

AValiação Mecânica de Placas Cimentícias com Substituição do Cimento por Cinza do Caróço de Açai¹

MECHANICAL EVALUATION OF CEMENT PLATES WITH REPLACEMENT OF CEMENT WITH ASH FROM AÇAÍ SEEDS

Gabrielle Heloisa Souza de Oliveira²
Natasha Cristina da Silva Costa³

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo geral a avaliação mecânica de placas cimentícias visando a substituição de porcentagens do cimento por cinza do caroço de açai (CAA). Como os problemas ambientais são uma realidade na sociedade atual, que é grande consumidora de recursos naturais e geradora de resíduos, as sementes de açai, amplamente encontradas na região Norte do Brasil e que não tem descarte adequado, além de serem um material que são de difícil decomposição devido ao seu alto teor de lignina (Teixeira *et.al* 2006), tornam-se uma opção quando se pensa na associação entre preservação ambiental, construção civil e inovação, possibilitando assim seu reaproveitamento como insumo. O desenvolvimento da pesquisa ocorreu considerando a substituição de 5% do cimento pela cinza do caroço de açai. Foram moldados três (3) peças de referência e 3 peças com substituição do cimento pelo resíduo. Foram medidas as resistências à compressão e o módulo à flexão. Ao analisar o módulo à flexão das peças observou-se que as peças com adição de CAA suportaram 13,5% a mais que as peças de referência.

Palavras-chave: CCA; Resíduos; Construção Civil.

ABSTRACT: The general objective of this work is the mechanical evaluation of cement slabs with a view to replacing percentages of the cement with açai seed ash (ASA). As environmental problems are a reality in today's society, which is a large consumer of natural resources and a generator of waste, açai seeds, widely found in the Northern region of Brazil and which do not have adequate disposal, in addition to being a material that is difficult to decompose due to their high lignin content (Teixeira *et.al* 2006), they become an option when thinking about the association between environmental preservation, civil construction and innovation, thus enabling their reuse as an input. The development of the research took place considering the replacement of 5% of the cement with açai seed ash. Three (3) reference pieces and 3 pieces were molded by replacing the cement with the residue. Compressive strength and flexural modulus were measured. When analyzing the flexural modulus of the parts, it was observed that the parts with the addition of ASA supported 13.5% more than the reference parts.

Keywords: ASA; Waste; Construction.

Data de Aprovação: 18 / 12 / 2023

¹ Artigo apresentado ao curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Processos Construtivos Residenciais do Instituto Federal do Amapá como requisito para a obtenção do título de Especialista em Processos Construtivos Residenciais.

² Arquiteta e Urbanista, Discente do curso de pós-graduação *Lato Sensu* em Processos Construtivos Residenciais. Contato: gabriellehsoliveira@gmail.com

³ Orientadora, Doutora em Engenharia Civil, Docente do Instituto Federal do Amapá – IFAP da Área da Construção Civil. Contato: natasha.costa@ifap.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O avanço dos materiais na construção civil segue a história do homem, que buscou, desde a pré-história, refúgio e segurança, utilizando aquilo que era encontrado de forma bruta na natureza, como pedra, barro e madeira, para construir abrigos. Passado esse período, as pretensões e necessidades foram mudando, o que exigiram maior resistência, durabilidade e melhor aparência, com isso, os materiais e técnicas da construção foram evoluindo (Barros, 2010).

Com as mudanças socioculturais, materiais com seus diversos usos e formatos passou a ser parte do design e da cultura de certos lugares compreendendo e moldando memórias. Um exemplo disso é a produção de revestimentos cerâmicos e as peças fabricadas artesanalmente a base do cimento e de outras matérias-primas, usados em pisos e paredes como os ladrilhos hidráulicos (Campos, 2011).

O trabalho aborda a história, a definição e a importância dos ladrilhos hidráulicos, que são placas de concreto de alta resistência e beleza, usadas em pisos e paredes, apresentando a proposta de utilizar a cinza do caroço de açaí, um resíduo que seria descartado, na produção de concreto para fabricação de ladrilhos hidráulicos, visando benefícios ambientais, econômicos e técnicos (Campos, 2011; Castro, 2023).

Conforme Oliveira *et al.* (2020) a construção civil é responsável pelo consumo de 40% a 75% da matéria-prima produzida no planeta e dentre inovações que almejam produzir concretos de melhor desempenho, existem uma diversidade de adições minerais que trazem benefícios ao concreto, tanto no seu estado fresco quanto no estado endurecido, um exemplo disso é a cinza do caroço de açaí (CCA).

O trabalho se justifica pelo fato de a cinza do caroço de açaí ser um resíduo que pode ser aproveitado na produção de concreto, substituindo parcialmente o cimento tornando-se relevante, uma vez que, essa substituição pode trazer benefícios ambientais, econômicos e técnicos, como a redução da emissão de CO₂, o aproveitamento de um material que seria descartado e a melhoria das propriedades do concreto, visto que, a CCA possui características pozolânicas, ou seja, reage com a cal liberada pela hidratação do cimento, formando compostos que aumentam a resistência e a durabilidade do concreto. Além disso, a cinza do caroço de açaí atua como um material *filler*, preenchendo os vazios entre os grãos e melhorando a trabalhabilidade do concreto (Nascimento; Oliveira, 2018). A substituição de cimento por cinza do caroço de açaí é, portanto, uma alternativa sustentável e viável para a construção civil.

