



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



**ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS COM INCORPORAÇÃO DE CINZA DE
CAROÇO DE AÇAÍ RESIDUAL**

**ARTHUR RODRIGUES DOS SANTOS
MARLON TEIXEIRA DE OLIVEIRA**

**Belém - PA
Novembro/2025**

**ARTHUR RODRIGUES DOS SANTOS
MARLON TEIXEIRA DE OLIVEIRA**

**ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS COM INCORPORAÇÃO DE CINZA DE
CAROÇO DE AÇAÍ RESIDUAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à 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: Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro

**Belém
Novembro/2025**

**ARTHUR RODRIGUES DOS SANTOS
MARLON TEIXEIRA DE OLIVEIRA**

**ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS COM INCORPORAÇÃO DE CINZA DE
CAROÇO DE AÇAÍ RESIDUAL**

Belém, 04 de novembro de 2025

Profa. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro
Dra. pela UFPA
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Christiane Lima Barbosa (UFPA)
Dra. pela UFPA

Prof. Felipe de Sá Moreira (UFPA)
Dr. pela UFPA

CONCEITO FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pois sem Ele nada em minha trajetória até aqui seria possível, pois Ele em toda a sua infinita benevolência me guiou e me manteve de pé para encarar tal jornada com perseverança. Apesar de todas as dificuldades e intercorrências enfrentadas, Ele sempre esteve ao meu lado ouvindo e atendendo a todas as minhas orações, para que o sucesso em minha jornada acadêmica e pessoal fosse alcançado. Acima de tudo, Ele foi e sempre será fundamental em minha vida para me sustentar em todos os momentos de alegrias e tristezas.

Agradeço imensamente à nossa orientadora, Profa. Dra. Luciana Cordeiro, que foi essencial para estarmos aqui, com todo o seu apoio, dicas, conselhos, paciência e profissionalismo, nos guiou pelos melhores caminhos para que alcançássemos nossa meta. Muito obrigado por nos acompanhar nesta jornada, sei que não foi um trabalho fácil, serei eternamente grato por toda a dedicação disponibilizada para nos auxiliar, além de professora, sempre será uma grande inspiração para mim.

Gostaria de agradecer também a todos os professores que foram essenciais em minha formação acadêmica, compartilhando seus conhecimentos e experiências para contribuir em minha carreira profissional como engenheiro civil, sempre com muito profissionalismo e dedicação para com o meu aprendizado e desenvolvimento.

Agradeço à empresa Petruz Fruity, por nos receber muito bem e disponibilizando-se a nos fornecer as cinzas de caroços de açaí, principal material de nossa pesquisa. Minha gratidão ao doutorando Bruno Alencar, por todo o apoio que nos deu no processo de elaboração da pesquisa, suas dicas e ponderações foram muito importantes em nosso desenvolvimento acadêmico.

Sou eternamente grato à minha família por todo o suporte, em especial à minha mãe, Doris, que ao longo de todos esses anos, desde o dia do meu nascimento não mediu esforços para sempre me auxiliar a realizar os meus sonhos e mesmo diante de qualquer dificuldade, continua me acompanhando e acreditando em meu potencial. Ao meu pai, Moacir, por ter me acompanhado nessa jornada desde sempre, cuidando, orientando e moldando meu caráter para chegar até aqui, mesmo que houvesse dificuldade, sempre esteve ao meu lado. A todos os meus irmãos, mesmo à distância, o apoio de vocês foi de suma importância para prosseguir nessa jornada. À Yandra, minha companheira de vida, que sempre me incentivou a não desistir dos meus sonhos e esteve ao meu lado ao longo de toda a jornada universitária. A todos vocês, saibam que seus esforços e renúncias não foram em vão, irei honrar cada um, retribuindo tudo o que fizeram e continuam a fazer por mim.

A todos os amigos que fiz ao longo da graduação, em especial ao meu colega de jornada e profissão, Marlon Oliveira, agradeço por todo o auxílio ao longo do curso, foi essencial para alcançarmos o sucesso ao fim deste ciclo, espero muito em breve encontrá-los ao longo da trajetória profissional. Ao engenheiro João Miranda, Ferdinando Alberto, Nerineide Frazão e Raimundo Otávio, meus mentores ao longo do período de estágio, muito obrigado por todos os ensinamentos que levarei para a vida, todos essenciais para a minha formação.

Arthur Rodrigues dos Santos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, meu imenso agradecimento. Durante toda a minha trajetória até aqui, foi base nos momentos difícil que passei, tanto pelo fato de estar longe de casa, longe da família, quanto pelas dificuldades que enfrentamentos no ecorrer desses anos de graduação. Agradeço pelos momentos de felicidade que me proporcionou ter que acabaram por ser os melhores da minha vida até aqui.

Agradeço de coração aos amigos, Águida Gonçalves, Juliana Tenório, Matheus Filipe, Natan Carvalho, Vanessa Carvalho e Mateus Lima, que se tornaram família e me acolheram tão bem que aliviou o peso que é a trajetória que enfrentamos. Agradeço a todos os outros que no decorrer do curso vão se tornando amigos e ajudando de forma direta ou indireta em nossa formação.

E aos meus grandes amigos, Melquesedeque Campos e Paulo Haniel, que mesmo sendo de outra área de atuação, foram de grande ajuda, no âmbito acadêmico, família, e ajudando a aproveitar a vida melhor e sempre sorrindo.

À professora Luciana Cordeiro, que aceitou ser nossa Orientadora, que sempre nos acolheu com um grande sorriso, que nos acompanhou e se tornou de certo modo, nossa amiga, pela parceria e tempo dedicado conosco. Agradeço também pela paciência que teve ao orientar este trabalho.

Aos Meus pais, Manoel e Gleicicleia, minha eterna gratidão. Sempre me apoiando nos meus objetivos, nas minhas decisões e sendo meu grande suporte, mesmo de longe, sempre presente. Sem vocês, não conseguiria chegar tão longe, muito obrigado por tudo, pelos pequenos gestos, pelas palavras, pela boa educação e por sempre terem se esforçado ao máximo para tornar minha vida melhor.

