



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

DANILO VIEIRA CRUZ

**INCORPORAÇÃO DA CASCA DE ARROZ EM BLOCOS PARA PAVIMENTO
INTERTRAVADO**

MOSSORÓ
AGOSTO/2023

DANILO VIEIRA CRUZ

**INCORPORAÇÃO DA CASCA DE ARROZ EM BLOCOS PARA PAVIMENTO
INTERTRAVADO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Engenharia de Materiais da Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Rafael Rodolfo de Melo, Prof. Dr.

Coorientador: Fernando Rusch, Prof. Dr.

MOSSORÓ
AGOSTO/2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C883i Cruz, Danilo Vieira .
Incorporação da casca de arroz em blocos para
pavimento intertravado / Danilo Vieira Cruz. -
2023.
69 f. : il.

Orientador: Rafael Rodolfo de Melo.
Coorientador: Fernando Rusch.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Ciência e Engenharia de Materiais, 2023.

1. Pavers. 2. Ambientais. 3. Resíduo agrícola.
4. Norma. 5. Propriedades. I. Melo, Rafael
Rodolfo de , orient. II. Rusch, Fernando , co-
orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

DANILO VIEIRA CRUZ

**INCORPORAÇÃO DA CASCA DE ARROZ EM BLOCOS PARA PAVIMENTO
INTERTRAVADO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre.

Defendida em: 30/08/2023.

BANCA EXAMINADORA

Rafael Rodolfo de Melo, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente/Orientador

Fernando Rusch, Pesq. Dr. (UFERSA)
Coorientador

Adriano Reis Prazeres Mascarenha, Prof. Dr. (UNIR)
Membro externo à instituição

Mário Vanoli Scatolino, Prof. Dr. (PRODEMA/UFERSA)
Membro externo ao programa

Marília Pereira de Oliveira, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro externo ao programa

AGRADECIMENTOS

Inicialmente a Deus por toda força e coragem para enfrentar as batalhas do dia a dia.

Aos meus pais, por sempre deixarem claro a importância da educação para o futuro.

Agradeço em especial a minha mãe, Maria Orleuda Leitão, por todo esforço empreendido na minha educação.

A todos as minhas avós e meus avôs, a que ainda está aqui e os que já se foram (In memoriam).

A toda minha família, tios, tias, primos e primas, por todo o apoio e suporte quando necessários.

Ao meu orientador Rafael Rodolfo de Melo, por toda a paciência e conhecimento fornecidos durante o período da sua tutoria.

Ao meu coorientador, Fernando Rusch, por todo auxílio prestado na realização dos ensaios e no fornecimento de ideias que auxiliaram na realização desse trabalho.

A minha namorada Sharmilla de Almeida Medeiros, por toda força e paciência nessa empreitada.

A todos os amigos que me incentivaram a sempre persistir.

Aos técnicos de laboratório da UFERSA, Augusto César de Souza, Samir Adson Ferreira de Sena, Alison Kaio Dantas Pereira e Fabrício Almeida, por todo o auxílio na utilização dos laboratórios e dos equipamentos utilizados.

INCORPORAÇÃO DA CASCA DE ARROZ EM BLOCOS PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO

RESUMO: A utilização de pavimentos intertravados, com blocos pré moldados de concreto, também conhecidos como *pavers*, vem crescendo em todo o mundo, especialmente no Brasil. Um dos motivos dessa expansão, é a possibilidade de se utilizar materiais alternativos para sua produção, cuja principal preocupação é o equilíbrio entre os aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Os blocos para pavimentos intertravados podem ser produzidos em diversas opções de formato, padrões, cores e matizes permitindo diversas possibilidades estéticas, além da sua aplicação nos diversos locais, como praças, estacionamentos, ciclovias, dentre outros. Diante disso, o objetivo da pesquisa foi estudar a viabilidade de produzir blocos para pavimentos intertravados incorporando parcialmente a casca de arroz *in natura*, resíduo agrícola produzido através do beneficiamento do arroz, no concreto utilizado na fabricação dos pré moldados. Foram definidas as proporções de incorporação de 5%, 10%, 15% e 20% em massa de fibra em relação à massa do cimento. Foi adotada como referência uma amostra padrão (sem adição da casca de arroz), além de comparar suas propriedades com blocos comerciais. Os testes foram realizados utilizando como referência à Norma Brasileira (NBR) 9781: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio (2013), que indica as exigências (inspeção visual, avaliação dimensional, absorção de água e resistência à compressão) para que os blocos possam ser comercializados. Os blocos com incorporação de casca de arroz com 5%, 10% e 15%, foram produzidos e tiveram as suas propriedades avaliadas após os 28 dias. Quanto ao aspecto visual, em todas as proporções foram notadas a presença de espaços vazios nos blocos com essa fibra, indicando que a introdução desse resíduo (casca de arroz), influenciou diretamente no processo de vibração e eliminação das bolhas do concreto, impactando no aspecto final do bloco e alterando a trabalhabilidade do concreto. A avaliação dimensional dos blocos produzidos mostraram pequenas variações nas suas dimensões nominais. O índice de forma, apresentou valores que variavam entre 3,1 e 3,5, valor abaixo do recomendado pela norma (4,0). Quanto à absorção da água, ocorreu um incremento na medida que se aumentou o percentual de casca de arroz no bloco. As amostras com adição de casca de arroz apresentaram um percentual de absorção média superior a 6 %, que é o valor limite exigido pela norma. Quanto a resistência à compressão, nenhum dos blocos, produzidos e comerciais testados, atingiu o valor mínimo exigido pela norma. Dentre os blocos produzidos, o que apresentou os melhores resultados, dentre os que tiveram a incorporação da fibra, foi o bloco com incorporação de 5% de casca de arroz. Os blocos com 10% e 15% apresentaram valores de resistência à compressão próximos.

Palavras-chave: pavers; ambientais; resíduo agrícola; norma; propriedades.

PAVERS FOR PAVEMENTS WITH PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT BY RICE HUSK

The use of interlocking pavements with precast concrete pavers, also known as pavers, has been growing worldwide, especially in Brazil. One of the reasons for this expansion is the possibility of using alternative materials for its production, whose primary concern is the balance between technical, economic, and environmental aspects. The pavers for pavements can be produced in several options of format, patterns, colors, and hues, allowing different aesthetic possibilities and their application in different places, such as squares, parking lots, and cycle paths, among others. Given this, the objective of the research was to study the feasibility of producing pavers for pavements, partially incorporating *natural* rice husk, an agricultural residue produced through rice processing, into the concrete used to manufacture pre-molded concrete. The incorporation proportions were defined as 5%, 10%, 15%, and 20% in fiber mass concerning the cement mass. A standard sample (without adding rice husk) was adopted as a reference, in addition to comparing its properties with commercial blocks. The tests were carried out using as a reference the Brazilian Standard (NBR) 9781: Concrete pieces for paving - Specification and test methods (2013), which indicates the requirements (visual inspection, dimensional assessment, water absorption, and compressive strength) for so that can sell the pavers. The blocks incorporating rice husk at 5%, 10%, and 15% were produced and evaluated their properties after 28 days. Regarding the visual aspect, in all proportions, the presence of empty spaces in the blocks with this fiber indicates that the introduction of this residue (rice husk) directly influenced the process of vibration and elimination of bubbles in the concrete, impacting the appearance, and of the pavers and altering the workability of the concrete. The dimensional evaluation of the blocks produced showed slight variations in their nominal dimensions. The form index presented values that varied between 3.1 and 3.5, a value below that recommended by the standard (4.0). As for water absorption, there was an increase as the percentage of rice husk in the block increased. The samples adding rice husk showed an average absorption percentage greater than 6%, which is the limit value required by the standard. As for compressive strength, none of the blocks, whether produced or commercially tested, reached the minimum value needed for the norm and, among the pavers made, presented the best results. Among those that had fiber incorporated was the block with 5% rice husk included. The pavers with 10% and 15% had similar compressive strength values.

Keywords: pavers; environmental; agricultural residue; standard; properties.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo Geral	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3. REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1 Evolução da utilização da pavimentação intertravada	12
3.2 Características dos blocos intertravados	14
3.3 Tipos e formatos de blocos intertravados	15
3.4 Fabricação dos blocos para pavimento intertravado	17
3.5 Compósitos cimentícios reforçados com fibras	19
3.6 Casca de arroz	22
3.7 Considerações ambientais dos blocos para pavimento intertravado	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Materiais para a produção dos blocos	28
4.2 Composição do traço e cálculo do volume de concreto produzido	31
4.3 Umidade no agregado miúdo	31
4.4 Produção dos blocos intertravados	33
4.5 Critérios avaliados pelas normas	37
4.5.1 Ensaios estabelecidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013)	38
4.5.2 Inspeção visual	38
4.5.3 Dimensões e tolerâncias	41
4.5.4 Absorção de água	42
4.5.5 Resistência característica à compressão	44
4.6 Blocos comerciais	46
4.7 Análise dos resultados	48
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1 Dimensões e tolerâncias	49
5.2 Inspeção visual	50
5.2.1 Espaçador de juntas	50
5.2.2 Chanfro	50
5.2.3 Arestas	51
5.2.4 Ângulo de inclinação	53
5.3 Absorção de água	53
5.4 Resistência característica à compressão	55
5.5 Densidade dos blocos intertravados	57
5.6 Análise multivariada	58
5.7 Considerações sobre a utilização de casca de arroz na produção dos blocos para pavimentação intertravada	60
5. CONCLUSÕES	63
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1. INTRODUÇÃO

Os blocos intertravados de concreto são utilizados em uma diversidade de locais, a depender do tipo de pavimento requerido e da necessidade do projeto. Suas aplicações podem variar desde estacionamentos, vias urbanas, acostamentos, parques, jardins, calçadas, dentre outros (Coutinho, 2016). Sua utilização propicia grandes vantagens como a intensificação da captação da água da chuva pelo solo, reduzindo o escoamento superficial para a rede pluvial, mitigando a ocorrência de ilhas de calor, além de promover a redução dos danos ambientais resultantes do processo de construção de pavimentos asfálticos (Silva, 2022).

No começo da sua aplicação no Brasil, a partir da década de 70, e com maior intensidade na década de 90, por não obedecerem aos requisitos mínimos imprescindíveis ao desempenho satisfatório desse tipo de pavimento, a imagem dos blocos de concreto para pavimentação foi danificada. Ao mesmo tempo, sua utilização crescia na Europa, Estados Unidos e no Japão em reconstrução após a Segunda Guerra Mundial, devido a necessidade da pavimentação rápida, com destaque para o grande avanço tecnológico por meio do desenvolvimento de técnicas de dimensionamento, construção, novos formatos, aumento da resistência, aumento da durabilidade e avanços na normalização (Bacarji e Lopes, 2014).