O objetivo geral da pesquisa é analisar a viabilidade ambiental, econômica e principalmente mecânica, da utilização da cinza do caroço de açaí na produção de concreto para fabricação de ladrilhos hidráulicos. Já os objetivos específicos são: a) avaliar o efeito da substituição parcial do cimento pela cinza do caroço de açaí nas propriedades do concreto no estado endurecido; b) comparar o desempenho do concreto com cinza do caroço de açaí com o concreto convencional em termos de resistência mecânica na fabricação de ladrilhos hidráulicos.

Pretende-se responder ao seguinte problema de pesquisa: A substituição do cimento por cinza do caroço de açaí em concretos é válida no que diz respeito à manutenção da resistência mecânica e módulo à flexão?

A metodologia da pesquisa consiste em uma abordagem experimental, na qual serão realizados ensaios laboratoriais para avaliar as propriedades mecânicas do concreto produzido com a substituição parcial do cimento pela cinza do caroço de açaí para produção de ladrilhos hidráulicos. A cinza do caroço de açaí será obtida a partir da queima controlada dos resíduos gerados pelo processamento do fruto a uma temperatura de 500°C. O concreto será preparado com a porcentagem de substituição do cimento pela cinza do caroço de açaí igual a 5% em relação ao peso do cimento. O concreto será moldado em corpos de prova cilíndricos e moldes

quadráticos, seguindo a norma NBR 5738/2015, que especifica os procedimentos para a moldagem e a cura de corpos de prova, que serão submetidos aos ensaios de resistência à compressão. Os resultados dos ensaios serão comparados com os do concreto convencional, sem a adição da cinza do carvão de açaí, e com os limites estabelecidos pelas normas técnicas vigentes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Breve Histórico Dos Ladrilhos Hidráulicos

Os ladrilhos hidráulicos têm seu surgimento entre o fim do século XIX e meados do século XX, no sul da Europa e rapidamente se disseminaram pelos países mediterrâneos e tornou-se popular também na Inglaterra vitoriana e na Rússia por sua resistência e por suas qualidades decorativas (Medeiros; Silva, 2019).

Já segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2010), a origem dos ladrilhos hidráulicos remonta aos antigos mosaicos bizantinos do século IV, época em que o império bizantino expressava arte e religiosidade nas paredes e pisos, e define como placas de concreto de alta resistência ao desgaste para acabamentos de paredes, pisos internos e externos, contendo uma superfície com textura lisa ou em relevo, colorida ou não, de formato quadrado, retangular ou outra forma geométrica definida.

No Dicionário da Arquitetura de Ernest Burden, o ladrilho hidráulico foi classificado como “uma peça de porcelana ou argila não-vitrificada, feita por uma prensa hidráulica com composição e propriedades físicas parecidas a pastilhas, porém possuindo maior espessura” (Burden, 2006, p. 210).

A Norma Brasileira de Regulamentação (NBR) 9457 (ABNT, 2013), define o ladrilho hidráulico como uma placa de concreto de alta resistência ao desgaste para acabamento de paredes, pisos internos e externos, contendo uma superfície lisa ou em relevo, colorida ou não, de formato quadrado, retangular ou outra forma geométrica definida. Além disso, essa norma estabelece ainda os requisitos e métodos de ensaio exigidos para a aceitação de ladrilhos hidráulicos para pavimentação.

Conforme Campos (2011), o Ladrilho Hidráulico é considerado um dos primeiros produtos padronizados para a construção civil, decorrente do cimento tipo Portland, que revolucionou a indústria da construção e passou a ser utilizado em diversos elementos arquitetônicos.

A partir do ano de 1824, o Ladrilho Hidráulico atual começou a ganhar forma e, em 1867, na Exposição Universal de Paris, os ladrilhos foram apresentados como uma cerâmica que não necessitava de cozimento (Castro, 2022 *apud* Dominguez; Santos, 2014). Destacam-se na produção e popularização do Ladrilho Hidráulico países como a França, Espanha e Portugal, sendo largamente difundidos principalmente nos palácios europeus do século XIX, influenciando a produção na América Latina. No Brasil passaram a ser empregados em larga escala e ganharam destaque com os movimentos artísticos Art Nouveau e Art Déco (Dominguez; Santos, 2017; Wamzer, 2011).

É um tipo de revestimento que reúne beleza e versatilidade e é produzido artesanalmente um a um e feito à base de cimento, fabricado com dupla camada produzido por meio de prensagem. Foi apresentado como alternativa ao mármore ou como uma cerâmica que não necessitava de cozimento, sendo um elemento arquitetônico esteticamente atraente e versátil com alto poder de personalização de cores e modelos, conferindo unidade e exclusividade a cada projeto. Esses produtos representam associações de conhecimentos, não só para quem vive a cultura, mas para outras pessoas como forma simbólica e de lembrança, além de representar qualidade e poder a esse elemento tão icônico da tradição estética e cultural brasileira (Campos,

2011; Lamas *et al* 2018). Em decorrência disso, o ladrilho hidráulico torna-se uma escolha atrativa e popular para projetos de construção e design.

2.1.1 Os Ladrilhos Hidráulicos No Contexto Nacional

No Brasil, esse material foi importado principalmente de Portugal, da França, da Bélgica e da Alemanha. Foi no final do século XIX que os meios e técnicas de confecção do ladrilho hidráulico foram passados aos imigrantes residentes no Brasil, principalmente italianos, e então começaram a ser instaladas as primeiras fábricas, sendo que a primeira fábrica de ladrilhos hidráulicos do Brasil foi fundada em Juiz de Fora/MG em 1889 e depois transferida para Belo Horizonte/MG, em 1896. O fundador da fábrica foi o italiano Giovanni Lúdio Lunardi (Gester, 2013).