Marlon Teixeira de Oliveira.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (A) Mapa de localização da empresa Petruz Fruity. (B) Forno industrial para queima do caroço de açaí	14
Figura 2 – Corpo de prova após ensaio de tração à flexão	17
Figura 3 – Realização do ensaio de compressão	17
Figura 4 – Determinação do Índice de Consistência	18
Figura 5 - Variação de densidades no estado fresco e no estado endurecido (Kg/m^3)	18
Figura 6 - Coeficiente de capilaridade	20
Figura 7 – Resultado dos ensaios de Compressão	20
Figura 8 – Resultado dos ensaios de Tração	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização física dos materiais utilizados	14
Tabela 2 - Traços adotados	15
Tabela 3 – Normas utilizadas para caracterização das argamassas	15
Tabela 4 – Densidades no Estado endurecido	16
Tabela 5 – Absorção de água por capilaridade	16
Tabela 6 – Índice de consistência NBR 13276 (ABNT, 2016)	17

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	JUSTIFICATIVA	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1	Argamassa de revestimento com resíduos de caroços de açaí	12
4	MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1	Materiais	13
4.2	Métodos	14
4.2.1	Produção e caracterização das argamassas	14
4.2.2	Ensaio no Estado Fresco	15
4.2.3	Ensaio no Estado Endurecido	16
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
6	CONCLUSÃO	21
	REFERÊNCIAS	23

ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS COM INCORPORAÇÃO DE CINZA DE CAROÇO DE AÇAÍ RESIDUAL

Arthur Rodrigues dos Santos
Marlon Teixeira de Oliveira

RESUMO

O açaí, fruto típico da região norte, apresenta diversos benefícios, tanto nutricionais quanto econômicos para a região, no entanto, o seu beneficiamento implica na geração de resíduos que não apresentam, em sua maioria, um descarte adequado. Aliado a isso, a produção de cimento para a construção civil acarreta na geração de gases prejudiciais ao meio ambiente. Portanto, o presente estudo tem o objetivo de investigar a utilização das cinzas dos caroços de açaí residual (CCAR), como substituto parcial do cimento para argamassas de revestimento, realizando o aproveitamento dos resíduos gerados no despulpamento do açaí. No decorrer da pesquisa, avaliou-se os teores de substituição de 6%, 11% e 25% e foram realizadas análises químicas e físicas das cinzas, a fim de verificar a sua viabilidade como adição mineral. Avaliou-se as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, a partir de ensaios como: trabalhabilidade, resistência à compressão e absorção de água por capilaridade. A argamassa com substituição de 11% apresentou maior resistência à compressão (cerca de 3,1 Mpa) e menor absorção de água por capilaridade (em torno de 0,85 g/cm³), em relação ao traço de referência, com 6% de substituição. Resultados como estes, podem impactar positivamente na redução dos custos de produção de argamassas, na geração de renda e na utilização de um material mais sustentável.

Palavras-chave: Cinzas de caroços de açaí. Substituição do cimento. Adição mineral. Argamassas. Gestão de resíduos.

ABSTRACT

Açaí, a fruit native to northern Brazil, offers numerous nutritional and economic benefits to the region; however, its processing generates significant amounts of waste, most of which is not properly disposed of. Additionally, cement production in the construction industry contributes to the emission of environmentally harmful gases. Therefore, this study aims to investigate the use of residual açaí stone ash (CCAR) as a partial replacement for cement in rendering mortars, promoting the reuse of waste generated during açaí pulp extraction. Throughout the research, replacement levels of 6%, 11%, and 25% were evaluated, and physical and chemical analyses of the ash were conducted to verify its feasibility as a mineral additive. The properties of the mortars in both the fresh and hardened states were analyzed through tests such as workability, compressive strength, and water absorption by capillarity. The mortar with 11% substitution exhibited higher compressive strength (approximately 3.1 MPa) and lower water absorption by capillarity (around 0.85 g/cm³) compared to the reference mix and the 6% substitution. Results such as these may positively contribute to reducing mortar production costs, generating income, and promoting the use of a more sustainable material.

Keywords: Açaí seed ash. Cement replacement. Mineral admixture. Mortars. Waste management.

1 INTRODUÇÃO

O açaí (*Euterpe oleracea*) é um fruto característico da região amazônica, reconhecido mundialmente não apenas por suas elevadas propriedades nutricionais, mas também pelo impacto socioeconômico que gera. No entanto, o crescente aumento da produção e do processamento em larga escala deste fruto resulta na geração massiva de um subproduto: os caroços, que correspondem a cerca de 70% a 85% do volume total do fruto (Cordeiro et al., 2019). O descarte inadequado desse resíduo agroindustrial representa um problema ambiental considerável para a região, exigindo o desenvolvimento de estratégias eficazes de reaproveitamento e valorização (Neves, 2022).

Paralelamente, o setor da construção civil é um dos mais intensos e vitais para a economia global, mas também é um dos maiores causadores de impactos ambientais negativos, conforme destacado por Araújo et al. (2021). Especificamente, a produção de cimento, um de seus principais insumos, demanda elevadas quantidades de energia e é responsável pela emissão de uma grande proporção de gases poluentes. Nesse contexto, a incorporação de resíduos agroindustriais em materiais de construção civil tem se intensificado como uma alternativa crucial para mitigar esses danos e promover a sustentabilidade setorial.

Nesse cenário, estudos recentes (Silva et al., 2022; Lima & Costa, 2021) têm apontado o potencial das cinzas obtidas a partir do caroço de açaí como um aditivo promissor para materiais cimentícios, como as argamassas de revestimento. Conforme Araújo, Garcia e Bonfim (2021), a cinza de caroço de açaí possui propriedades pozolânicas, ou seja, reage com o Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)_2) na presença de água, formando compostos cimentícios adicionais. Essa reação é fundamental, pois, ao reduzir o teor de vazios, confere ao material maior durabilidade, resistência à compressão e melhor impermeabilidade (Lima & Costa, 2021). Portanto, a utilização desse resíduo não só contribui para a redução do volume depositado em aterros, mas também otimiza o desempenho técnico das argamassas (Silva et al., 2022).