Devido ao aumento da utilização desse tipo de pavimento em todo o mundo, já há um renascimento da utilização dos blocos para pavimentos intertravados no Brasil, oportunizando que novos fabricantes entrem no mercado em aquecimento. Contudo, a inexistência de um setor fabril que produza blocos dentro das exigências normativas, com qualidade e que atenda aos requisitos do projeto, pode trazer prejuízo aos consumidores finais desse produto, como blocos que não suportem as cargas estruturais mínimas exigidas pelas normas (Copat, 2016).

Considerando a perspectiva de sustentabilidade, diversas pesquisas vêm sendo relatadas na literatura com o objetivo de avaliar o desempenho dos blocos para pavimentos intertravados quando há incorporação de diferentes resíduos, substituindo parte dos agregados, parte do cimento, ou em alguns casos substituindo parcialmente ambos. Dentre essas pesquisas, podemos citar Leal (2018), que trata da utilização de agregados reciclados de Resíduos da Construção Civil (RCC) substituindo a areia natural na produção dos blocos. Soares (2020) investigou a utilização de cinza da casca de arroz (CCA) substituindo parcialmente o cimento na produção de blocos de concreto. O mesmo destacou que as grandes quantidades de cinzas geradas no processo de combustão da casca de arroz, já vem tendo o seu uso estudado na literatura da área há décadas. Já Andrade (2019) estudou a substituição parcial do cimento por

diferentes resíduos vegetais e industriais na fabricação dos blocos quanto aos aspectos físicos, mecânicos e de durabilidade.

O Brasil vem adotando nos últimos anos medidas que incentivam a reciclagem e a punição de qualquer tipo de atitude que leve à degradação ambiental. A Lei n.º 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) tem o objetivo de diminuir, monitorar e penalizar qualquer tipo de tratamento ou disposição inadequada de resíduos gerados pelo setor produtivo, residencial e poder público. Essa determinação legal contribui para o surgimento de mais oportunidades e incentivo às pesquisas voltadas ao aproveitamento sustentável desses resíduos (Martins Filho e Martins, 2017).

O Brasil está situado entre os maiores produtores mundiais de arroz, segundo dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (2023), com uma produção de aproximadamente 10,788 milhões de toneladas colhidas na safra de 2021/2022, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Após o processo de colheita são normalmente gerados diferentes resíduos, tendo como destaque a casca de arroz, que faz a cobertura do grão, principalmente pelo grande volume gerado. Segundo Tashima *et al.* (2011), cerca de 20% da produção de arroz é resultante em casca, o que representaria um volume de resíduo superior a 2 milhões de toneladas gerados anualmente.

Seu baixo valor comercial ou interesse para uso na agricultura tem causado grandes problemas aos produtores, devido à necessidade de armazenamento desse resíduo. Isso tem obrigado os mesmos a pensarem em alternativas para a sua utilização. Esforços para tentar aproveitar a casca de arroz são dificultados pela sua grande dureza, baixo teor nutritivo, grande resistência à degradação, e dentre os principais cereais, o arroz é o que produz o resíduo com maior percentual de cinzas (aproximadamente 23%) (Della *et al.*, 2005; Reis *et al.*, 2015).

Diante da importância dos compósitos reforçados com fibras para o desenvolvimento de materiais cada vez mais eficientes no mercado atual, este trabalho teve o propósito de produzir um compósito cimentício com fibras provenientes da casca de arroz *in natura*. Foram produzidos blocos para a pavimentação intertravada, sendo avaliada as suas propriedades físicas e mecânicas, e sua adequabilidade as normas que tratam sobre os parâmetros exigíveis para sua utilização.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo produzir blocos para pavimentos intertravados a partir da incorporação de casca de arroz *in natura* no concreto, e avaliar e comparar suas propriedades físicas e mecânicas com os requisitos exigíveis pelas normas em vigor, além de compará-los com blocos intertravados produzidos sem a introdução da casca e de blocos vendidos comercialmente.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar o potencial da utilização da casca de arroz *in natura* para a produção de blocos intertravados, a partir da incorporação de casca de arroz nos percentuais de 5%, 10, 15% e 20% em massa de fibra em relação à massa do cimento.
- Avaliar as propriedades mecânicas dos blocos produzidos com a casca de arroz, comparando-as com as propriedades do bloco produzido sem a introdução da casca;
- Avaliar a adequabilidade dos blocos produzidos com base nas normas, e compará-los com blocos comercializados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Evolução da utilização da pavimentação intertravada

A humanidade sempre procurou meios de tornar a sua existência facilitada, seja querendo acesso mais rápido à áreas cultiváveis, expandir o seu domínio sobre outros povos ou buscar novos locais com fontes de matéria prima, o homem precisou achar maneiras de vencer as grandes distâncias que o separavam do seu objetivo, e a construção das estradas foi um desses meios. Existem relatos da construção de estradas na China há milhares de anos. A pavimentação intertravada tem sua origem na Mesopotâmia há mais de 4.500 anos a.C. (Andrade, 2019).

A evolução das peças utilizadas em pavimentação intertravada foi marcada pela utilização de quatro tipos de materiais distintos, como os blocos de argila, as pedras talhadas e aparelhadas manualmente, os blocos de madeira e as peças pré-fabricadas de concreto (Cruz, 2003). A pavimentação intertravada também foi empregada na Roma antiga desde 2000 anos a.C., e na ilha de Creta na Grécia, desde 2500 a.C. onde seus habitantes já empregavam pedras justapostas apoiadas sobre uma camada de areia, com o objetivo de facilitar a acomodação e fixação dos elementos na formação de caminhos (ABCP, 2010; Andrade, 2019).

A utilização da pavimentação intertravada remonta aos povos Etruscos, que utilizavam esse tipo de pavimentação com a finalidade de transporte, para pessoas e cargas, na região que hoje pertence a Itália, no período de 800 a 350 a.C. Eles ligaram grandes distâncias utilizando pedras de mão juntamente com material mais fino no revestimento, com o objetivo de proporcionar maior segurança para os pedestres quando ocorresse a presença de água na superfície. Além da preocupação com o conforto, as ruas das cidades chegavam a 15 metros de largura, o que possibilitaria as ultrapassagens de veículos e facilitaria o estacionamento dos mesmos (Leal, 2018).

Posteriormente os romanos, que haviam herdado várias técnicas e conhecimentos do povo Etrusco, intensificaram a construção de um abrangente sistema de caminhos. Os romanos tinham uma preocupação com os caminhos que eram mais utilizados, usando pedras talhadas manualmente em formatos retangulares e poligonais, devido à maior resistência ao desgaste. Em vias de menor tráfego eram utilizados cascalhos. A minúcia dos procedimentos de execução evidencia a preocupação com a capacidade estrutural do pavimento por parte dos romanos. Um dos exemplos que existe até os tempos atuais é a Via Ápia, que ligava a cidade de Roma até o sul da Itália com pequenas peças de pedras aparelhadas sob formas octogonais em grande parte dos seus 650 km de extensão (Leal, 2018).

No Brasil existem evidências da utilização de pavimentação, com pedras justapostas, pelos povos indígenas, anterior à ocupação europeia. Essas trilhas faziam a ligação entre diversas aldeias localizadas no sul do país a povos de outros países como Peru e Bolívia, conhecido como caminho do Peabiru (Andrade, 2019).

A primeira peça de pavimento pré-fabricada foi produzida no final do século XIX, existindo algumas patentes registradas antes da Primeira Guerra Mundial, e se destacaram pela maior uniformidade em comparação as pedras naturais que eram utilizadas anteriormente (Leal, 2018). Os blocos pré-fabricados de concreto foram bastante utilizados durante a reconstrução da Europa pós Segunda Guerra Mundial, substituindo os blocos de argila que eram anteriormente utilizados (Andrade, 2019).

Nas décadas de 60 e 70 ocorreu a expansão da comercialização desse tipo de bloco. Estados Unidos, Austrália, Japão, Nova Zelândia, África do Sul e países das Américas Central e do Sul passaram a utilizar esse tipo de pavimentação de forma frequente, o que refletiu em uma maior gama de opções de formas dos blocos além da evolução dos equipamentos produtivos dos mesmos (Leal, 2018).

No Brasil, a técnica de pavimentos intertravados surgiu nos anos 70, mas sua aplicação muitas vezes não obedeceu aos critérios técnicos mínimos necessários recomendáveis, prejudicando a imagem dos elementos de concreto para a pavimentação (Coutinho, 2016). Já a partir da década de 90 passou a ser comum a utilização desses blocos para pavimento intertravado tendo sua utilização tanto em calçamentos, Figura 1, como em vias no país (Barbosa *et al.*, 2021).

Figura 1 - Blocos para pavimentos intertravados utilizados em calçamento da UFERSA.



Fonte: Autoria própria (2023).

3.2 Características dos blocos intertravados

O assentamento do pavimento intertravado para ambientes externos deve levar em consideração alguns aspectos de uso, tais como: abrasão, tráfego de pedestres, cadeirantes e intempéries. Os blocos que serão instalados nesse tipo de pavimento devem ser projetados observando essas considerações (ABCP, 2010).

Dentre as características que esse pavimento deve apresentar, se destacam a superfície antiderrapante, visto que o pavimento deve proporcionar mobilidade e segurança aos pedestres, mesmo em condições de piso molhado, conforme orientações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 9050 (ABNT, 2021), que trata da Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos.

Além disso, se espera uma grande resistência e durabilidade por parte desses blocos, já que devido a elevada resistência que o concreto possui é esperado que implique necessariamente uma grande durabilidade a esse tipo de pavimento. Considerando projetos apropriados para sub-base, elementos de boa qualidade e adequado assentamento, pode-se ter uma pavimentação com vida útil de pelo menos 25 anos (Coutinho, 2016).

Outro aspecto relevante, relaciona-se a imediata liberação ao tráfego, logo após o seu assentamento e compactação, sem a necessidade de tempo de secagem, cura do material ou acabamento superficial, diferente das pavimentações asfálticas, que precisam de um período de espera até a sua utilização. Adicionalmente, destaca-se que os blocos podem ainda ser reutilizados, caso seja necessário algum dia retirá-los total ou parcialmente, estes podem ser reinstalados em outra localidade. Tais características denotam a versatilidade e praticidade de se trabalhar com os blocos para pavimento intertravados (Amaral *et al.*, 2015; Namarak *et al.*, 2018; Andrade, 2019).