Segundo Catoia (2007) esses ladrilhos chegaram ao Brasil em um período de expansão imobiliária e passaram a substituir o piso cimentado vermelho, também chamado vermelhão. Os ladrilhos eram usados por todas as classes sociais, o que os diferenciava era a complexidade e número de cores das estampas dos ladrilhos (Dominguez; Santos, 2017).

O produto ganhou grande espaço no mercado de revestimentos de paredes e pisos devido às diversas possibilidades de desenhos e custo comparado ao de outros revestimentos. Teve grande apogeu por volta das décadas de 1930 e 1940, mas acabou perdendo mercado com o crescimento das cerâmicas industrializadas em 1960 e com isso, muitas construções tiveram os ladrilhos hidráulicos substituídos por outros revestimentos tornando o produto depreciado pelo mercado (Catoia, 2007; Portland, 2013; Vasconcelos, 2014).

Após seu declínio, a partir da década de 1980, os ladrilhos hidráulicos voltaram a ganhar destaque nos projetos arquitetônicos, muito devido as suas diversas possibilidades de personalização e à utilização de padrões em mosaicos (Catoia, 2007). Apesar da importância e recorrência da utilização do ladrilho hidráulico no país, apresenta-se poucos registros sobre esse material, mesmo com sua constante presença em edificações e calçadas de cidades históricas, no que se refere a produção desse revestimento, pois trata-se tradicionalmente de um processo artesanal e os conhecimentos sobre a fabricação são muitas vezes mantidos em sigilo pelos produtores (Marques, 2012).

2.1.2 Ladrilhos Hidráulicos como Patrimônio Arquitetônico

O ladrilho hidráulico tem uma grande importância como patrimônio arquitetônico, pois ele representa a história, a cultura, a arte e a religiosidade de diferentes épocas e lugares. Ele pode ser encontrado em edifícios históricos, religiosos, comerciais e residenciais, tanto em áreas internas quanto externas, revelando o estilo e a personalidade de cada construção. Além disso, ele é um elemento decorativo que valoriza os espaços e cria ambientes aconchegantes e charmosos (Boldo, 2019).

O ladrilho hidráulico é considerado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) um bem material que possui significado e importância artística, cultural, religiosa, documental ou estética para a sociedade. Por isso, ele precisa ser preservado, restaurado e valorizado, pois ele é uma expressão da identidade e da memória coletiva. Além disso, os ladrilhos hidráulicos alcançam status de arte que envolve técnica, criatividade e tradição, sendo transmitida de geração em geração pelos ladrilheiros, que são os mestres dessa produção artesanal (Lamas *et al* 2018).

No Brasil, o ladrilho hidráulico foi muito utilizado nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, especialmente no início do século XX, quando o país passava por um processo de urbanização e modernização. Ele pode ser visto em calçadas, fachadas, *halls*, escadarias, salões e outros locais de destaque, mostrando a influência de diferentes correntes artísticas, como o

Art Nouveau, o Art Déco e o Modernismo. Alguns exemplos de obras que utilizam o ladrilho hidráulico são o Teatro Municipal e o Mosteiro de São Bento, em São Paulo, e o Teatro Municipal e o Palácio Gustavo Capanema, no Rio de Janeiro (Medeiros; Silva, 2023).

O ladrilho hidráulico é, portanto, um patrimônio arquitetônico que merece ser reconhecido, estudado e difundido, pois ele é um testemunho da história e da cultura brasileira, além de ser um elemento estético que embeleza e enriquece os espaços urbanos (Lamas *et al* 2018).

2.1.3 Ladrilhos Hidráulicos X Ladrilhos Cerâmicos

O ladrilho hidráulico é constituído, fundamentalmente, pelo cimento como componente principal, mas é muito comum a generalização do termo, uma vez que, por sua semelhança de desenho ou mesmo por desinformação das diferenças, os ladrilhos cerâmicos acabam sendo enquadrados como ladrilhos hidráulicos, e isso acontece em razão das semelhanças entre os dois materiais. Enquanto o ladrilho hidráulico é constituído principalmente de cimento, o cerâmico é confeccionado com o uso de argilas e é queimado em temperatura elevada (Gester, 2013).

Os ladrilhos hidráulicos são feitos manualmente, peça a peça, compostos de uma mistura de cimento, areia e pigmentos inorgânicos, aplicados em um molde metálico e submetidos a uma pressão uniforme que lhes confere uma resistência inicial, sendo sua resistência final adquirida após um tempo de cura.

Já os ladrilhos cerâmicos são feitos de argila vermelha, marrom ou branca, que são queimadas em fornos de carvão ou lenha para adquirirem dureza e podem ser esmaltadas ou foscas. Sua fabricação é mais mecanizada e oferece resistência, impermeabilidade e fácil manutenção. E de acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (Anfacer, 2020), é uma antiga atividade que consiste na fabricação de produtos com uso da argila como matéria prima, que pode ser modelada após ser umedecida e ganha forma com a secagem, colocada a uma temperatura de 1.000°C.

Ainda conforme Gester (2013), é muito provável que os ladrilhos hidráulicos tenham surgido com o desígnio de sobrepujar o ladrilho cerâmico, uma vez que, o declínio de sua produção aconteceu no fim do século XIX, quando os ladrilhos hidráulicos foram desenvolvidos.

No Brasil, a cerâmica começou a ser usada pelos indígenas, há 5.000 anos e sofreram modificações com a chegada das olarias, onde eram produzidos telhas e louças (Anfacer, 2020). Por fim, a descrição hidráulica na cerâmica se dá unicamente pela semelhança estética com o ladrilho hidráulico convencional.