Diante do desafio ambiental imposto pela geração do resíduo do açaí, resultante do aumento da produção e do processamento industrial do fruto, que gera grandes volumes de caroços descartados inadequadamente (Araújo et al., 2021; Cordeiro et al., 2019), e da necessidade urgente de alternativas mais sustentáveis para a construção civil, faz-se necessária a intensificação da pesquisa sobre a aplicação desse subproduto. O setor da construção civil, por sua vez, é um dos maiores emissores de CO_2 devido ao processo de fabricação do cimento, que libera grandes quantidades de gás carbônico na atmosfera durante a queima do clínquer (Silva, 2020; Beraldo, 2021). Dessa forma, a aplicação da cinza do caroço de açaí como substituto parcial do cimento representa uma dupla oportunidade de impacto positivo: redução de resíduos agroindustriais e diminuição do consumo de cimento Portland, contribuindo para práticas mais sustentáveis. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo geral analisar a viabilidade técnica da substituição parcial do cimento pela cinza do caroço de açaí em argamassas de revestimento. Além disso, objetiva-se promover uma destinação sustentável ao resíduo agroindustrial (Oliveira et al., 2022), contribuir para a redução da pegada de carbono do setor da construção civil e avaliar o potencial de geração de renda pela valorização do subproduto (Fapespa, 2024; Broto, 2021).

2 JUSTIFICATIVA

O açaí é uma fruta originária da Amazônia, sendo encontrada mais comumente nos

estados do Pará e Amazonas (Araújo et al., 2021). É muito valorizado por seu alto teor de antioxidantes, fibras, e ácidos graxos saudáveis. Com um sabor característico, geralmente é consumido na forma de polpa, sucos ou tigelas. O açaí também tem um papel importante na economia local, sustentando comunidades que dependem da colheita. Nos últimos anos, a popularidade do açaí cresceu globalmente, consequentemente a produção a larga escala passou a gerar altos índices de resíduos sólidos provenientes do descarte dos caroços de açaí (Lima & Costa, 2021).

O Pará lidera a produção nacional de açaí, sendo responsável por cerca de 1,7 milhão de toneladas anuais, segundo a Fundação Amazônica de Amparo a Estudos e Pesquisas em sua 5ª edição - 2023 (Fapespa, 2023). Usar a cinza do caroço de açaí em argamassas de revestimento pode ser justificado por diversos fatores técnicos, econômicos e ambientais. Primeiramente, a cinza do caroço de açaí é um resíduo abundante na região amazônica e norte do Brasil, mais especificamente no Pará, maior produtor do Brasil, onde o consumo de açaí é alto (BROTO, 2021). Aproveitar esse material como aditivo para argamassas auxilia na gestão de resíduos e reduz a necessidade de descarte inadequado, promovendo a sustentabilidade e contribuindo para a economia circular.

Do ponto de vista técnico, estudos têm indicado que a cinza do caroço de açaí pode ter propriedades pozolânicas, o que potencialmente melhora a durabilidade e resistência das argamassas quando usada em proporções adequadas. Isso ocorre porque materiais pozolânicos reagem quimicamente com a cal e o cimento, fortalecendo a matriz da argamassa e reduzindo a permeabilidade (Cordeiro et al., 2019).

Além disso, a inclusão desse resíduo pode reduzir o custo final da argamassa, pois diminui a quantidade de cimento necessária na mistura, o que neste estudo foram adotadas medidas de 6%, 11% e 25% de substituição de cinza. Com isso, além de reduzir o impacto ambiental associado à produção de cimento, também se promove uma economia significativa nos projetos de construção, tornando o material mais acessível e sustentável (Oliveira et al., 2022).

A Cinza de Caroço de Açaí Residual (CCAR) demonstra ter potencial pozolânico e características físico-químicas que a tornam viável como adição mineral em concretos e argamassas, proporcionando a densificação da matriz cimentícia (Cordeiro et al., 2019). Por fim, o uso de cinzas vegetais, como a do caroço de açaí, em argamassas está alinhado com práticas de construção ecológica, que têm ganhado relevância globalmente. Dessa forma, incorporar a cinza do caroço de açaí em argamassas de revestimento é uma estratégia promissora para aliar inovação, sustentabilidade e desempenho na construção civil.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Argamassa de revestimento com resíduos de caroços de açaí

Segundo Aguiar (2020), materiais vêm sendo estudados a fim de substituir parcialmente os componentes na produção de argamassas, visto que a composição tem um grande viés de aproveitamento e incorporação de materiais, como as cinzas geradas pela agroindústria. Almeida (2019), pontua a importância da construção civil para a economia do país, representando um montante de 6,4% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, porém, suas atividades são consequentemente uma das grandes geradoras de problemas ambientais. Tendo em vista as problemáticas, é de suma importância para a indústria da construção civil, buscar alternativas que minimizem os impactos gerados, sejam eles, no reaproveitamento de resíduos como na substituição do parcial do cimento por materiais alternativos, como no caso das cinzas de caroço de açaí.

Conforme Neves (2022, p. 51), “A questão dos resíduos no Brasil vem enfrentando dificuldades ao longo do tempo, favorecido pelo desafio do governo em elaborar e implementar políticas públicas eficientes para este setor”, pontos importantes na busca de soluções para a redução do descarte irregular dos resíduos gerados pela agroindústria. Beraldo (2021) pontua que “A descoberta de que materiais muitas vezes jogados fora podem ser incorporados aos processos tradicionais da construção civil, após pequenas modificações, resultando em edificações econômica e ambientalmente mais sustentáveis”. Contudo, a qualidade desses resíduos, que são utilizados como incorporadores na produção de cimento em concreto, é subjetiva e envolve vários fatores que partem desde suas propriedades físicas, mecânicas, características morfológicas e sua composição química, como apontado por De Oliveira (2021).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e seus desdobramentos destacam a importância do gerenciamento integrado e sustentável dos resíduos sólidos urbanos, envolvendo tanto agentes públicos quanto privados. A lei incentiva práticas de reaproveitamento e a busca pela redução do desperdício, promovendo a melhoria nos processos produtivos. “A sustentabilidade na construção civil, ao incorporar resíduos agroindustriais, pode resultar em uma redução significativa dos impactos ambientais, além de contribuir para a diminuição dos custos de construção” (Silva, 2020, p. 45). Com base nisso, pode-se avaliar, também, os impactos no âmbito energético da indústria, conforme definem Lima & Costa (2021), “As cinzas de caroço de açaí apresentam potencial para aplicação em materiais cimentícios, contribuindo para a redução do uso de matérias-primas convencionais e favorecendo práticas sustentáveis.”