O pavimento intertravado de concreto apresenta grande variabilidade estética, devido as variações de formas, cores e texturas em suas peças. De acordo com Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)(2010), a versatilidade em cores e adaptação do piso intertravado ao meio em que foi executado permite a delimitação de áreas. Em algumas cidades brasileiras as calçadas possuem medidas mínimas para faixa de serviço, faixa livre e faixa de acesso, podendo ser delimitadas pelas cores dos blocos para esse tipo de pavimento. Da mesma forma acontece para o acesso de pessoas com deficiência, quando são utilizados blocos com texturas adaptadas as necessidades dos usuários dessas vias (Gabriel, 2020).

Os produtos à base de cimento podem ser totalmente reciclados e reutilizados na produção de novos materiais, diversos estudos já existem nesse sentido, como o estudo de Cavalcanti *et al.* (2011), que estudaram a viabilidade da utilização dos resíduos de construção

e demolição para fabricação e assentamento dos blocos intertravados. Isto ajuda na preservação de jazidas de calcário e evita a saturação de aterros. Martins Filho e Martins (2017), avaliaram a utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para a fabricação de blocos de concreto para pavimentação. Outra possibilidade que se mostra viável é a fabricação desses blocos a partir da utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar substituindo parcialmente o agregado miúdo apontado no estudo de Altoé *et al.* (2011). Tais estudos demonstram as possibilidades ecológicas voltadas ao aproveitamento sustentável dos diferentes tipos de resíduos.

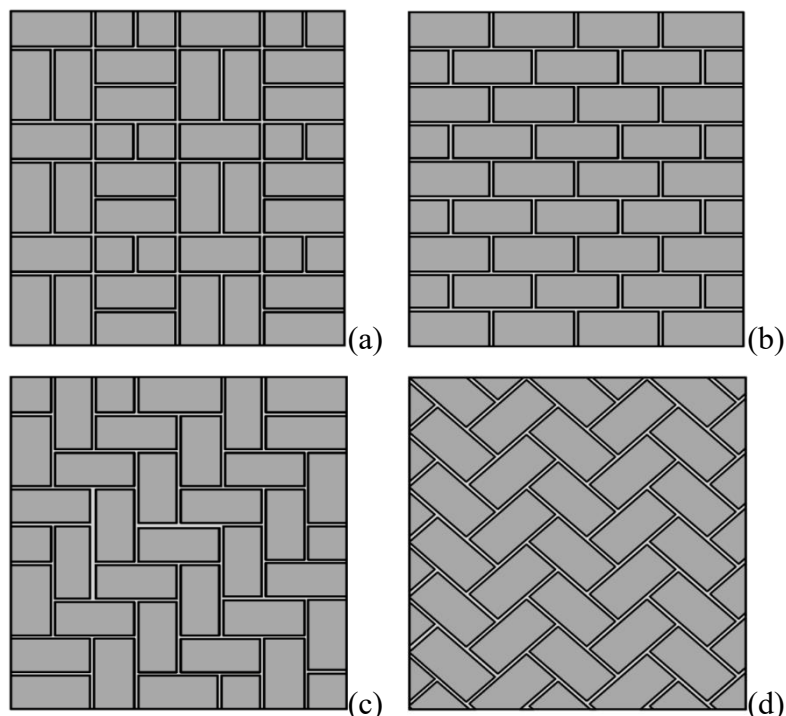
Outro aspecto que merece destaque quando se adota o uso de blocos para pavimento intertravado é o seu desempenho térmico. Essa característica está relacionada principalmente com a refletância e emissividade térmica dos pisos. Os blocos geralmente apresentam menor emissividade e maior refletância, o que contribui para um melhor desempenho térmico destes pisos (menor temperatura do pavimento), especialmente quando comparado aos pavimentos de asfalto. Por este motivo, os pavimentos intertravados são utilizados nas cidades com o conceito de pavimentos frios (*cool pavements*), sendo utilizados para diminuir o efeito de ilhas de calor nos centros urbanos mais adensados. Em mesmas condições de exposição, comprovou-se que há uma redução da temperatura superficial de aproximadamente 24,3% quando são utilizados pavimentos com blocos intertravados quando comparados a pavimentação asfáltica (Silva, 2022).

No Brasil a norma que estabelece os requisitos em ensaio exigíveis para a aceitação de peças de concreto para pavimentação intertravada sujeita ao tráfego de pedestres, de veículos dotados de pneumáticos e áreas de armazenamento de produtos é a NBR 9781 (ABNT, 2013), sendo complementada pela NBR 15953 (ABNT, 2011), que trata sobre a execução desse tipo de pavimento.

3.3 Tipos e formatos de blocos intertravados

O tipo de arranjo para a execução do assentamento definirá a aparência estética do pavimento intertravado e também afetará a sua durabilidade, através da melhora do seu desempenho. A Figura 2 apresenta os principais tipos de arranjos utilizados. A espessura dos blocos muda conforme sua utilização. Para ambientes que apresentem apenas trânsito de pedestres ou de carros leves, o recomendado são blocos com 6 cm de espessura. Para locais com maior fluxo de veículos (trânsito médio), a sugestão é adotar blocos de 8 cm de espessura. Já para locais com fluxo intenso (trânsito pesado) devem ser adotados blocos de 10 cm de espessura (Barbosa *et al.*, 2021).

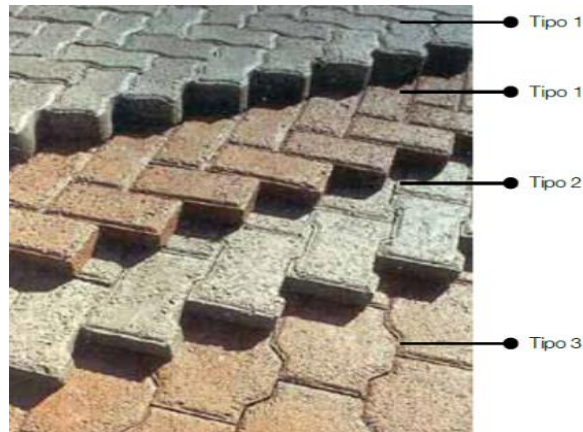
Figura 2 - Tipos de arranjo para os blocos intertravados: (a) arranjo tipo trama; (b) arranjo tipo fileira; (c) arranjo tipo espinha de peixe, ou reto e (d) arranjo tipo espinha de peixe a 45°, ou inclinado.



Fonte: Adaptado ABCP (2010).

Em relação aos formatos, são definidos três principais tipos básicos de formatos de blocos, o tipo 1, tipo 2 e o tipo 3, conforme mostrado na Figura 3. O tipo 1 é constituído por formas retangulares, apresenta facilidade de produção e colocação em obra, além de facilitar a construção de detalhes nos pavimentos. As suas dimensões são, usualmente, 20 cm de comprimento por 10 cm de largura e as suas faces laterais podem ser retas, curvilíneas ou poliédricas. O tipo 2 genericamente apresenta o formato “I” e somente pode ser montado em fileiras travadas, pois só podem ser assentados em fileiras. As suas dimensões são, usualmente, 20 cm de comprimento por 10 cm de largura. E finalmente, o tipo 3 é o bloco que, pelo seu peso e tamanho, não pode ser apanhado com apenas uma mão, possuindo formatos geométricos característicos (suas dimensões são de, pelo menos, 20x20 cm) (ABCP, 2010).

Figura 3 - Diferentes formatos adotados para blocos intertravados.



Fonte: ABCP (2010).

3.4 Fabricação dos blocos para pavimento intertravado

Os blocos para pavimento intertravado são produzidos por, pelo menos, três processos de fabricação bem distintos: processo dormido, virado e prensado (ou vibroprensado). Fernandes (2019) destaca que o processo dormido é aquele onde o concreto é produzido através da utilização da betoneira, depois é despejado em um molde e deixado de um dia para o outro. O concreto que não chega a apresentar uma consistência plástica é inserido manualmente nas fôrmas e adensado com o auxílio de uma mesa vibratória. Como característica marcante deste processo, têm-se a desforma das peças apenas no dia seguinte, fato que dá origem ao termo “dormido” (Bittencourt, 2012; Leal, 2018).

Por serem usados moldes constituídos de plástico, aço ou fibra estes blocos normalmente ficam com um acabamento liso, sendo destinado a uso preferencialmente em áreas domésticas. Normalmente apresenta uma produção mais limitada, requerendo uma base bem executada para o seu assentamento. O presente estudo utilizou esse processo como base para a produção dos blocos pré moldados.

O processo virado, ou batido, é um processo bem simples, necessitando apenas de betoneira para misturar o concreto, mesa vibratória e um jogo de formas metálicas. Estas formas são preenchidas e imediatamente viradas para baixo sobre uma superfície plana, lisa e untada com óleo, ou uma fina camada de areia, sendo adensadas com auxílio da mesa vibratória. O concreto empregado não pode estar muito seco, de forma que os cantos da peça esfarelem, e nem muito fluido, o que acarretaria em deformações durante o desmolde. O consumo de cimento é baixo, por empregar uma camada fina de acabamento sobre uma camada grossa caracterizada por bastante agregado graúdo. Apresenta acabamento inferior devido a desforma

do concreto em estado fresco e baixa produtividade em relação ao processo prensado (Fernandes, 2019).

O processo prensado, ou vibroprensado, é o mais usado no mundo e resulta em um bloco de maior desempenho estético, maior variabilidade de cores e formatos, além de melhor desempenho mecânico. Requer maiores investimentos e cuidados na produção, mas proporciona uma maior produtividade. Normalmente utilizado por empresas de médio e grande porte que comercializam esse tipo de bloco. O concreto, necessariamente de consistência mais seca, denominado “farofa”, normalmente empregando agregados com grãos mais finos, é adensado sob alta pressão e constante vibração em equipamentos de produção em escala denominados vibroprensas (Figura 4).

Figura 4 - Vibroprensa multifuncional.



Fonte: Altoé (2012).

Em relação ao processo vibroprensado, Pirola (2011) destaca que para ser realizado, são necessária cinco etapas sequenciais, sendo estas: i) o armazenamento (matéria-prima); ii) a divisão dos materiais armazenados nas diferentes proporções pré-estabelecidas; iii) a mistura destes materiais; iv) a montagem das peças por meio do processo de vibroprensagem; v) a consolidação das peças (cura). Todas estas etapas, segundo estes autores, são fundamentais para obtenção de blocos de qualidade.

O processo de compactação da mistura permite a obtenção de peças com menor consumo de cimento quando comparados ao concreto plástico, aumentando sua eficiência quando comparado aos outros processos de fabricação dos blocos (Leal, 2018; Marchioni, 2012).

3.5 Compósitos cimentícios reforçados com fibras

Conforme Callister (2012), um compósito pode ser considerado como qualquer material multifásico, produzido artificialmente, que exhibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases constituintes, sendo que as mesmas devem ser quimicamente diferentes e estarem separadas por uma interface distinta, de forma que é obtida a melhor combinação de propriedades.