2.1.4 Características Técnicas dos Ladrilhos Hidráulicos

A norma brasileira vigente que estabelece essas características é a NBR 9457 de março de 2013, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que mostra que a massa usada nos revestimentos deve ser formada de cimento Portland, agregados e água, sendo aceito o emprego de aditivos e corantes e as suas propriedades técnicas devem ser atestadas e fiscalizadas por ensaios de laboratórios. A resistência mecânica das peças cimentícias deve ter flexão maior ou igual a 3,5 MPa e deve superar os limites mínimos estabelecidos em seus resultados de acordo com a ABNT NBR 13818/1997.

Sua principal característica é a alta resistência a zonas de tráfego intenso, associando propriedades de alta resistência à abrasão e antiderrapantes, tornando-se adequado para uso em calçadas, passeios públicos, praças, garagens, estacionamentos, rampas para automóveis,

ambientes internos, bordas de piscinas, promovendo segurança aos seus usuários, além disso, deve-se pensar em acessibilidade, inclinações máximas, utilização de pisos táteis, rampas (Lamas et al 2018).

Os ladrilhos hidráulicos devem ser duráveis e bem acabados, com superfícies perfeitamente planas, sem rachaduras ou imperfeições, de dimensões uniformes e bordas nítidas, a medida de aquisição dos revestimentos deve ser a área em metros quadrados (m²), tendo-se que indicar a quantidade de unidades por área, atualmente no mercado existem três tipos de ladrilhos disponíveis: a) O Interno, utilizado em pisos, paredes ou até em mobiliário; b) O Externo, utilizado em locais externos com fatores climáticos diversos, como passeios públicos de praças e calçadas; c) Os Táteis, aplicados para auxiliar na acessibilidade das pessoas com deficiência visual, apresentando superfícies específicas e padronizadas (Bertolaia, 2004; Lamas *et al* 2018; Medeiros; Melo, 2019).

2.2 Resíduos Sólidos

A Norma Brasileira 10004 de novembro de 2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) explica que os resíduos sólidos são materiais eliminados provenientes de atividade humana da sociedade, sendo de origens variadas, como indústria, domiciliar, área da saúde, agricultura, construção civil e comércio. Abrangem materiais orgânicos em decomposição que são impraticáveis de retorno na rede de tratamento de esgoto, inclusive os resíduos que ficam economicamente inviáveis até com as mais avançadas tecnologias a disposição.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, nº 12.305 de agosto de 2010, os resíduos sólidos são classificados:

- a) Quanto à origem - Resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas; Resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana; Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços; Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico; Resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais; Resíduos de serviços de saúde; Resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de edificações, incluídos os que resultam do preparo e escavação de terrenos para obras; Resíduos agrossilvopastoris; Resíduos de serviços de transportes; Resíduos de mineração.
- b) Quanto à periculosidade - Resíduos perigosos: aqueles que, por suas características de inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos, patogênicos, carcinogênicos, e teratogenicidade, apresentam grande risco à saúde pública quanto ao meio ambiente, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica.

Por tudo isso, os resíduos sólidos podem, muitas vezes, ser considerados um problema ambiental, social e econômico que afeta a qualidade de vida das pessoas e dos ecossistemas e que podem causar poluição, contaminação, doenças, enchentes, desmatamento, desperdício de recursos e perda de biodiversidade. Em razão disso, é necessário adotar medidas de prevenção, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos visando garantir o direito de todos a um meio ambiente saudável e equilibrado, a política Nacional de Resíduos Sólidos ordena que o destino final desses resíduos deve ser em locais ambientalmente adequados e de modo a evitar danos ou riscos à saúde e minimizar impactos ambientais (Cruz, 2005; BRASIL, 2010).

2.2.1 Descarte e destino dos Caroços de Açaí

O açaí é um fruto que possui um único caroço, cercado por um tecido fibroso e encoberto por uma camada de polpa fina e seca, mas um pouco oleosa, esférica, medindo de 1,1 a 1,5 cm de diâmetro, não possui haste e apresentam coloração preto-púrpura no estágio maduro. É o fruto da palmeira açaí ou açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.), sendo nativa das várzeas da América Central e do Sul e é cultivada no Brasil por seus frutos que são a base alimentar de grande parte da população nortista (Miranda et al 2022, Carvalho, 2022).

As bateadeiras artesanais de açaí comercializam os frutos do açaí e descartam os caroços despolpados diariamente (Mendonça; Bianchi, 2014).

Os caroços de açaí são, assim, um resíduo da extração do suco ou da polpa do açaí, sendo um rico material orgânico, e representam cerca de 80% do peso do fruto, o contratempo desponta, no entanto, quando os caroços de açaí são lançados em vias públicas próximas às bateadeiras, sendo usados como material de aterro ou eliminados em lixões viciados, aflorando a sua potencialidade nociva (Miranda et al 2019; Belo, 2023).

Segundo Miranda *et al* (2022) metade das bateadeiras de açaí em Macapá e Santana, no estado do Amapá, fizeram o descarte incorreto dos caroços, jogando-os em áreas impróprias, como terrenos baldios, margens de rios e rodovias. Prática essa, que pode gerar poluição, proliferação de insetos e doenças, além de caracterizar crime ambiental, em contrapartida esses municípios não recebem orientações técnicas e ambientais mínimas para o descarte e disposição final do caroço de açaí processado. A outra metade das bateadeiras destina os caroços para a coleta seletiva, para a compostagem ou para a venda como matéria-prima para outras finalidades.