No contexto da construção civil, a legislação favorece a reutilização de resíduos e subprodutos como estratégias para minimizar o impacto ambiental. Um exemplo é a incorporação de cinzas e escórias na fabricação de cimentos, concretos e argamassas, promovendo uma abordagem de economia circular e contribuindo para a sustentabilidade do setor. Essas práticas, além de reduzirem o descarte inadequado, transformam resíduos em insumos valiosos, alinhando-se aos princípios de desperdício nulo. A implementação desses planos exige um compromisso das indústrias em adotar tecnologias inovadoras, garantindo não só a conformidade legal, mas também vantagens econômicas e ambientais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Os materiais utilizados na composição da argamassa do presente estudo foram: cimento Portland CP II F-32, comercialmente disponível na região metropolitana de Belém. A massa específica deste material foi obtida seguindo as orientações conforme a ABNT NBR 16605 (2017). É importante ressaltar que o ensaio foi realizado em duplicidade, a fim de obter a média entre os resultados.

A cinza de caroço de açaí residual (CCAR) foi obtida em fornos industriais da empresa de polpas de frutas Petruz Fruity, localizada no município de Castanhal – PA (Figura 1 – A), na qual após o despulpamento dos caroços de açaí, os resíduos são mantidos ao ar livre para secagem inicial e posteriormente colocados nos fornos (Figura 1 – B) juntamente com resíduos de madeira proveniente dos pallets utilizados para transporte de materiais por empilhadeiras e outros resíduos, que seriam descartados. O processo é realizado em temperatura controlada, aproximadamente 1500 °C, até que todo o material tenha sido convertido em cinzas, que, de acordo com informações de colaboradores da empresa, seriam descartadas ou doadas para outras empresas utilizarem como adubo em plantios. No entanto, alguns dos caroços que são

colocados para a queima ainda apresentam polpa residual em seu interior, a qual é derretida no processo de torra, o que implica em resíduos sólidos formados por esta polpa residual misturados com a CCAR.

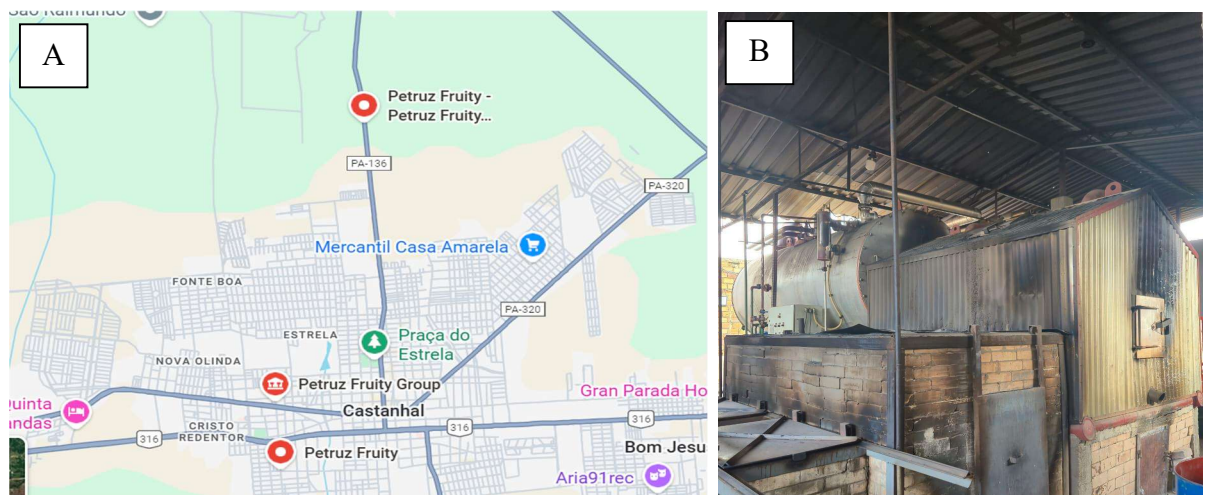
Tabela 1 - Caracterização física dos materiais utilizados – Brasil, 2025.

Materiais	Propriedades	Método de ensaio	Valor característico
CP II-F-32	Massa Específica	NBR 16605 (ABNT, 2017)	2,941 g/cm ³
CCAR	Massa Específica	NBR 16605 (ABNT, 2017)	2,55g/cm ³

Fonte: Autores, 2025.

A água utilizada para produção das argamassas é proveniente do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará (LEC – UFPA) e não possui nenhum tratamento específico para realização dos ensaios.

Figura 1 – (A) Mapa da localização da empresa Petruz Fruity. (B) Forno industrial para queima do caroço de açaí – Brasil, 2025.



Fonte: (A) Google Maps, 2025. (B) Autores, 2025.

4.2 Métodos

4.2.1 Produção e caracterização das argamassas

Após a etapa de caracterização dos materiais utilizados, procedeu-se ao estudo de dosagem com substituição parcial do cimento pela Cinza do Caroço de Açaí Residual (CCAR). Foram definidos três teores de substituição em massa, a saber: 6%, 11% e 25%, com o objetivo de avaliar a influência da CCAR no desempenho da argamassa. A quantidade de areia em todos os traços foi mantida fixa em 900 g, estabelecendo-se uma proporção de referência.

Para este estudo, foram moldados corpos de prova a partir dos seguintes traços em massa (Cimento:CCAR:Areia): 6% (0,94:0,06:4), 11% (0,89:0,11:4) e 25% (0,75:0,25:4), como indicado na Tabela 2. É importante ressaltar que a substituição da CCAR foi realizada em massa e não houve compensação volumétrica em relação ao cimento.

A produção das argamassas foi executada manualmente, seguindo o seguinte procedimento: inicialmente, realizou-se a mistura dos materiais secos (cimento, CCAR e areia). Em seguida, foram adicionados a água previamente definida para cada traço e o aditivo plastificante, na proporção indicada pelo fabricante (100 ml para cada 50 kg de cimento), em

função da quantidade de cimento (Tabela 2). Cada mistura levou aproximadamente 5 minutos para atingir a consistência e plasticidade desejadas para uma argamassa de revestimento, garantindo a homogeneidade do material.