Diversos compósitos possuem apenas duas fases, a matriz cuja característica é ser contínua e a fase dispersa. Existem quatro principais divisões, quando se fala em classificação dos compósitos: os compósitos reforçados com partículas, compósitos reforçados com fibras, nanocompósitos e os compósitos estruturais.

O concreto é um compósito com partículas grandes comum, em que as fases matriz e dispersa são materiais cerâmicos. Como a maioria dos materiais cerâmicos, o concreto de cimento Portland, é relativamente fraco, apresentando baixa resistência à tração, e comportamento frágil. O concreto reforçado com fibra é um material compósito no qual busca-se melhores níveis de resistência à tração e à flexão, adicionando fibras de reforço, sejam elas naturais ou artificiais, a mistura de concreto (Callister, 2012).

O concreto possui altos níveis de resistência mecânica, desempenho durável e capacidade de trabalho, porém sua estrutura heterogênea apresenta alguns efeitos indesejáveis. Dentre esses efeitos, pode-se destacar a existência de zonas de concentração de tensões internas, que poderá implicar no aparecimento de vazios internos, que ocorrem tanto no concreto em fresco como no estado endurecido. Esses vazios podem resultar, mesmo sem aplicação de carga ou outras intempéries, no surgimento de microfissuras dentro do concreto nas interfaces entre a matriz e o agregado. Ao serem considerados os fatores externos, como a aplicação de cargas estruturais, e os efeitos ambientais, como a fuligem, nesse concreto, poderão influenciar na quantidade de fissuras que irão aparecer, além do tamanho que essas fissuras podem alcançar. Como resultado final, a propagação das fissuras na matriz e a junção de trincas, podem provocar o aparecimento de fissuras ainda maiores, resultando na falha do concreto (Neto *et al.*, 2018).

Conforme Neto (2018), a incorporação de fibras pode atuar de duas formas em compósitos à base de cimento: com reforço primário, incrementando as propriedades de flexão

e tração dos compósitos e como reforço secundário, dificultando a criação e propagação de fissuras na matriz de cimento por ponte sobre as microfissuras. O autor cita que a aplicação de fibras em materiais cimentícios normalmente é acompanhada de resultados desejáveis como diminuição da criação de fissuras e propagação das mesmas, aumento da tenacidade e ductilidade da matriz, aumento da capacidade de absorção de energia e aumento das resistências à tração e flexão. Além de que o compósito, ao invés de se romper subitamente após o início da fissuração da matriz, apresenta uma deformação plástica considerável que o torna um material adequado para a sua utilização em construções.

As fibras lignocelulósicas nos compósitos cimentícios podem sofrer vários graus de degradação, quando expostas ao ambiente alcalino e à intensidade deste elemento, a qual é determinada pelas características da fibra. O meio alcalino degrada os componentes macromoleculares das fibras, principalmente pela solubilização da lignina e a desfibrilação da celulose, causando a separação das fibrilas da celulose que estavam unidas, o que acaba por comprometer as suas propriedades físicas e mecânicas (Lopes *et al.*, 2011).

Conforme Lopes *et al.* (2011), pode ocorrer a incompatibilidade entre a fibra introduzida no compósito e a matriz, existindo dois principais tipos de incompatibilidade entre eles. A incompatibilidade física, que resulta na perda de aderência fibra-matriz e a incompatibilidade química, que resulta no enfraquecimento ou petrificação da fibra.

As fibras lignocelulósicas apresentam uma natureza hidrofílica que influencia nas propriedades mecânicas do compósito, dependendo da aplicação, do volume, forma de distribuição, do tratamento e das características da matriz, pode-se agregar vantagens na questão da sustentabilidade e na resistência mecânica. Contudo, em contato direto com os álcalis do cimento Portland e o hidróxido de cálcio durante a hidratação, a fibra é degradada afetando sua durabilidade, suas propriedades e fragilizando o compósito (Oliveira *et al.*, 2022).

Para tentar dirimir essa situação, estão sendo desenvolvidos compósitos que apresentem boas propriedades físico-mecânicas através da melhoria da interface entre a matriz e o material lignocelulósico. A resistência das fibras vegetais ao ataque alcalino pode ser aumentada por meio de tratamentos químicos superficiais como a acetilação que apresenta capacidade de reduzir a natureza higroscópica das fibras lignocelulósicos pela introdução de grupos funcionais hidrofóbicos em sua estrutura química. Outra possibilidade para diminuir esta degradação é a modificação da matriz cimentícia, com a substituição parcial do cimento comum por materiais cimentícios alternativos, como por exemplo a utilização de metacaulim, visto que o hidróxido de cálcio, principal responsável pela elevada alcalinidade na matriz cimentícia, presente no cimento Portland devido a cal livre e reações de hidratação dos silicatos,

é o principal componente de degradação da fibra (Lopes, 2011; Oliveira, 2022).

Oliveira *et al.* (2022), analisou o comportamento mecânico à tração direta de fibras contínuas (longas) unidirecionais de malva (*Urena lobata* L.) e juta (*Corchorus capsularis* L.) em compósitos alternativos de fibrocimento. Os mesmos desenvolveram um biocompósito, substituindo parcialmente o cimento Portland por metacaulim, e avaliaram o comportamento mecânico do mesmo a tração direta de endurecimento por deformação, após os 28 dias do processo de cura. Os resultados indicaram que os compósitos cimentícios reforçados com fibras de malva tiveram um ganho no comportamento de endurecimento por deformação após a primeira fissura, apresentando mais múltiplas fissuras que os compósitos cimentícios reforçados com fibras de juta. Os autores avaliaram que ocorreu a melhora da resistência desses biocompósitos, concluindo que os mesmos podem ser utilizados em sistemas semiestruturais e estruturais, sujeitos à tração direta.

Magalhães *et al.* (2022), produziram um compósito cimentício reforçado com fibras provenientes da capa do palmito pupunha, analisando a absorção de água da fibra além de avaliar suas propriedades após a realização de testes de resistência mecânica do compósito. Os mesmos utilizaram tratamentos sem fibras (controle) e com adição de 2% em massa de fibra em relação à massa do cimento. O compósito foi elaborado em dois formatos, prismático e cilíndrico, para a realização dos testes de resistência à flexão em três pontos e resistência à compressão. Os mesmos foram rompidos em 7, 14 e 28 dias.

Os autores concluíram que a incorporação de 2% em peso de fibras lignocelulósicas na matriz cimentícia causou diminuição das resistências mecânicas (à compressão e à flexão) em cerca de 25% e 21%, respectivamente, após 28 dias de cura, quando comparada à condição sem adição de fibras. Apesar da diminuição da resistência, os autores verificaram que a adição de fibras vegetais da capa de pupunha permitiu reduzir o uso de cimento e aumentou a elasticidade das peças produzidas.

Santos e Lopes (2022), avaliaram a produção de um compósito cimentício a partir da substituição parcial do agregado miúdo por fibras do pseudocaule de bananeira, nos teores de 1,0% e 2,0%, em relação à massa do agregado miúdo, além do concreto de referência. A escolha das fibras vegetais por parte dos estudiosos se deu devido a característica das fibras incorporadas às matrizes frágeis possuírem a capacidade significativa no ganho de tenacidade. Foram realizados ensaios de propriedades mecânicas de resistência à compressão e tração, após os 28 dias de cura, sendo os resultados correlacionados com seus respectivos teores de fibras.

Os pesquisadores obtiveram resultados divergentes quanto ao resultado do ensaio de resistência à compressão, no qual o concreto com teor de fibras de 1,0% obteve melhor

desempenho, com apenas 14% de redução de resistência relacionando-o ao concreto de referência. Já em relação ao concreto de 2,0% de fibras, seus resultados foram insatisfatórios pois ocorreu a redução de 47% de sua resistência. Os autores relacionaram esse baixo resultado devido a sua baixa consistência, o que provocou dificuldade no abatimento do concreto, além de outros diversos fatores.

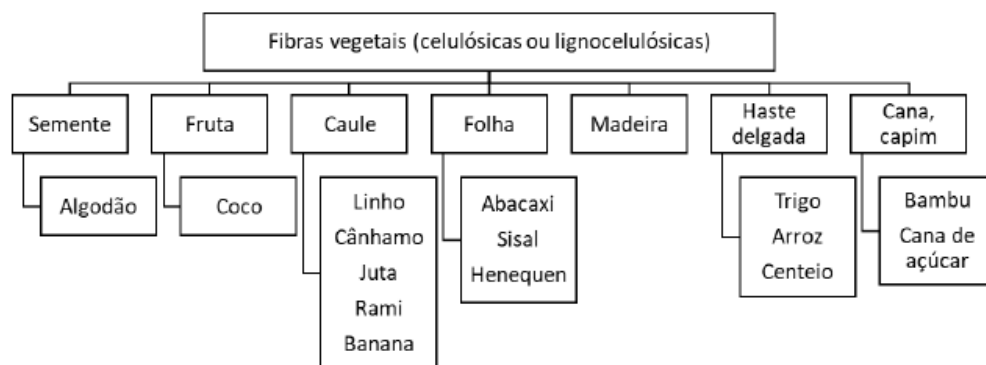
Quanto ao ensaio de resistência à tração, os resultados obtidos foram satisfatórios sendo equivalentes ao do concreto de referência, o que propiciou aos pesquisadores a conclusão de que as fibras podem ser utilizadas como reforços de matrizes frágeis, atuando como uma costura, evitando fissuras e aumentando a ductilidade do concreto.

Os autores concluíram que o concreto com 1,0% de fibras terá viabilidade de utilização em alguns tipos de pavimentos, ciclovias, praças, revestimentos, sarjetas e estacas, desde que não haja características estruturais. Já o concreto com 2,0% não poderá ser utilizado na construção civil, devido aos resultados insatisfatórios nos ensaios mecânicos.

3.6 Casca de arroz

As fibras naturais utilizadas na produção de compósitos, incluídos os cimentícios, que possuem o cimento Portland como principal componente, são classificadas em fibras de origem animal e vegetal. As fibras naturais, especialmente as de origem vegetal, são caracterizadas como lignocelulósicas, pois possuem em sua composição a lignina, a celulose e a hemicelulose (Chokshi *et al.*, 2020). As fibras de origem vegetal são obtidas, principalmente dos caules, frutos, folhas ou sementes de vegetais, como demonstrado na figura 5.

Figura 5 - Principais tipos de fibras vegetais.



Fonte: Classificação de fibras vegetais (adaptado de Lopes, 2017).