No Estado do Amapá os caroços são tratados como resíduos urbanos pela forma como são despejados e por essa razão surgem os problemas sanitários e ambientais, porém, há a Política Nacional de Resíduos Sólidos para lidar, entre outros aspectos, do destino adequado de resíduos (Miranda et al 2022; BRASIL, 2010).

Entre as alternativas de aproveitamento dos caroços de açaí, destacam-se as seguintes:

- a) Produção de embalagens biodegradáveis: um projeto desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) transforma os caroços de açaí em um tipo de plástico ecológico, que pode ser usado para fabricar sacolas, copos, pratos e outros produtos descartáveis. O processo envolve a trituração, a secagem e a mistura dos caroços com um polímero natural, obtendo um material resistente, flexível e que se decompõe em até seis meses (Rodrigues; Júnior, 2022).
- b) Produção de artesanato e bijuteria: os caroços de açaí podem ser usados como matéria-prima para a confecção de diversos objetos decorativos e acessórios, como colares, pulseiras, brincos, chaveiros, entre outros. Os caroços são lavados, secos, furados e tingidos com cores variadas, criando peças originais e com valor cultural (Ribeiro *et al* 2021).
- c) Produção de energia: possuem alto poder calorífico, podendo ser utilizados como combustível para a geração de energia elétrica ou térmica. Os caroços podem ser queimados diretamente em caldeiras ou transformados em briquetes, que são blocos compactados de biomassa. Essa é uma forma de aproveitar uma fonte renovável e limpa de energia, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis (Ribeiro *et al* 2021).
- d) Produção de adubo orgânico: os caroços de açaí são ricos em matéria orgânica e nutrientes, podendo ser usados como fertilizantes para a agricultura. Os caroços são submetidos a um processo de decomposição controlada por microrganismos, resultando

em um produto estável e higienizado, que melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, esse processo é chamado de compostagem (Ribeiro *et al* 2021).

Pode ter ainda, um aproveitamento na construção civil, gerando benefícios ambientais, econômicos e sociais, tais como:

- e) Produção de tijolos: sendo um produto mais leve, resistente e sustentável do que os tijolos convencionais, são produzidos a partir da mistura de caroço de açaí triturado, areia, cimento e água. O produto tem um custo menor, uma vez que utiliza um resíduo abundante e barato, e ainda contribui para a redução de emissões de gases de efeito estufa, pois não necessita de queima para sua fabricação (Souza, 2023).
- f) Produção de concreto: podem ser usados como agregados ou aditivos na produção de concreto, melhorando suas propriedades mecânicas e durabilidade possibilitando um efeito *filler*, que preenche os espaços vazios entre os grãos de cimento, e um provável efeito *pozolânico*, que reage com a cal livre e forma compostos mais resistentes, além disso, o uso como agregado miúdo, substituindo parcialmente a areia, pode alcançar resultados satisfatórios de resistência à compressão e à tração (Nascimento; Oliveira, 2018; Oliveira *et al* 2020).
- g) Produção de pavimentos permeáveis: podem ser empregados na produção de pavimentos permeáveis, que permitem a infiltração da água da chuva no solo, evitando alagamentos e enchentes (Bourscheit, 2023).

Portanto, o descarte e o destino dos caroços de açaí são questões relevantes para a sustentabilidade da cadeia produtiva do fruto, que envolve milhares de famílias na Amazônia. É preciso conscientizar os produtores e os consumidores sobre a importância de dar um fim adequado aos resíduos, bem como incentivar o desenvolvimento de tecnologias e políticas públicas que favoreçam o aproveitamento dos caroços de açaí de forma ecológica e econômica, além do mais, o uso do caroço de açaí na construção civil é uma alternativa viável e vantajosa, que valoriza um resíduo local, reduz o impacto ambiental e gera renda e emprego para a população (Miranda *et al* 2019; Belo, 2023).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O seguinte procedimento experimental consistiu na produção de concretos acrescidos de cinzas de caroço de açaí calcinados à 500°C no percentual de 0% e 5% em relação ao peso do cimento sob o traço de 1: 1: 1,77: 0,36, na Tabela 1 apresenta-se a organização dos grupos de ensaio. Para o preparo dos concretos foram utilizados os seguintes materiais: Cimento Portland CP II F - 32; Areia comercial; brita 0; pigmentos em pó, água potável; aditivo, adições (5% de CCA calcinado a 500°C) e desmoldante.

Tabela 1 - Temperaturas e % de substituição do cimento por caroço de Açaí.

Grupo	Temperatura de Calcinação (°C)	% de substituição
Referência	-	0
Grupo 01	500	5

Fonte: Castro *et.al* (2023). Adaptado pelas autoras.

Para a preparação experimental dos concretos e posterior moldagem dos corpos de prova, foram realizadas as seguintes etapas:

1. Realização de apiloamento utilizando uma mão de gral e um almofariz para que o resíduo (CCA) atingisse a granulometria para utilização em materiais cimentícios; em seguida fez-se o seu peneiramento, sendo utilizado na pesquisa o material passante na peneira #200 (75 μ m) (Figura 1).

Figura 1 - Tratamento do Carvão de açaí pós queima.



Fonte: Autoras.

Na Figura 1 – A estão os materiais utilizados para o apiloamento e peneiramento do resíduo calcinado, em B o material sendo despejado e em C tem-se os carvores de açaí calcinados dispostos no almofariz de porcelana.

2. Confeção de seis peças em moldes com dimensões de 20cm de largura x 20cm de profundidade e seis corpos de prova (CP) com dimensões de 50mm de diâmetro x 100mm de altura, sendo três para referência, três com resíduo calcinado a 500°C para cada proporção utilizada a partir dos traços exibidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Proporção de material para produção da placa cimentícia.