4.2.2 Ensaios no Estado Fresco

As argamassas produzidas foram submetidas a ensaios no estado fresco e no estado endurecido. No estado fresco, foram avaliadas a consistência e a densidade de massa. No estado endurecido, os ensaios realizados incluíram resistência à compressão, densidade de massa e absorção de água por capilaridade.

Tabela 2 - Traços adotados – Brasil, 2025.

	Traço				
	Cimento	CCAR	Areia	a/c	Aditivo (ml)
T1	0,94	0,06	4	1,24	0,85
T2	0,89	0,11	4	1,11	0,80
T3	0,75	0,25	4	0,94	0,68

Fonte: Autores, 2025.

A caracterização das argamassas foi conduzida por meio de ensaios normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), abrangendo as propriedades nos estados fresco e endurecido. Para a determinação do índice de consistência no estado fresco, foi empregada a metodologia descrita na NBR 13276 (ABNT, 2016). O procedimento consistiu na aplicação manual da argamassa em um molde troncônico, posicionado no centro da mesa de consistência. A moldagem foi realizada em três camadas, adensadas com um soquete, aplicando-se 15 golpes na primeira camada, 10 na segunda e 5 na terceira. Em seguida, o molde foi removido, e a argamassa foi submetida a 30 golpes na mesa de consistência, com uma frequência aproximada de um golpe por segundo. De acordo com a norma, a consistência ideal é estabelecida em 26 ± 5 mm. Este requisito foi atendido em todos os traços ensaiados em laboratório, conforme Figura 4. Ademais, a consistência foi monitorada ao longo do tempo para verificar a manutenção da trabalhabilidade, conforme detalhado na Tabela 6.

Tabela 3 – Normas utilizadas para caracterização das argamassas – Brasil, 2025.

Ensaio utilizado para caracterização da argamassa	
ABNT NBR 13276	Determinação do índice de consistência. 2016
ABNT NBR 13278	Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. 2005
ABNT NBR 13279	Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. 2005
ABNT NBR 13280	Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. 2005
ABNT NBR 15259	Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. 2017
ABNT NBR 16605	Determinação da massa específica. 2017

Fonte: Autores, 2025.

4.2.3 Ensaios no Estado Endurecido

Finalizados os ensaios no estado fresco, as argamassas foram moldadas utilizando fôrmas prismáticas de 4 cm x 4 cm x 16 cm e após 24 horas, os corpos de prova foram desformados e permaneceram em cura submersa nos períodos de 28, 63 e 91 dias. Para determinar a densidade das argamassas no estado endurecido, foi empregada a metodologia descrita na NBR 13280 (ABNT, 2005), realizando a pesagem de todos os 36 corpos de prova e medição de suas respectivas dimensões, como mostrado na Tabela 4, obtendo os resultados em kg/m³. É importante destacar que as pesagens de cada corpo de prova foram realizadas em duplicidade, com 20 minutos de diferença, a fim de obter resultados com maior precisão.

Tabela 4 – Densidades no Estado endurecido – Brasil, 2025.

Densidades no estado endurecido			
Idades	T1 (6%) - Média (kg/m ³)	T2 (11%) - Média (kg/m ³)	T3 (25%) - Média (kg/m ³)
28 dias	1872,21	1839,67	1907,67
63 dias	2149,30	2190,15	2169,48
91 dias	2167,70	2180,89	2081,93

Fonte: Autores, 2025.

Após a determinação das densidades no estado endurecido, foi realizado o ensaio de absorção de água por capilaridade, seguindo as instruções contidas na NBR 15259 (ABNT, 2005), mantendo uma coluna d'água com altura de 5 mm, registrando as diferenças de massa dos corpos de prova após 10, 60 e 90 minutos e obtendo a média de absorção de água em cada intervalo, como mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Absorção de água por capilaridade – Brasil, 2025.

Absorção de água por capilaridade			
	10 minutos	60 minutos	90 minutos
T1 (6%) - Média	0,14	0,24	0,38
T2 (11%) - Média	0,16	0,27	0,40
T3 (25%) - Média	0,17	0,32	0,49

Fonte: Autores, 2025.

Ao fim do ensaio, colocou-se os corpos de prova em estufa a 100 °C durante 30 minutos para secagem e mantidos ao ar livre para resfriamento, para a posterior realização dos ensaios destrutivos de tração à flexão e à compressão.

Os ensaios de ruptura por tração à flexão e à compressão foram realizados na prensa hidráulica e seguiram as recomendações indicadas na NBR 13279 (ABNT, 2005). No ensaio de tração à flexão, a ruptura dos corpos de prova ocorreu utilizando três roletes de 10 milímetros de diâmetro cada, sendo dois deles na parte inferior para suporte e o terceiro na parte superior, no centro da peça, onde ocorreu a ruptura, como mostra a Figura 2. Já no caso do ensaio de compressão, utilizou-se as metades dos corpos de prova rompidos no ensaio anterior, utilizando uma chapa metálica entre a prensa e a face do corpo de prova, a fim de distribuir a carga

uniformemente, conforme Figura 3.

Figura 2 - Corpo de prova após ensaio de tração à flexão - Brasil, 2025.



Fonte: Autores, 2025.

Figura 3 - Realização do ensaio de compressão - Brasil, 2025.



Fonte: Autores, 2025.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tabela 6 – Índice de consistência NBR 13276 (ABNT, 2016) – Brasil, 2025.

	Traço 1 (6%)	Traço 2 (11%)	Traço 3 (25%)
	IC Médio (mm)	IC Médio (mm)	IC Médio (mm)
0 min	255	265	257
15 min	235	257	232
30 min	225	242	210

Fonte: Autores, 2025.