A casca de arroz, removida durante o beneficiamento do grão, é um resíduo derivado do processo produtivo desse cereal. É um dos principais subprodutos dessa indústria produtiva e, em sua maioria, resíduos agrícolas como esse não são tratados ou reaproveitados na cadeia de produção. Depositados de maneira inadequada, os mesmos podem contaminar a água ou o solo, trazendo grande impacto ambiental. Além disso, o não aproveitamento dos resíduos pode representar em perdas de matérias-primas e energia, que poderiam ter uma finalidade mais nobre, o que pode exigir investimentos significativos em tratamentos para controlar a poluição se ocorrer o descarte inadequado (Calegari, 2018).

A maior parte da casca de arroz, oriunda do beneficiamento do grão, é queimada nas próprias unidades de beneficiamento, sendo utilizada como fonte de energia, o que acaba gerando um grande volume de cinzas que muitas vezes são descartadas no meio ambiente. Tanto a disposição inadequada da casca de arroz no meio ambiente, pois a mesma pode levar até 5 anos para se decompor, emitindo metano nesse processo, como o descarte da cinza da casca de arroz (CCA) no meio ambiente, são questões ambientais que precisam ser rapidamente resolvidas, o que estimula o estudo sobre a utilização desses rejeitos em diversas áreas, como a utilização da cinza da casca de arroz em argamassas ou no concreto (Simundi, 2017).

Diversos autores ao realizarem estudos acerca do aproveitamento da casca de arroz, visando outras finalidades sustentáveis que não o descarte, realizaram a caracterização da mesma, visando obter informações sobre as suas propriedades e sua composição. Dentre eles, podemos citar Bakar *et al.* (2020), que cita que a casca de arroz é classificado como um material lignocelulósico, com baixo conteúdo de proteínas e pouca digestibilidade, composto por aproximadamente 25-30% de lignina, 50% de celulose e 15-20% de sílica, que é a denominação usual para o dióxido de silício (SiO_2).

Já segundo Houston (1972), a casca de arroz corresponde a aproximadamente 20% do peso do grão, sendo o maior subproduto da produção. É um material abrasivo de baixa densidade. É constituída de 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de resíduos orgânicos. Patel *et al.* (1987), cita que a casca de arroz contém 22,12% de dióxido de silício (SiO_2), 73,8% de materiais orgânicos e água e cerca de 4% de outros materiais.

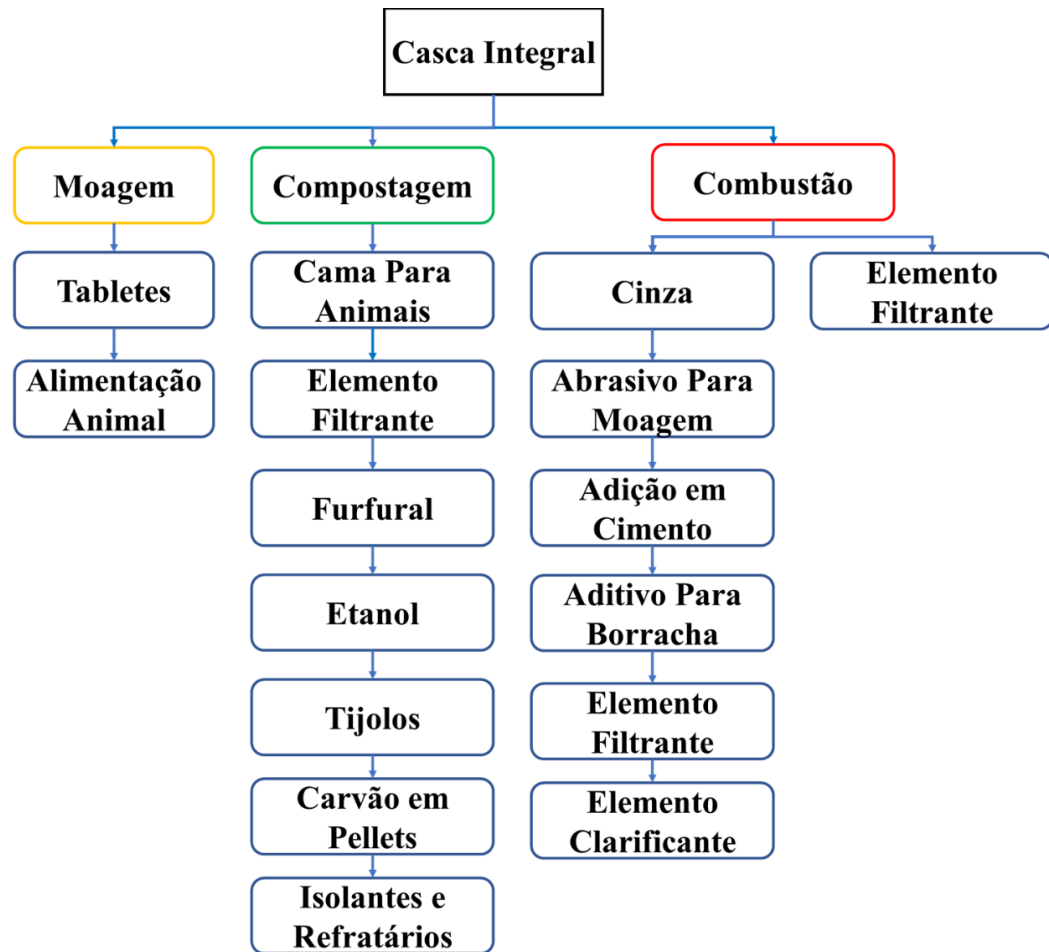
Amantino *et al.* (2021), cita que a casca de arroz é composta por celulose (40% a 50%), lignina (25% a 30%), matéria inorgânica (aproximadamente 20%) e sílica.

A existência da sílica vem do solo, ela é transportada por dentro da planta como ácido monossílico, que se concentra na casca e caule da planta devido a evaporação da água, em seguida passa por polimerização para formar a membrana sílico celulósica (Houston, 1972). Composta por oxigênio e silício, este composto químico pode ser observado na natureza em

diferentes formas, sendo estas: pura (na areia, arenitos, quartizitos ou em rochas de quartzos); hidratada (na opala); ou na forma mineral (em associações que dão origem ao feldspatos e silicatos) (Iacks, 2018).

Na Figura 6 estão demonstradas algumas das principais aplicações que a casca de arroz podem ser destinadas.

Figura 6 - Aplicações da casca do arroz.



Fonte: Adaptado de Tashima *et al.* (2011).

3.7 Considerações ambientais dos blocos para pavimento intertravado

As superfícies impermeáveis, como estradas asfaltadas, estacionamentos e calçadas, diminuem a capacidade dos solos de infiltração da água da chuva, resultando no escoamento de inúmeros poluentes antropogênicos, para as redes de esgoto pluviais. A utilização de blocos intertravados de concreto como pavimento, se constitui numa solução eficaz para que o solo possa captar a água da chuva, auxiliando a redução da ocorrência de enchentes nas cidades, ao reduzir o escoamento superficial (Mahdi, Irzooki, Abdurrahman, 2021).

Além disso, estes pavimentos impermeáveis intensificam o chamado “efeitos de ilha de calor urbana” (Weiss *et al.*, 2017). A ampliação deste efeito, se deve a baixa permeabilidade, especialmente dos pavimentos asfálticos tradicionais, que possui baixo albedo e emissividade de calor e alta capacidade térmica, afinal, absorvem o calor do sol durante o dia, superaquecem e irradiam quando a temperatura cai, normalmente pela noite, (Peluso; Persichetti e Moretti, 2022), mantendo elevada a temperatura em sua área superficial de influência. Desta forma, sem potencial de gerar um ambiente com menor temperatura, promovendo a manutenção do efeito de ilhas de calor (Silva, 2022). Contudo, a utilização de peças de concreto com pigmentação clara, uma das possibilidades estéticas, proporciona menor absorção de calor, melhorando o conforto térmico de vias e calçadas (ABCP, 2010).

Os pavimentos asfálticos são cada vez mais utilizados na engenharia rodoviária, sendo que para facilitar e agilizar o seu processo de construção, utiliza-se mistura alfática quente, com o objetivo de reduzir sua viscosidade e elevar os requisitos de fluidez do pavimento. No entanto, o asfalto ao ser continuamente aquecido em alta temperatura, libera elevado número de vapores durante sua fabricação, transporte e construção. Entre os componentes típicos do gás de combustão asfáltica, destaca-se os compostos orgânicos voláteis (COVs), que são solventes altamente voláteis e que são nocivos ao meio ambiente e a saúde dos seres humanos (Chen *et al.*, 2022).

Além de não liberar COVs, nem durante a execução e nem durante a vida útil do pavimento, as peças de concreto utilizadas no pavimento intertravado podem contribuir com a melhoria da qualidade do ar pois o concreto absorve o dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera ao longo de sua vida útil. Esse fenômeno, chamado de sequestro de carbono, absorve quimicamente o CO₂ no concreto e está sendo estudado por muitos pesquisadores (Silva, 2022).

O uso de pavimentos alternativos, que venham a ser considerados materiais ambientalmente amigáveis, ao substituir os pavimentos tradicionalmente empregados (em especial, o asfalto), podem contribuir de forma significativa para a obtenção de um ambiente urbano mais adequado, proporcionando um infraestrutura que busque a sustentabilidade.

Destaca-se ainda, que estes pavimentos ecológicos podem contribuir com o processo de sequestro de carbono (Ravikumar *et al.*, 2023).

