strength and Water Absorption of Compressed Stabilized Earth Blocks (CSEB). Academia Scholarly Journal of Research, v. 7, n. 10, p. 268-277, 2019.

AL-KUTTI, W.; ISLAM, A. B. M. S.; NASIR, M. A. Potential use of oil palm shell as lightweight aggregate in concrete – A review. Construction and Building Materials, v. 201, p. 200-206, 2019.

ANTONIAZZI, J. P.; MOHAMAD, G.; CASALI, J.M.; SCHMIDT, R.P.B. Incorporação de ar em argamassas estabilizadas: influência dos aditivos, agregados e tempo de mistura. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 285–304, jul./set. 2020.

ANTONIAZZI, J. P.; MOHAMAD, G.; CASALI, J.M.; SCHMIDT, R.P.B. Influência da ação combinada de aditivos, incorporador de ar e estabilizador de hidratação, nas propriedades da argamassa estabilizada por até 48 horas. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, e-12703, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: Argamassa 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. NBR 13280: Argamassa 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. NBR 15259: Argamassa 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. NBR 16697: Cimento Portland — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16916: Agregado miúdo – determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16972: Agregados – Determinação massa unitária e índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17054: Agregados – Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605: Cimento Portland – Determinação do indicie de finura por meio da peneira 75µm (nº200). Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11579: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa especifica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17054: Agregados – Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281-1:2023 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Parte 1: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2023.

BARBOSA, R. F.; BRITO, J. D.; SOUSA, L. M. *Análise do comportamento mecânico de argamassas para alvenaria estrutural*. Revista Engenharia Civil, v. 28, n. 2, p. 59–74, 2020.

BENTES, J. L. S.; SILVA, R. V.; PINTO, M. I. S.; GONÇALVES, A. F.; BRITO, J. D. Argamassas leves com resíduos da construção civil: Avaliação da massa específica e resistência mecânica. Revista Ambiente Construído, v. 21, n. 3, p. 61–73, 2021

BESERRA, A. V. S.; DIAS, L.S.; DAMASCENO, H. L.; SANTOS, R.A. Análise do comportamento de concreto com adição de cinza de biomassa vegetal submetido ao ataque de íons sulfato. Revista Matéria, v. 25, n. 4, 2020.

BITENCOURT, L. R.; DAL MOLIN, D. C. C. *Argamassas com adições minerais: desempenho mecânico e durabilidade*. Revista Matéria, v. 24, n. 1, e12345, 2019.

CENTENARO, G.; SILVA, J.A.G.; PAULINO, R.S. Uso de cinzas de biomassa geradas na agroindústria do malte para produção de argamassas. Revista Internacional de Ciências, v. 11, n. 2, p. 158–176, 2021.

COELHO, V. A.; FIUZA JUNIOR, R. A.; SILVA, F. G. S. Desenvolvimento de argamassa álcali-ativada baseada em cinzas de caldeira de dendê e queima de madeira. Ambiente Construído, v. 23, n. 3, p. 139–165, 2023.

COUTINHO, J. S.; MARQUES, T. S.; PINTO, H. C.; GONÇALVES, A.; FIGUEIRAS, J. A. Efeito da substituição do cimento por fíler calcário nas propriedades do concreto. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 8, n. 2, p. 168–187, 2015.

FEITOSA, C. J. D.; SILVA, J. A.; SILVA, A. P. G.; CORREIA, M. T. S. Caracterização e aplicação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em misturas de concreto seco. Revista Principia, v. 1, n. 1, 2021.

GONÇALVES, C. F.; SOARES, A. F.; PAULA, H. M. Caracterização e viabilidade de utilização de cinzas de biomassa vegetal em argamassa. Revista ALCONPAT, v. 11, n. 2, p. 1–16, 2021.

GONÇALVES, J. P.; TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação da absorção de água por capilaridade em argamassas com adição de metacaulim e sílica ativa. Revista Matéria, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 220–230, 2010.