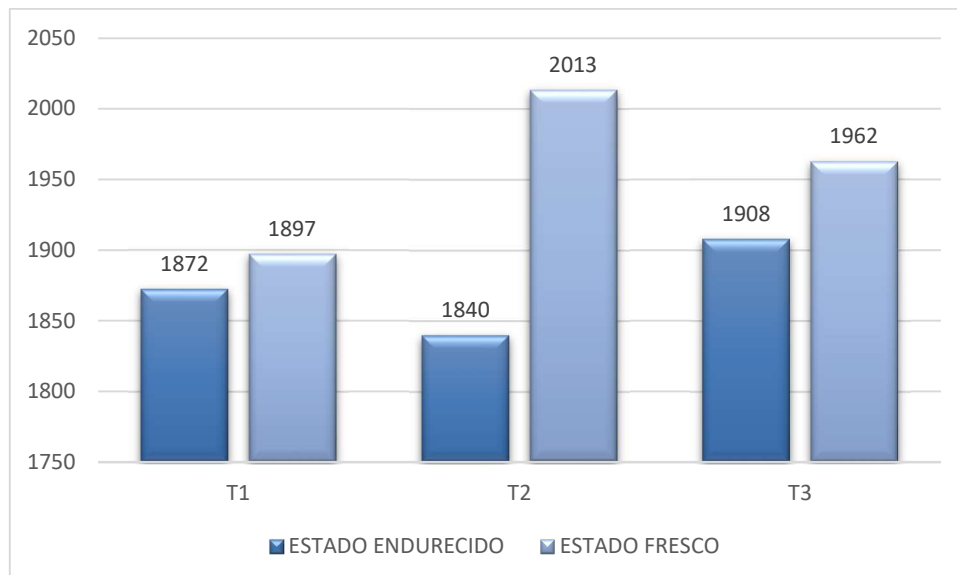
Figura 4 – Determinação do Índice de Consistência – Brasil, 2025.



Fonte: Autores, 2025.

A perda de consistência em todos os traços é inerente ao processo de hidratação do cimento e evaporação da água. No entanto, a análise do impacto da cinza de caroço de açaí residual revela que a taxa de substituição influencia diretamente na durabilidade da trabalhabilidade. Os traços com 6% e 11% de CCAR apresentaram perdas de consistência de 11,76% e 8,68% (Tabela 6), respectivamente, sugerindo que a incorporação da cinza nesses teores não foi significativamente prejudicial e até controlou a perda em 11% (menor perda total). Já o traço com 25% de substituição demonstrou uma perda significativa de 18,29%. Este aumento acentuado é atribuído à alta superfície específica das partículas de CCAR em maior quantidade, que consomem rapidamente a água livre da mistura por absorção e/ou acelerando a demanda de água, tornando a argamassa menos trabalhável em um curto período.

Figura 5 - Variação de densidades no estado fresco e no estado endurecido (Kg/m^3) - Brasil, 2025.



Fonte: Autores, 2025.

A análise da densidade da argamassa no estado endurecido revelou tendências cruciais na compreensão da influência do teor de Cinza de Caroço de Açaí Residual (CCAR) sobre a microestrutura ao longo do tempo de cura, como mostrado na Figura 5.

O traço T3 (25% CCAR) registrou a maior densidade média final. Este resultado é particularmente relevante, visto que este traço havia apresentado uma densidade inferior no estado fresco. Tal aumento sugere uma otimização no processo de compactação durante a cura, que pode estar associada à redistribuição de finos e à acomodação da porosidade, culminando em uma estrutura mais densa e potencialmente mais rígida.

Em contraste, o traço T2 (11% CCAR), que exibiu a maior densidade inicial no estado fresco, apresentou uma variação significativa na densidade final. Este comportamento é um indicativo de maior porosidade interna ou, possivelmente, de segregação de materiais durante o endurecimento. Tais fatores podem impactar negativamente a resistência mecânica e a durabilidade, pois a formação de poros interconectados facilita a absorção de água, uma hipótese corroborada pelos resultados de capilaridade.

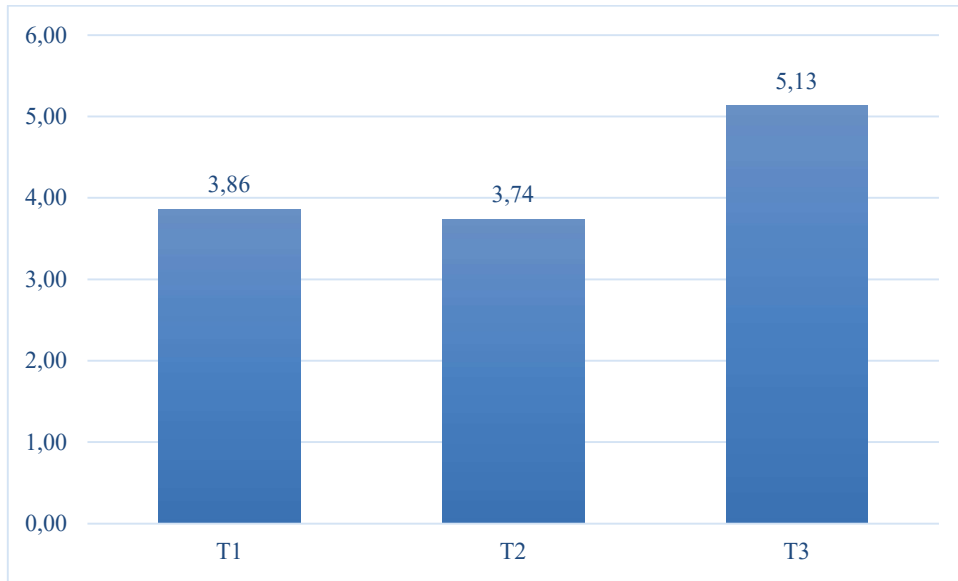
O traço de referência (T1 - 6% CCAR) manteve uma densidade intermediária e relativamente estável, sugerindo maior homogeneidade estrutural ao longo do processo de cura. A baixa dispersão entre os corpos de prova sinaliza que este traço estabelece um equilíbrio superior entre trabalhabilidade inicial e desempenho final consolidado.

Ao correlacionar estes achados com os resultados de capilaridade, evidencia-se que a maior densidade no estado endurecido não é um preditor linear de menor absorção de água. O desempenho da argamassa é regido não apenas pela densidade absoluta, mas criticamente pela distribuição, morfologia e interconectividade da rede porosa. Consequentemente, a seleção do traço ideal deve balancear a densidade com a permeabilidade, visando otimizar a resistência mecânica e a durabilidade a longo prazo.

A avaliação da absorção de água por capilaridade, realizada segundo a NBR 15259 (ABNT, 2017), indicou que as misturas contendo diferentes teores de Cinza de Carvão de Açúcar Residual (CCAR) – 6%, 11% e 25% – apresentaram perfis de absorção muito semelhantes. Dessa forma, o ensaio de capilaridade não se mostrou sensível o suficiente para identificar a influência direta da CCAR no transporte de água nessas proporções.