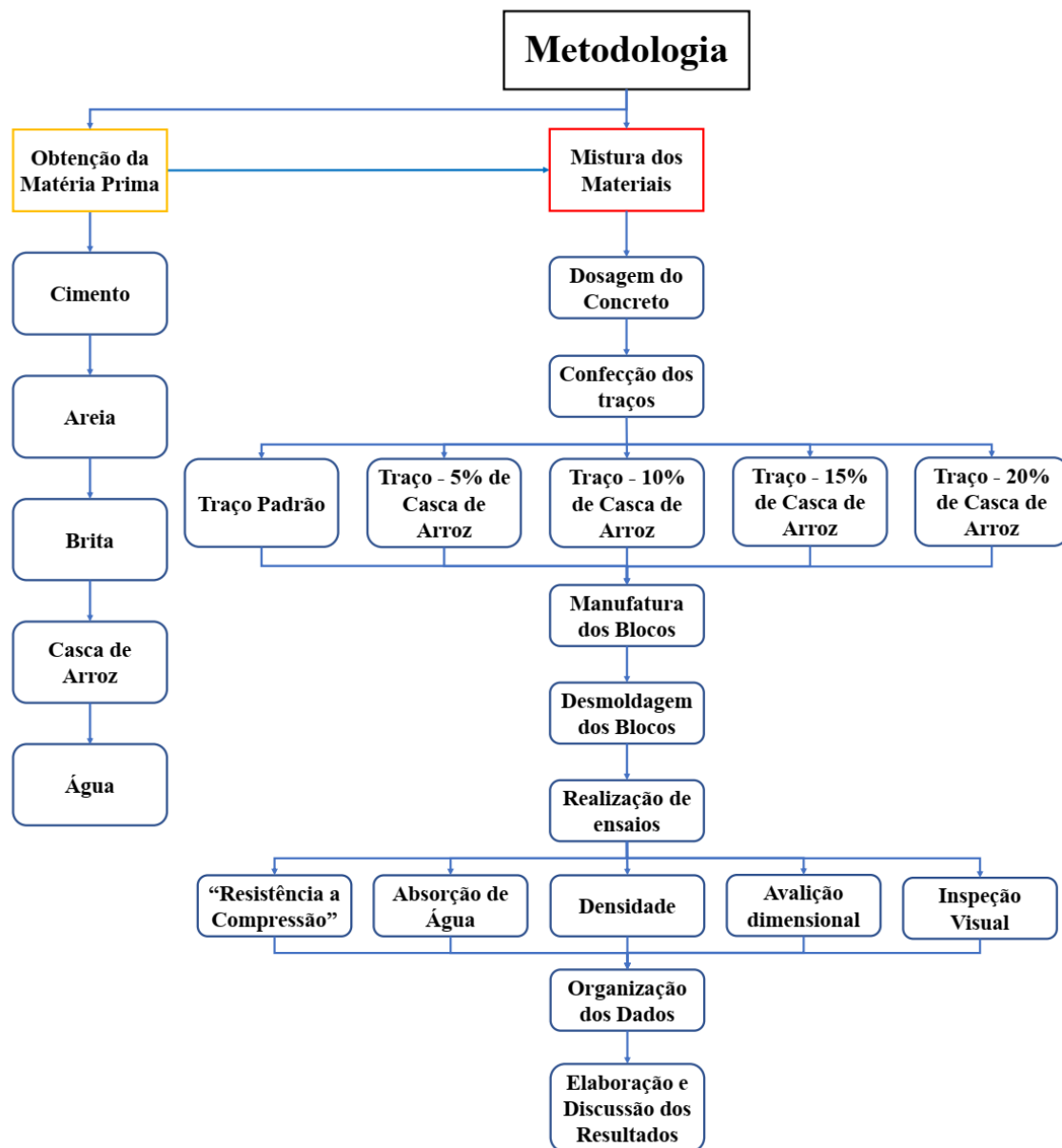
A captura e utilização de CO₂ para produzir produtos economicamente viáveis oferece o benefício duplo de mitigar as mudanças climáticas e gerar produtos economicamente viáveis. Nessa direção, a produção de blocos intertravados que contemplem a utilização de resíduos agroindustriais gerados em larga escala, aliada a produção de concreto destes blocos, se mostram alternativas ecologicamente viáveis para o futuro.

Portanto, há uma necessidade urgente de desenvolver materiais voltados para a construção civil a partir de resíduos agrícolas e industriais que possuam alta resistência e sejam sustentáveis. Esse desenvolvimento não deve apenas reduzir o custo de materiais de construção, mas reduzir o impacto ambiental como resultado da ininterrupta mineração dos agregados naturais, além do aproveitamento desses resíduos (Ugochukwu *et al.*, 2021).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste tópico são descritos os materiais e os métodos inerentes ao procedimento experimental seguidos na presente pesquisa. A produção dos blocos intertravados foi realizada no Laboratório de Materiais e Processos Construtivos no Campus Caraúbas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), seguindo o cronograma exposto abaixo (Figura 7).

Figura 7 - Fluxograma do procedimento experimental seguido.

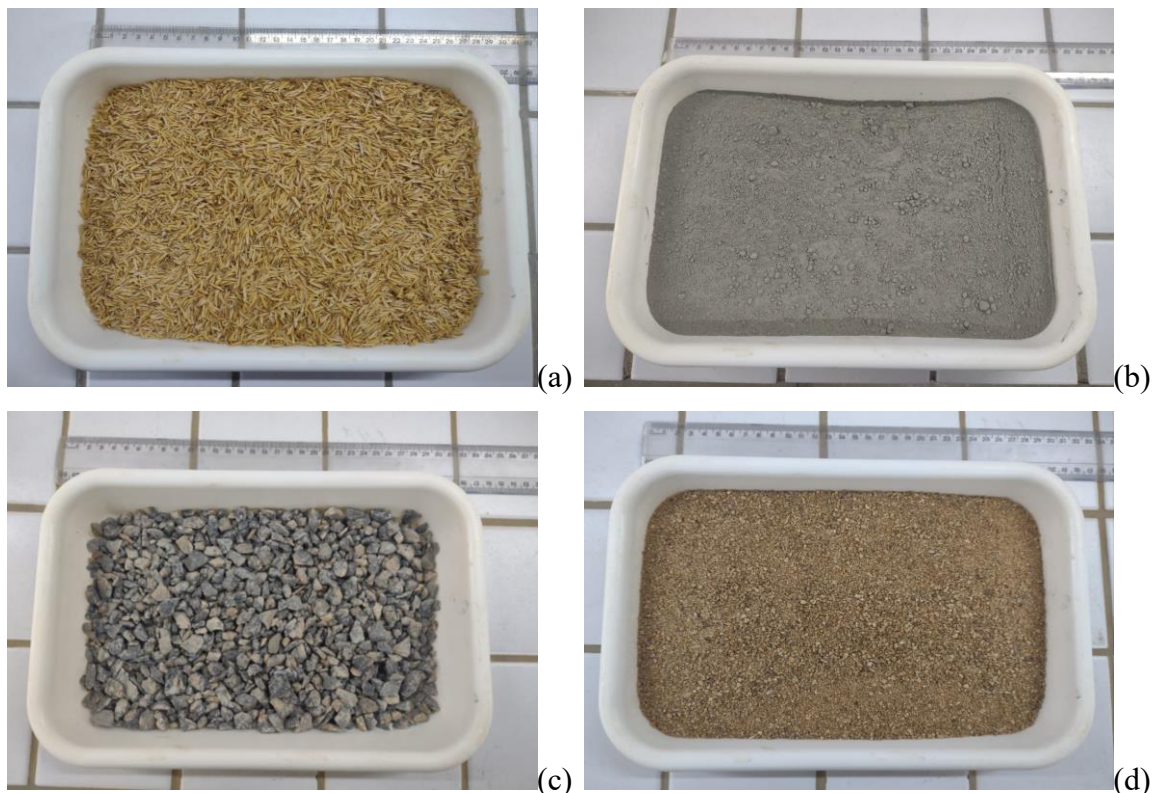


Fonte: Autoria própria (2023).

4.1 Materiais para a produção dos blocos

Para a manufatura dos blocos intertravados foi utilizada casca de arroz adquirida na cidade de Morada Nova, no estado do Ceará. Foram adquiridos no total de 35 quilos, de apenas uma empresa que realiza o beneficiamento do arroz, com a finalidade de fazer a produção dos blocos de forma mais uniforme possível. A casca de arroz foi submetida a um processo de triagem visual, visando retirar qualquer corpo estranho que estivesse misturado a casca. Posteriormente foi separada e pesada para ser incorporada junto ao cimento para a produção dos blocos (Figura 8a).

Figura 8 - Matéria-prima utilizada para manufatura dos blocos para piso intertravados: a) casca de arroz utilizada na produção dos blocos intertravados; b) cimento CP V-ARI utilizado na fabricação dos blocos; c) brita granítica utilizada na pesquisa; d) areia lavada e peneirada utilizada na pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2023).

O cimento empregado na fabricação dos blocos pré-moldados, foi o Cimento Portland (CP) V ARI-RS 40 kg (cimento Portland de Alta Resistência Inicial, resistente ao ataque de sulfatos), da marca MIZU®, pertencentes ao mesmo lote de fabricação, uma vez que sua composição influencia no calor de hidratação (Figura 8b). O mesmo foi escolhido devido a

algumas de suas características, como a secagem rápida, a desforma rápida, além da alta resistência inicial. O Cimento Portland V ARI-RS é utilizado na fabricação de elementos pré-fabricados, pré-moldados e em construções em geral.

O cimento Portland de Alta Resistência Inicial e máxima performance (CP V-ARI), é um produto que contém em sua composição clínquer, gesso e até 5% material carbonático finamente moídos. Seu processo de moagem permite que este material apresente uma maior reatividade com a água. Tais características permitem que este cimento atinja elevada resistência logo após sua aplicação (ABCP, 2002; Câmara, 2019).

A caracterização física, química e mecânica do cimento foi obtida a partir de boletins técnicos fornecidos pelo próprio fabricante, assim como sua composição, mostrados nas Tabelas 1 e 2, cujas características físicas e químicas atenderam as especificações de cimento composto, conforme NBR 16697 (ABNT, 2018).

Tabela 1 - Propriedades do cimento Mizu® CP - V ARI - RS.

Resistência à compressão esperada em dias (MPa)	01 dias	03 dias	07 dias	28 dias	Massa específica (g/cm³)	Finura Blaine (cm²/g)
	19,35 ± 0,84	30,76 ± 0,61	38,80 ± 0,49	46,24 ± 0,41	3,08 ± 0,01	4.673,42 ± 125,51

Fonte: Adaptado dos resultados fornecidos pela empresa MIZU® (2022).

Tabela 2 - Composição do cimento Mizu® CP - V ARI - RS.

Componentes	Faixa de Concentração (%)
Silicato tricálcico	20-70
Silicato dicálcico	10-60
Ferro-aluminato de cálcio	5-15
Aluminato tricálcico	1-15
Sulfato de cálcio	2-10
Carbonato de cálcio	0-5
Óxido de magnésio	0-8
Óxido de cálcio	0-2

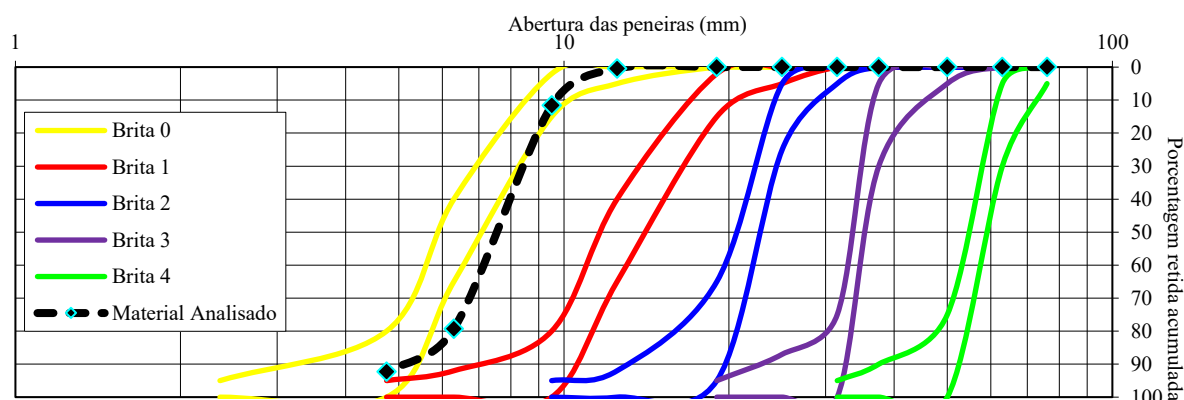
Fonte: Adaptado dos resultados fornecidos pela empresa MIZU® (2018).