Temp. °C	Substituição	Cimento (kg)	Agregado d_{max}		CCA(kg)	Água(kg)
			4,8 (kg)	12,5 (kg)		
-	0%	620	620	1100	0	186
500°	5%	589	620	1100	31	186

Fonte: Elaborada pelas autoras.

3. Disposição do material confeccionado nos moldes e uniformização com o auxílio de espátula, além dos corpos de prova (CP) como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Disposição do material nos moldes.



Fonte: Autoras.

A Figura 2 – A mostra o arrasamento do material confeccionado, em B tem-se os CP's e material de referência uniformizados nos moldes, e em C os CP's e material com CCA a 500° uniformizados nos moldes.

4. Retirada do material produzido para secagem em temperatura ambiente após ficarem em cura submersos em água com cal por 28 dias. As Figuras 3 e 4 mostram a aparência dos corpos-de-prova passado esse período de cura e as Figuras 5 e 6 mostram os ladrilhos produzidos.

Figura 3 - Aparência dos CP's de referência após tempo de cura



Fonte: Autoras.

Figura 4 - Aparência dos CP's com adição de CCA após tempo de cura.



Fonte: Autoras.

Figura 5 - Aparência dos ladrilhos de referência após tempo de cura.



Fonte: Autoras.

Figura 6 - Aparência dos ladrilhos com adição de CCA após tempo de cura.



Fonte: Autoras.

5. Realização do ensaio à compressão e módulo de flexão para determinação das resistências utilizando uma máquina universal de ensaio conforme Figura 7. Já as Figuras 8 e 9 mostram a aparência dos corpos de prova após o seu rompimento. Para os ensaios de caracterização dos ladrilhos que foram produzidos, foi utilizada NBR 9457/2013. A Figura 10 ilustra o esquema de ensaio que foi utilizado nos CPs retangulares de concreto.

Figura 7 - Material posicionado para ruptura.



Fonte: Autoras.

Na Figura 7 em A tem-se o CP de referência, em B o CP produzido com CCA e em C o Ladrilho, todos posicionados para ruptura.

Figura 8 - CP's de referência após rompimento.



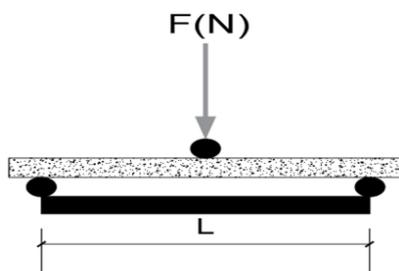
Fonte: Autoras.

Figura 9 - CP's com adição de CCA a 500°C após rompimento.



Fonte: Autoras.

Figura 10 - Distâncias entre barras.



Fonte: Castro *et al* 2023.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos procedimentos executados em laboratório, obteve-se os resultados das cargas de ruptura e o módulo de resistência à flexão dos ladrilhos ensaiados. Nas tabelas 3 e 4 apresenta-se os valores obtidos no ensaio de módulo à flexão. Para tal, fez-se uso das seguintes fórmulas normatizadas para calcular os resultados:

$$CR = \frac{F.L}{b} \quad (1)$$

Onde:

CR = Carga de Ruptura (N/mm)

F = Carga registrada no ensaio (N)

L = Distância entre os apoios (mm)

b = Largura do ladrilho (mm)

$$MRF = \frac{3F.L}{2b.e^2min} \quad (2)$$

Onde:

MRF = Módulo de resistência à flexão (Mpa)

F = Carga registrada no ensaio (N)

L = Distância entre os apoios (mm)

b = Largura da peça (mm)

e = espessura (mm)

Tabela 3 - Módulo à flexão das amostras produzidas como referência.

Ladrilho	Força (N)	L (mm)	B (mm)	E (mm)	Carga de Ruptura (N)	Módulo à Flexão (Mpa)	Média (Mpa)
LH1	1088,21	150	200	14	816,16	5,44	
LH2	798,02	150	200	13	598,52	3,99	5,32
LH3	1305,85	150	200	15	979,38	6,53	

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Tabela 4 - Módulo à flexão das amostras produzidas com substituição de 5% de CCA à 500°C.

Ladrilho	Força (N)	L (mm)	B (mm)	E (mm)	Carga de Ruptura (N)	Módulo à Flexão (MPa)	Média (MPa)
LH4	1305,85	150	200	15	979,38	6,53	
LH5	1160,66	150	200	16	870,49	5,80	6,04
LH6	1160,66	150	200	15	870,49	5,80	

Fonte: Elaborada pelas autoras.

O ensaio de módulo à flexão das peças de ladrilho hidráulico foi realizado seguindo a NBR 13818/1997, conforme indicação da NBR 9457/2013 que exige resultados mínimos para a resistência característica a flexão maior ou igual a 3,5MPa, o que foi alcançado por

todas as amostras. Já nas Tabelas 5 e 6, estão os resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova que compõem o grupo de referência e grupo 01 (ver Tabela 1).

Tabela 5 - Ruptura à compressão dos CP's produzidos como referência.

Corpo de prova	Força (N)	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	Módulo à Flexão (Mpa)	Média (Mpa)
CP1	48244	50	1963	24.57	
CP 2	61883	50	1963	31.52	31,40
CP 3	74796	50	1963	38.09	

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Tabela 6 - Ruptura à compressão dos CP's produzidos com substituição de 5% de CCA à 500°C.