A invariância de resultados sugere uma interação complexa de fatores microestruturais. A tendência de aumento da porosidade, que tipicamente elevaria a absorção, foi aparentemente neutralizada pelo efeito de preenchimento (filler) das partículas finas da cinza, conforme analisado por Oliveira & Cruz, 2025. Este efeito 'filler' atua preenchendo vazios e refinando a rede porosa. Portanto, o resultado de absorção é o produto final de um equilíbrio entre o aumento de vazios por ar aprisionado e a redução de vazios pela ação da CCAR como preenchimento.

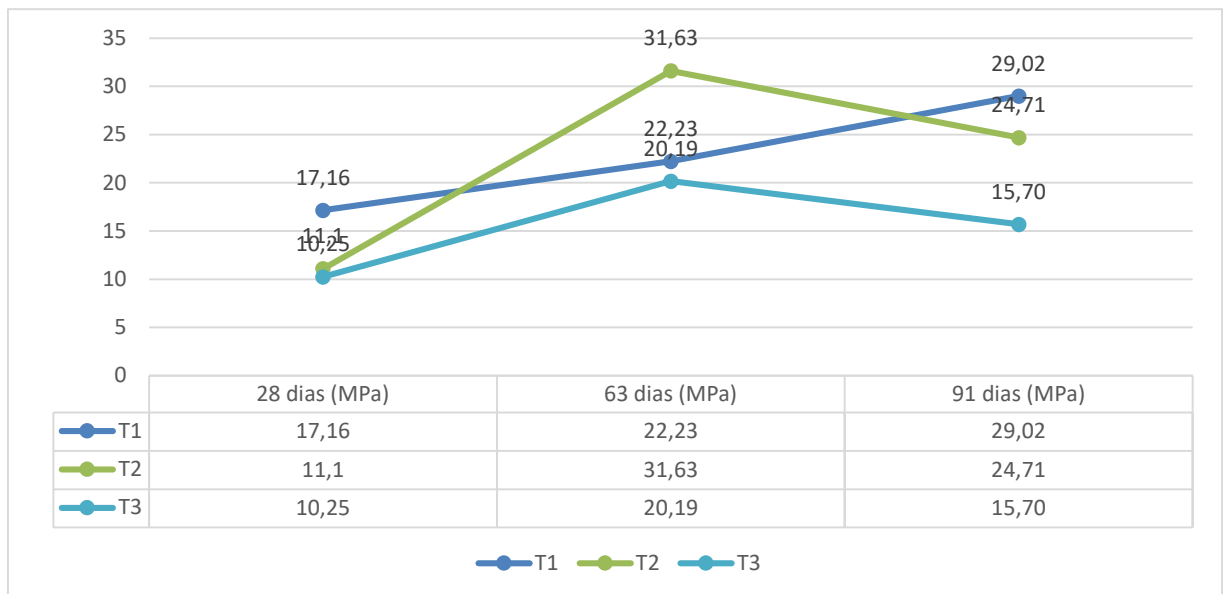
Figura 6 - Coeficiente de capilaridade - Brasil, 2025.



Fonte: Autoral, 2025.

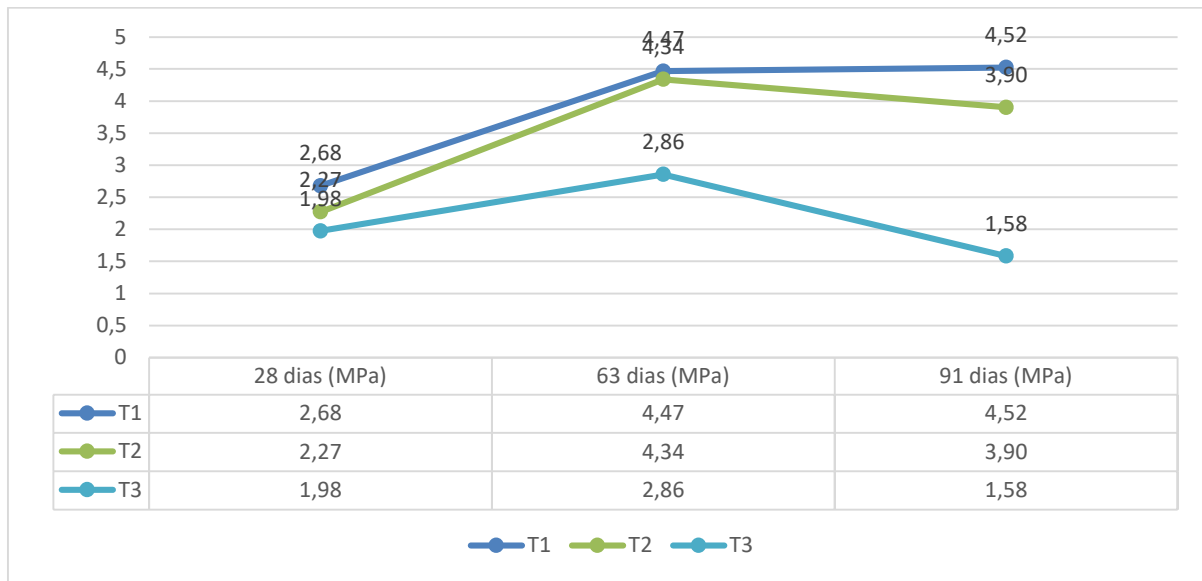
Ao analisar os resultados de resistência à tração na flexão, é possível notar que existem diferenças entre os desempenhos mecânicos de cada traço, tendo em vista as variações consideráveis de resistências para cada idade. Ademais, houve variações ainda mais significativas quanto à resistência à compressão dos CPs. Os resultados apresentados nas figuras 7 e 8 podem estar relacionados com as diferentes composições dos percentuais de CCAR em cada traço, além da distribuição da porosidade na matriz cimentícia e a eficiência da compactação dos corpos de prova.

Figura 7 – Resultado dos ensaios de Compressão - Brasil, 2025.



Fonte: Autoral, 2025.

Figura 8 – Resultado dos ensaios de Tração - Brasil, 2025.



Fonte: Autoral, 2025.