O agregado graúdo utilizado na presente pesquisa, foi a brita granítica, adquirida no comércio local da cidade de Caraúbas-RN (Figura 8c). Inicialmente a brita foi lavada e logo

após foi seca ao ar. Esse procedimento foi necessário para retirar qualquer poeira e elemento orgânico que estivesse misturado a brita. Posteriormente, a mesma foi separada visando retirar qualquer corpo estranho que ainda restasse presente, além de obter a quantidade de material necessário para cada ensaio.

A brita granítica utilizada foi classificada como do Tipo I, após sua caracterização granulométrica realizada através do ensaio de peneiramento, obtendo como resultado as curvas granulométricas (Figura 9), conforme critérios de classificação contidos na NBR 7225 (ABNT, 1993).

Figura 9 - Curvas granulométricas do agregado graúdo utilizado.



Fonte: Autoria própria (2023).

As informações da composição granulométrica do agregado graúdo utilizado no experimento constam na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição granulométrica do agregado graúdo.

Dimensão Máxima Característica (mm)	Módulo de Finura	Material do agregado graúdo
12,5	5,53	Granito

Fonte: Autoria própria (2023).

O agregado miúdo empregado na fabricação dos concretos foi areia natural lavada, adquirida no comércio da cidade de Caraúbas-RN (Figura 8d). Após a lavagem, o material foi passado na peneira de abertura de 5,75 mm, desprezado o material retido, posteriormente foi devidamente identificado e estocado em baldes. Finalmente a mesma foi separada visando retirar qualquer corpo estranho, tais como elementos orgânicos presentes após o peneiramento, e a posterior obtenção das quantidades de material necessárias para cada ensaio.

A água utilizada no experimento e confecção dos corpos de prova foi fornecida pela rede de abastecimento público da cidade de Caraúbas-RN. Esta água tem seu tratamento físico-químico-biológico realizado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

4.2 Composição do traço e cálculo do volume de concreto produzido

O traço utilizado foi baseado na pesquisa de Barboza e Bastos (2012), que tinha por objetivo construir Diagramas de Dosagem de Concretos com três tipos de cimento (CP II-E-32, CP V-ARI e CP II-F-32), para resistências de dosagem à compressão compreendidas entre 15 e 50 MPa. Os traços utilizados para os diferentes percentuais de incorporação da casca de arroz são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Traço em massa utilizado na produção dos blocos do experimento.

Quantidade de blocos produzidos	Padrão			20 blocos	Resistência de Dosagem Esperada (MPa) na idade (dias)	28 dias
	5%, 10%, 15% e 20%			14 blocos para cada experimento		35 MPa
Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Casca de Arroz (kg)	Aditivo (kg)
Padrão	8,90	20,57	22,18	4,80	0	0
5%	5,92	14,40	15,52	3,36	0,31	0
10%	5,61	14,40	15,52	3,36	0,62	0
15%	5,27	14,40	15,52	3,36	0,93	0
20%	4,99	14,40	15,52	3,36	1,25	0

Fonte: Autoria própria (2023).

Com o volume de cada bloco calculado, obtido de acordo com as dimensões do molde utilizado, e definida a quantidade de blocos para cada experimento, foi possível realizar a correlação e achar o traço em massa de acordo com o cimento escolhido, CP V-ARI, considerando a resistência de dosagem esperada aos 28 dias (35 MPa). Os blocos produzidos não contaram com a adição de aditivo, na forma convencional.

4.3 Umidade no agregado miúdo

O teor de umidade dos agregados é de grande importância, principalmente nos agregados miúdos, devido ao fenômeno do inchamento. O agregado miúdo, quando utilizado

na fabricação do concreto, apresenta-se geralmente úmido. A experiência mostra que a água livre aderente aos grãos provoca um afastamento entre eles, do que resulta o inchamento do conjunto. Esse inchamento depende da composição granulométrica e do grau de umidade do agregado, sendo maior para as areias finas que apresentam maior superfície específica.

No presente trabalho, foi realizada a medição da umidade presente no agregado miúdo (areia). O procedimento de medição desse teor de umidade foi realizado utilizando o método da estufa, devido a sua precisão e sua simplicidade. Para isso, foi determinada a massa do cadinho, logo após foi determinada a massa do conjunto (cadinho mais amostra) e por fim foi realizada a medida da massa da amostra (úmida).

A amostra do agregado miúdo foi retirada de diferentes locais de onde a mesma ficou estocada, visando calcular a umidade como um todo, e não somente de uma área específica da amostra. As amostras então foram levadas a estufa, no experimento foi utilizada uma estufa com circulação e renovação de ar modelo SL-102 da marca Solab®, durante um período de 24 h, sendo submetida a temperaturas que variavam entre 105 ± 2 °C e realizadas quatro determinações (4 cadinhos com amostras do agregado). Foram realizadas novas pesagens após a retirada do conjunto (cadinho mais amostra) da estufa, sendo registrado o valor da massa do agregado miúdo seco. O cálculo da umidade das amostras coletadas foi realizado de acordo com a Equação 1.

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde U é a umidade do agregado miúdo, expressa em porcentagem (%), M_u é a massa do agregado miúdo úmido, em gramas (g), e M_s é a massa do agregado miúdo seco, em gramas (g).

Para a fabricação dos blocos, tanto o bloco padrão (referência), como os blocos produzidos pela incorporação da casca de arroz misturada ao cimento, nos diferentes percentuais, foram calculados o teor de umidade do agregado miúdo utilizado na produção dos blocos. Deve-se destacar que os blocos com a incorporação parcial de 5% foram produzidos em um momento posterior aos outros, de forma que o agregado miúdo apresentava um estado mais seco do que quando foi utilizado na produção dos blocos com outros percentuais de casca.

O teor de umidade médio observado para o agregado miúdo foi de $2,02\% \pm 1,03\%$. O teor de umidade médio do agregado miúdo indicou o quanto a massa do agregado miúdo (areia) precisou ser corrigida no momento da sua pesagem, assim como possibilitou o ajuste da

quantidade de água de amassamento para a produção dos blocos, após a definição da quantidade de insumos definidos pelo traço utilizado.

4.4 Produção dos blocos intertravados

Após a separação dos materiais que seriam utilizados para a produção dos blocos, foram então seguidas as sucessivas etapas para a produção dos blocos. Para o bloco padrão, os materiais (agregados, água e cimento) foram pesados conforme a quantidade de concreto que foi produzido, de acordo com a tabela de dosagem de concreto, utilizando o traço em massa escolhido para o experimento. Ao todo, foram produzidos 20 blocos de referência (Bloco Padrão / Sem adição de casca de arroz).

Antes de ser pesada a água de amassamento e o agregado miúdo (areia) utilizados na produção dos blocos, foi realizada a correção das quantidades de cada insumo de acordo com o teor de umidade médio presente na areia.

O molde utilizado, Figura 10, possui capacidade para produzir dois blocos, com dimensões nominais de 6x10x20 cm de espessura, largura e comprimento. O intuito da pesquisa é a produção de blocos que suportem o tráfego de veículos leves e pedestres quando assentados, sendo os blocos com 6 cm de espessura os recomendados para esse tipo de solicitação.

Figura 10 - Molde utilizado para a fabricação dos blocos intertravados sob diferentes ângulos de visão.



Fonte: Autoria própria (2023).

O desmoldante é o produto responsável por impedir a aderência entre o concreto e o molde, é um produto químico à base de óleos puros ou emulsões oleosas capaz de criar uma película fina entre os moldes e o concreto, facilitando a desforma. No presente trabalho foi utilizado como desmoldante, uma mistura composta por 90% de óleo diesel (450 mL) e 10% de óleo queimado (50 mL), que auxilia a evitar bolhas, conforme recomendado pelo próprio

fabricante do molde. Foi utilizado um borrifador (500mL), contendo a mistura, junto a um pincel de cerdas gris, visando aplicar uniformemente em cada molde antes de que os mesmos tivessem contato com o concreto.

Como primeira etapa foi aplicado o desmoldante nos moldes, com o auxílio do borrifador contendo a emulsão e o auxílio do pincel, de forma que a aplicação do desmoldante ficasse o mais uniforme possível.

Após serem pesados, os componentes do concreto foram posicionados próximos a betoneira utilizada na fabricação dos blocos. A betoneira utilizada foi da marca MotoMil® MB-150 L. Posteriormente os componentes foram dispostos na seguinte ordem após a betoneira ser acionada: metade do agregado graúdo, seguido de metade da água do amassamento, ambos ficaram durante um minuto em contato na betoneira, isso é feito para “lavar” a betoneira. Ao término desse minuto, foi lançado todo o cimento já pesado na betoneira, seguido do restante da água e toda a areia (agregado miúdo). Por fim, foi lançado o restante do agregado graúdo.