Corpo de prova	Força (N)	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	Módulo à Flexão (MPa)	Média (MPa)
CP4	66744	50	1963	33.99	
CP 5	67687	50	1963	34.47	33,00
CP 6	59634	50	1963	30.37	

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Por fim, todos os ensaios obtiveram resultados satisfatórios no que diz respeito às exigências físicas da norma supracitada, os resultados mostraram que a argamassa com adição de CCA tem uma resistência à compressão axial superior à da argamassa de referência.

5 CONCLUSÕES

Diante do que foi exposto ao longo da pesquisa, que teve como objetivo principal analisar a resistência mecânica de Ladrilhos Hidráulicos utilizando diferentes proporções de substituição do cimento por cinza do caroço de açaí, foi possível perceber que as amostras produzidas atingiram a resistência mínima normativa de 3,5 MPa, apresentando uma resistência média à flexão igual a 5,32 MPa para o ladrilho de referência e 6,04 MPa para o ladrilho com substituição de 5% de cimento por CCA. Notou-se um ganho de resistência de 13,53% para os ladrilhos com CCA. Quanto à compressão, os corpos de prova com adição de cinza do caroço de açaí, resistiram em média a 33,0 MPa, enquanto o concreto de referência atingiu 31,4 MPa.

Com isso, o experimento apresenta-se como uma conveniente alternativa sustentável, no que diz respeito à destinação de caroços de açaí que são descartados diariamente, por vezes de maneira inadequada, nas cidades da região Norte onde o consumo desse material ocorre de forma abundante, além de amenizar o enorme consumo de cimento, trazendo com isso uma significativa economia financeira, uma vez que, para produção de 50m² do material apresentado não seriam obtidos por menos de 12000 reais no mercado, enquanto que para os mesmos 50m² seriam consumidos, usando a dosagem sugerida, 1000 reais (Santos *et al* 2023).

Observa-se que, apesar da substituição de cimento a resistência mecânica não foi comprometida, sendo válida a utilização desse material.

Por fim, a utilização da cinza do caroço de açaí na produção de concreto pode contribuir para a preservação do meio ambiente, pois reduz a emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, contribui de maneira significativa para a construção civil, pois possibilita efeito filler e um provável efeito pozolânico no concreto mostrando uma maior durabilidade nas estruturas com menor propensão a patologias (Nascimento; Oliveira, 2018).

REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. **História da cerâmica**. 2020. Online. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br>. Acesso em: 12 mai. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9457** : Ladrilhos hidráulicos para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

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

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui A Política Nacional De Resíduos Sólidos e dá outras providências**. DF: Diário Oficial da União, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 22 mar 2023.

BARROS, C. **Introdução aos Materiais de Construção e Normalização**. Material de aula, apostila, 6f. 2010. Disponível em: <https://edificacoes.files.wordpress.com/2010/04/apo-rev-evolucao-dos-materiais.pdf>. Acesso em: 22 mar 2023.

BELO, J. B. Panorama Ambiental Do Descarte De Caroço De Açaí em Comunidades Ribeirinhas: Estudo de Caso da Ilha Rio Guajará de Beja, Abaetetuba-PA. In: **7º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**. Bento Gonçalves, RS, 2023. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=373&ano=> . Acesso em: 25 nov 2023.

BOLDO, F. **O Ladrilho Hidráulico e Sua Importância como Ornamento arquitetônico em Edificações de Caráter Histórico**. 2019, 11f. Dissertação (Pós- Graduação em Arquitetura e Patrimônio). Faculdade Venda Nova Do Imigrante. Itapira, SP, 2019. Disponível em: https://www.academia.edu/44800991/Boldo_Fabio_O_Ladrilho_Hidr%C3%A1ulico_e_sua_import%C3%A2ncia_como_ornamento_arquitet%C3%B4nico_em_edifica%C3%A7%C3%B5es_de_car%C3%A1ter_hist%C3%B3rico. Acesso em: 27 nov. 2023.

BOURSCHEIT, A. **Caroços do açaí movem economias na Amazônia**. O Eco, 2023. Disponível em: <https://oeco.org.br/reportagens/carocos-do-acai-movem-economias-na-amazonia/>. Acesso em: 28 nov 2023.

BURDEN, E. **Dicionário ilustrado de arquitetura**. 2.ed. São Paulo: Bookman, 2006.

CAMPOS, C. F. **História do Ladrilho Hidráulico em Belo Horizonte**. 2011, 201f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

CASTRO, G. S; SANTOS, R. V. S; COSTA, N. C. S. Análise da Substituição Parcial de Cimento por Cinza do Caroço de Açaí. In: **XXVIII Encontro IBRACOM**. Belém/PA, 2023.

CATOIA, T. **Ladrilhos e Revestimentos Hidráulicos de Alto Desempenho**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2007.

CRUZ, M. L.F. R. **A Caracterização de resíduos sólidos no âmbito da sua Gestão Integrada**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente, ramo de Qualidade Ambiental). Universidade do Minho, Escola de Ciências, Braga, Portugal, 2005.

DOMINGUEZ, A. A. & SANTOS, C. A. A. Tapetes em massa de cimento: ladrilhos Tapetes De Cimento, Areia E Pigmento nos Casarões Senhoriais de Pelotas – RS. In: **IV Colóquio Internacional A Casa Senhorial: Anatomia dos Interiores**. Pelotas, RS, 2017. Disponível em: <https://acasasenhorial.org/acs/index.php/pt/artigos?task=download&file=pdf&id=469>. Acesso em: 30 out 2023.

LAMAS, M. L.; LONGO, O. C.; SOUZA, V. C. A produção de ladrilho e o ofício de ladrilhar: método de produção de ladrilhos do século XVIII aos nossos dias. In: **Annals Of Museu Paulista**. São Paulo, SP. V. 26, Nova Série, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1982-02672018v26e09>. Acesso em: 30 out 2023.