É possível correlacionar os resultados de resistência dos corpos de prova aos de densidade no estado endurecido e absorção de água por capilaridade, evidenciando maior resistência mecânica em traços que apresentam densidade mais elevada, por apresentarem menor índice de vazios em sua estrutura. Em contrapartida, os CPs mais porosos apresentam menor resistência mecânica e maior absorção de água, pois tal porosidade tende a fragilizar a estrutura e torná-la mais propensa à absorção hídrica, comprometendo a durabilidade do material ao longo do tempo.

Diante disso, torna-se essencial avaliar ajustes na formulação dos traços, como a otimização da relação água/cimento, a escolha adequada dos agregados e o uso de aditivos para melhorar a coesão e reduzir a porosidade. Além disso, o processo de moldagem e cura deve ser analisado para garantir que os corpos de prova desenvolvam sua resistência adequadamente antes da realização dos ensaios.

6 CONCLUSÃO

É notável que a utilização das cinzas dos caroços de açaí como substituição ao cimento na fabricação de argamassas pode ser algo promissor para o futuro da engenharia civil, tendo em vista não somente a redução do custo das argamassas, mas também as vantagens em um viés ecológico, pois assim é possível reduzir a quantidade de resíduos gerados pela produção do açaí, além da redução do teor de cimento, o que torna o material mais barato.

Portanto, observa-se que a adição de CCAR em argamassas cimentícias oferece vantagens tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido.

No estado fresco, as argamassas com 6% de CCAR apresentaram baixa densidade, o que é um aspecto positivo para a trabalhabilidade e consistência, enquanto as argamassas cimentícias com substituição de 11% a 25% de CCAR apresentaram altas densidades, o que será importante para as propriedades mecânicas (resistência mecânica) e permeabilidade no decorrer do tempo. Além disso, vale ressaltar também que nenhum dos traços apresentou exsudação ou segregação em suas estruturas.

No estado endurecido, a adição de 6% de CCAR tem uma menor propensão à absorção de água, o que se deve à sua matriz cimentícia mais densa e com menor quantidade de material alternativo, reduzindo a porosidade e dificultando o transporte capilar de umidade. Com relação a resistência à compressão, as argamassas cimentícias com substituição intermediária de 11% apresentaram os maiores ganhos em propriedades mecânicas, o que também se deve à compactação da matriz cimentícia.

Diante dos resultados obtidos, torna-se evidente a necessidade de aprofundar as pesquisas sobre o comportamento da CCAR em diferentes proporções e condições, visando otimizar seu uso e explorar ainda mais suas vantagens. Estudos futuros podem avaliar a durabilidade a longo prazo, a interação com outros materiais cimentícios e os impactos ambientais e econômicos da sua aplicação em larga escala. Dessa forma, o avanço dessas investigações contribuirá para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis, alinhadas às demandas da construção civil moderna e à preservação dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR NETO, Sabino A. *Produção de argamassas com aproveitamento de resíduos de polímeros etílenos e propílenos como materiais de construção civil*. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.
- ALMEIDA, Ana Vitória C. *Diagnóstico da reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos de construção civil pelas cooperativas de reciclagem no município de Belém-PA*. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
- ARAÚJO, Juliene Cruz da Silva; GARCIA, Adson de Sousa; BONFIM, Francirene Pereira; SOUZA, Grazielle Tigre de. *Influência da Cinza do Carço de Açaí nas Propriedades de Argamassas de Chapisco*. Revista Engenharia e Tecnologia, v. 13, n. 3, p. 216-226, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13276 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência*. Rio de Janeiro, 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, 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, 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, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13281-1 – Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios – Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos*. Rio de Janeiro, 2023.
- 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, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16541 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios*. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16605 – Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 2017.
- BERALDO, A. L. (Org.). *Utilização de resíduos agroindustriais na construção*. Campinas: Editora Unicamp, 2021.

BRASIL. *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.* Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 20 jan. 2025.

BROTO. *Produção de açaí no Brasil: cenário e expectativas.* Broto Notícias, 18 out. 2021. Disponível em: <https://noticias.broto.com.br/agricultura/producao-de-acai-no-brasil/>. Acesso em: 10 set. 2025.

CORDEIRO, Luciana de Nazaré Pinheiro et al. *Caracterização da cinza de caroço de açaí residual para adição ao concreto.* Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 45-55, jan./mar. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/X5LWXQt9FHGtqRnQ9MFjwWw/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 31 out. 2025.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISA (FAPESPA). *Nove municípios paraenses lideram produção nacional do açaí, aponta FAPESPA.* 2024. Disponível em: <https://www.fapespa.pa.gov.br/2024/07/04/nove-municipios-paraenses-lideram-producao-nacional-do-acai-aponta-fapespa/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

LIMA, C. F.; COSTA, A. P. *Caracterização das cinzas de caroço de açaí e sua aplicação em materiais cimentícios.* *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(2), 1-9, 2021.

NEVES, R. R. *Avaliação da sustentabilidade da gestão dos resíduos sólidos urbanos de municípios paraenses.* 2022. 253f. Tese (Doutorado em Engenharia Hídrica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2022.

OLIVEIRA, Isaque Lobato de; CRUZ, Jeferson Damasceno. *Avaliação da cinza de resíduo de palma como material suplementar cimentício em pastas: propriedades nos estados fresco e endurecido.* 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2025.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. A. *Resíduo de bauxita da Amazônia como material suplementar ao cimento Portland para a produção de concreto com agregado reciclado.* 2021. 132f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.

OLIVEIRA, Mateus Gonçalves de et al. *Análise bibliográfica da (re) utilização do caroço de açaí na indústria da construção civil.* *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, ed. 4, p. 26852-26867, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n4-272. Disponível em: <https://d1wqtxtslxzle7.cloudfront.net/87364146/pdf-libre.pdf>. Acesso em: 28 out. 2024.

SHAFIQ, N.; NURUDDIN, M. F.; ELHAMEED, A. A. *Effect of Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA) on Sulphate Resistance of Concrete.* *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, v. 3, p. 64-67, 2014.

SILVA, L. H. M. *Sustentabilidade na Construção Civil: Uso de Resíduos e Materiais Alternativos.* p. 45. São Paulo, 2020.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, M. A.; SANTOS, P. R. *Incorporação de resíduos agrícolas em argamassas: um estudo sobre a sustentabilidade na construção civil. Revista Brasileira de Engenharia Civil*, 18(3), 234-250, 2022.