GUIMARÃES, C. C. C.; PAULA, H. M. Efeito sinérgico das cinzas de biomassa em argamassas: desempenho em diferentes períodos de estocagem. *Paranoá*, v. 18, e52950, 2025.

HANSTED, F. A. S.; HANSTED, A. L. S.; PADILHA, R. F. A.; SILVA, J. A. Potencial de reciclagem de resíduos de madeira e cinza de caldeira de biomassa em um material compósito cimentício. Revista Principia, v. 1, n. 1, 2021.

KUMAR, P.; MOHAN, M. Utilization of agro-waste ashes in cementitious materials: A review. *Construction and Building Materials*, v. 344, p. 128196, 2023.

LIMA, F. A. S. Obtenção e caracterização de um compósito de matriz cerâmica com cargas de resíduos de EPS e raspa de pneu para construção de casas populares. Tese - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

LIU, X. et al. Effect of pozzolanic materials on pore structure and durability of cement-based composites. *Materials Today: Proceedings*, v. 33, p. 345–351, 2020.

MAZONI, E. M. Caracterização física e mecânica de concreto leve com EPS reciclado. Dissertação - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

NEVILLE, A. M. Properties of Concrete. 5. ed. London: Pearson Education Limited, 2011.

NGUYEN, T. H. et al. Role of air-entraining admixtures in enhancing workability of eco-friendly cementitious materials. *Journal of Building Engineering*, v. 45, p. 103567, 2022.

OLOWE, K. O.; ADEBAYO, V. B. Investigation on Palm Kernel Ash as Partial Cement Replacement in High Strength Concrete. SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE), v. 2, n. 4, p. 45-50, 2015.

PEREIRA, L. B.; SILVA, G. J. C.; SILVA, R. V.; BRITO, J. D.; VEIGA, M. R. Propriedades de argamassas leves com adição de perlita expandida. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 10, n. 5, p. 1174–1193, 2017.

PONTES, I. C.; FERREIRA, R. L. S.; BARROSO, T. R.; LIMA, J. F.; SANTOS, T. M. Efeitos da adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades de argamassas cimentícias. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 1-8, 2022.

SHAFIGH, P. et al. Performance of biomass ash in sustainable construction: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, v. 379, p. 134706, 2022.

SILVA, G. J. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; KOENDERS, E. A. B.; FAIRBAIRN, E. M. R. Influência da adição de fíler calcário e sílica ativa nas propriedades do concreto autoadensável. Revista Matéria, v. 18, n. 2, p. 1223–1236, 2013.

SILVA, M. W. M.; SILVA, R. V.; BRITO, J. D.; SILVA, G. J. C. Absorção de água em argamassa leve com a incorporação de poliestireno expandido. Scientia Plena, v. 16, n. 2, 2020.

SILVA, R. B.; CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; TAVARES, L. M.; GOMES, O. F. M. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 93-104, abr./jun. 2016.

SILVA, R. V.; SILVA, G. J. C.; PEREIRA, L. B.; BRITO, J. D. Utilização de EPS reciclado para produção de argamassa leve. Revista Matéria, v. 21, n. 2, p. 389–399, 2016.

SILVA, R. V; CASTRO-GOMES, J. P.; FERRAZ, A. P. Utilização de EPS reciclado para produção de argamassa leve. Revista Matéria, v. 21, n. 2, p. 389–399, 2016.

TAYEH, B. A. et al. Physical, chemical, and mechanical properties of agricultural waste-based ashes for sustainable cementitious composites. *Environmental Technology & Innovation*, v. 30, p. 102054, 2023.

XAVIER, B. C.; BASSANI, F.; MENDES, A. S. Avaliação do concreto leve estrutural com EPS reciclado. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 12, n. 3, 2016.

YAN, S. et al. Influence of supplementary cementitious materials on mechanical and durability properties of concrete: a meta-analysis. *Cement and Concrete Composites*, v. 122, p. 104171, 2021.

ZHAO, Y. et al. Role of filler effect and micro-filling capacity in cement paste with mineral additions. *Cement and Concrete Research*, v. 153, p. 106709, 2022.