MARQUES, J. S. **Estudo do processo de produção de ladrilhos hidráulicos visando à incorporação de resíduos sólidos**. 2012, 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, PR, 2012.

MEDEIROS, A. T. T.; MELO, A. A. de A. O uso dos ladrilhos hidráulicos na arquitetura moderna campinense. **Restauração: Arte, Museu, Arquitetura, Cidade**, v. 4, n. 7, 2020, p. 1-11. São Paulo, SP, 2020.

MEDEIROS, A. T. T.; SILVA, F. P. O uso da digitalização tridimensional no mapeamento de danos dos ladrilhos hidráulicos do Paço dos Açorianos de Porto Alegre [RS]. **Labor e Engenho**, V.13, 2019. Campinas, SP. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/labore.v13i0.8656163>. Acesso em: 23 out 2023.

MEDEIROS, A. T. T.; SILVA, F. P. Design, Digitalização Tridimensional & Ladrilho Hidráulico: O Patrimônio Cultural De Porto Alegre –Rs. Uma Revisão Sistemática Para O Gerenciamento Da Pesquisa. **Arquitetura e Lugar**, V.1, n.1. 2023. Campina Grande, PB. Disponível em: <https://revistas.editora.ufcg.edu.br/index.php/arql/article/view/362/442>. Acesso em: 27 nov. 2023.

MENDONÇA, V. C. M.; BIANCHI, D.; LUIZ, V. Agronegócio do açaí (Euterpe Oleracea Mart.) no município de Pinheiro - MA. **Sodebras**, V.9, 2014, p. 62-65. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/2de55e26-da40-40ec-aeaa-8a54b8adfff5/content>. Acesso em: 23 out 2023.

MIRANDA, L. V. A., MIRANDA, S. B.; AMANAJÁS, V. V. V. Aspectos socioeconômicos dos produtores de açaí dos municípios de Macapá e Santana no estado do Amapá -AP. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, V. 40, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.19799>. Acesso em: 23 out 2023.

MIRANDA, L.V. A.; MOCHIUTTI, S.; CUNHA, A.C.; CUNHA, H. F. A. Descarte e destino final de caroços de açaí na Amazônia Oriental – Brasil. **Ambiente e Sociedade**. V. 25, 2022. São Paulo, SP. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc2020138r2vu2022L2AO>. Acesso em: 23 out 2023.

- NASCIMENTO, K. F. S; OLIVEIRA, T. M. C. Aproveitamento Das Cinzas De Caroço De Açaí Na Produção De Concreto Sustentável Analisando Sua Durabilidade. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**. Maceió, AL. 2018. 5f. Disponível em: 49_adcdcdanpdcasd.pdf (confea.org.br). Acesso em: 30 out 2023.
- OLIVEIRA, M. G; SOUSA, D. L; SOUZA, M. R; CORDEIRO, L. N. P; TEIXEIRA, M. R; SILVA, S. H. M. Análise bibliográfica da (re) utilização do caroço de açaí na indústria da construção civil. In: **2º Congresso Araguaense de Ciência Exata, Tecnologia e Social Aplicada**. Santana do Araguaia, PA, 2020. Disponível em: https://conara.unifesspa.edu.br/images/II_CONARA_2020/ARTIGOSCIVIL/1_-_ENG_1_-_ANLISE_BIBLIOGRFICA_DA_RE_UTILIZAO_DO_CAROO_DE_AA_NA_INDSTRIA_DA_CONSTRUO_CIVIL.pdf. Acesso em: 27 nov 2023.
- RIBEIRO, B. J. C.; MORAES, A. G. L; NASCIMENTO, A. F. S; FERREIRA, J. S; SANTOS, P. S. Estudo De Um Caso: Uma Análise Sobre O Aproveitamento Do Caroço Do Açaí (Euterpe Oleracea Mart.) Como Alternativa Para Redução De Resíduos Orgânicos. In: **4º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade**. Gramado, RS, 2021. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2021/I-013.pdf>. Acesso em: 26 nov 2023.
- RODRIGUES, K.; JÚNIOR, J. **Plástico de açaí: caroço da fruta da Amazônia é transformado em embalagens biodegradáveis**. Portal G1, 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/ap/amapa/natureza/amazonia/noticia/2022/02/26/plastico-de-acai-caroco-da-fruta-da-amazonia-e-transformado-em-embalagens-biodegradaveis.ghtml>. Acesso em: 26 nov 2023.
- SANTOS, B. C. M; SILVA, L. W. S; SANTOS, M. F; FIGUEIREDO, R. H. C; RIBEIRO, L.C. N; COSTA, N. C. S. Ladrilho Hidráulico Cimentício. In: **II Congresso em Engenharias e Pesquisa**. Belém, PA, 2023.
- SOUZA, H. **Brasileira cria tijolo feito com caroço de açaí**. Meio Sustentável, 2023. Disponível em: <https://meiosustentavel.com.br/brasileira-cria-tijolo-feito-com-caroco-de-acai/>. Acesso em: 29 nov 2023.
- TEIXEIRA, L.B et. al. **Embrapa Amazônia Oriental: Compostagem: Lixo Orgânico Urbano E Resíduos Da Agroindústria Do Açaí**. Belém, PA. 2006. 85f. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/385287/compostagem-lixo-organico-urbano-e-residuos-da-agroindustria-do-acai>. Acesso em: 23 out 2023.
- WAMZER, R. L. K. **O ladrilho hidráulico em interface com a arte e o design em Mato Grosso, Cuiabá**. Novas Edições Acadêmicas. 2011. 120p.