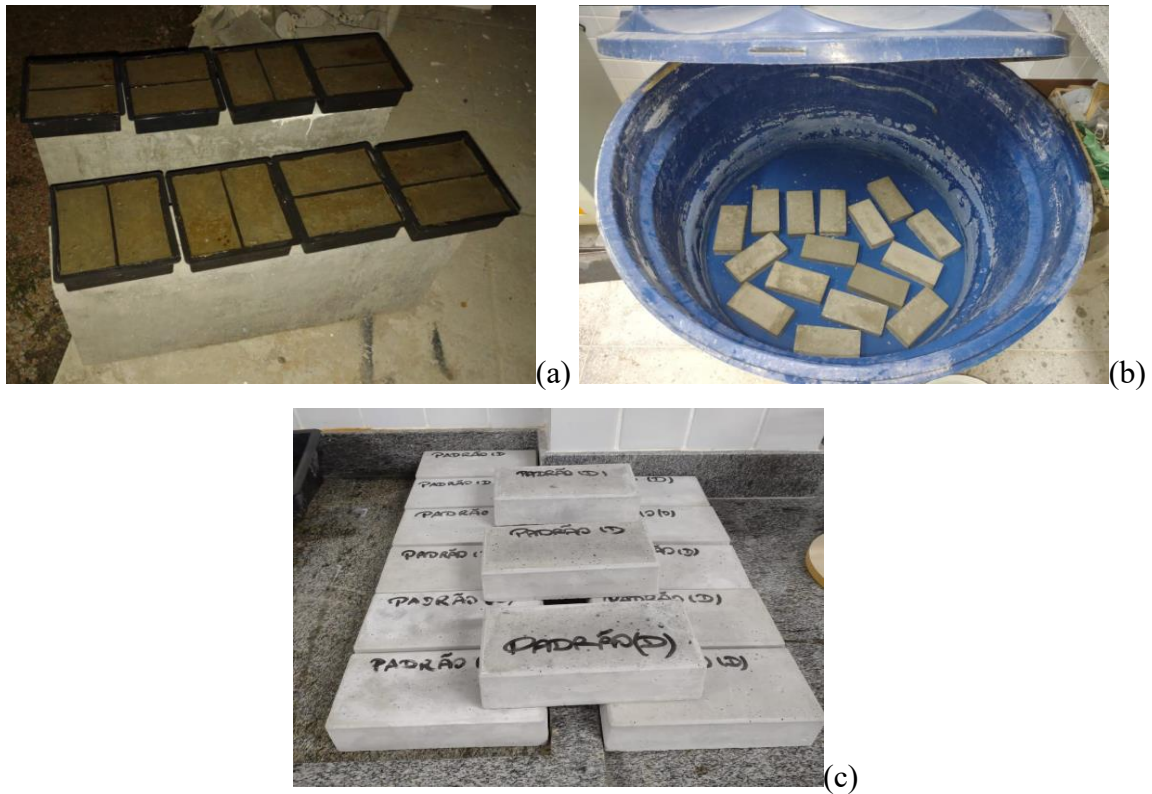
Após todos os materiais terem sido lançados na betoneira, cujo o tempo de mistura já havia sido definido em 5 minutos conforme recomendações da NBR 6118 (ABNT, 2014). Após o término do tempo recomendado, a betoneira foi desligada, e em seguida, com o auxílio de uma colher de pedreiro, o concreto foi despejado nos moldes, o mais rápido possível para evitar a segregação dos materiais.

O processo de vibração, com a finalidade de eliminar as bolhas contidas na mistura do concreto, foi realizado através da utilização de um agitador de peneiras da marca Lucadema®, modelo Luca 04/01. Os moldes com o concreto então foram devidamente posicionados no agitador, foi definida a velocidade de vibração como a mais adequada, e o tempo de vibração para cada molde de 45 segundos.

Após o término do processo de vibração, os moldes com os blocos foram posicionados, ao ar livre, durante 24 h, para realizar o processo de secagem (Figura 11a). Em seguida, os blocos foram retirados do molde e foram submetidos ao processo de cura. Os mesmos foram submersos em água numa caixa de polietileno, sem adição de nenhuma substância, da forma que é fornecida na rede de abastecimento, durante 7 dias, conforme Figura 11b. O processo de cura é necessário para evitar a perda precoce da água na mistura (concreto), necessária para a hidratação do cimento, e que se não for corretamente realizado pode acarretar o surgimento de trincas e fissuras, reduzindo a resistência do bloco e prejudicando a sua qualidade.

Após 7 dias ocorreu a cura dos blocos, que foram identificados e devidamente separados, conforme ilustrado na Figura 11c. Por fim, os mesmos foram submetidos aos ensaios físicos e mecânicos após os 28 dias.

Figura 11 - Produção dos blocos para pisos intertravados: a) blocos no processo de secagem ao ar livre durante 24 h; b) blocos na caixa de água durante o processo de cura; c) blocos identificados após o processo de cura.



Fonte: Autoria própria (2022).

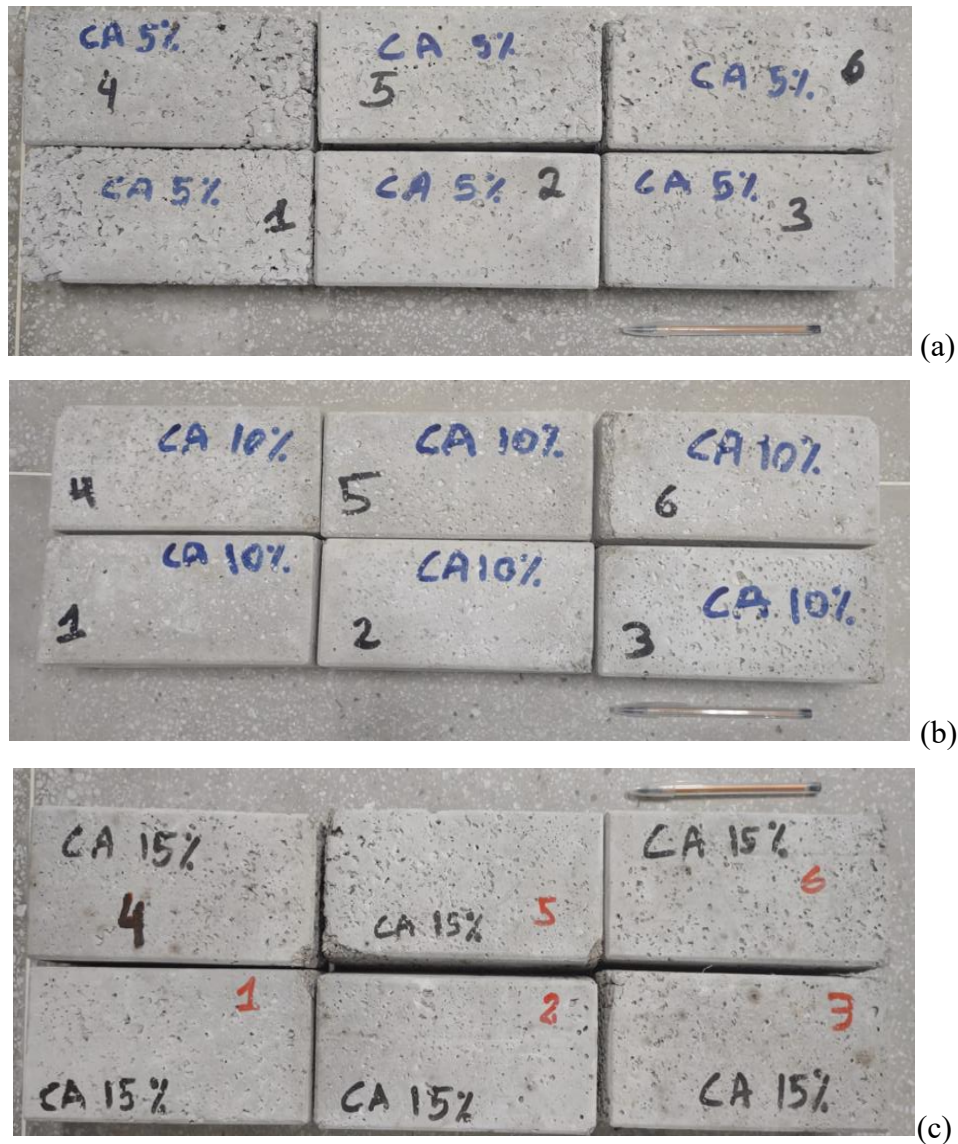
Para os blocos com a incorporação da casca de arroz, os materiais (agregados, água, cimento e casca de arroz *in natura*) foram pesados conforme o volume necessário de concreto a ser produzido, de acordo com a tabela de dosagem de concreto, utilizando o traço em massa escolhido para o trabalho. Ao todo, foram produzidos 14 blocos, para cada tratamento com a incorporação da casca de arroz, nos diferentes percentuais (5%, 10%, 15% e 20%).

Após o cálculo da quantidade de cimento necessária para a produção dos 14 blocos, foram retiradas as seguintes proporções, em massa, do mesmo 5%, 10%, 15% e por fim 20%. Essas proporções, em massa, foram então adicionadas de casca de arroz *in natura*, que já havia sido separada e pesada. Por fim, a casca de arroz foi misturada junto ao cimento, visando a sua adição aos blocos.

Os demais procedimentos de manufatura dos blocos com casca de arroz foram similares ao procedimento de produção do bloco padrão (referência). O processo de vibração para eliminar as bolhas existentes no concreto e a cura dos blocos também ocorreu da mesma forma que na produção do bloco padrão.

Por fim, os blocos com casca de arroz foram identificados com o respectivo percentual de adição em massa de fibra em relação à massa do cimento e devidamente separados, conforme representado na Figura 12.

Figura 12 - Blocos produzidos com a incorporação da casca de arroz nos percentuais, em massa, de 5% (a), 10% (b) e 15% (c).



Fonte: Autoria própria (2022).

Um dos objetivos do estudo era avaliar a produção de blocos para pavimentos intertravados a partir da incorporação da casca de arroz *in natura*. Para a produção dos blocos foi realizada a retirada parcial do cimento utilizado para a fabricação do concreto e foi adicionada a mesma quantidade retirada, em massa, da casca de arroz, na dosagem selecionada. Os percentuais escolhidos, de retirada do cimento e adição da fibra, foram 5%, 10%, 15% e por

fim, 20%, em massa. Com exceção do bloco com 20% de adição de fibra em relação à massa do cimento, todos os outros percentuais puderam ser produzidos e também serem avaliados sob os aspectos das normas. A partir dos 20%, os blocos produzidos se mostraram frágeis e quebradiços, conforme mostrado na Figura 13. Esses blocos não puderam ser utilizados para a realização de nenhum ensaio, e suas propriedades não foram avaliadas.

Figura 13 - Bloco com incorporação de 20% em massa de casca de arroz.



Fonte: Autoria própria (2023).

Como pode ser notado, o bloco em questão não se mostrou viável para nenhum teste físico e não é recomendado para nenhuma utilização prática.

4.5 Critérios avaliados pelas normas

O presente tópico tem por objetivo apresentar quais os principais critérios que as normas definem como requisitos para que os blocos intertravados possam ser comercializados conforme as normas recomendadas pela ABNT. As normas que esse estudo utilizou como referências são as normas NBR 9781 (ABNT, 2013), Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio e a NBR 15953 (ABNT, 2011), Pavimento intertravado com peças de concreto - Execução.

4.5.1 Ensaios estabelecidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013)

A NBR 9781 (ABNT, 2013), define que a amostragem para os ensaios de aceitação devem considerar o lote de fabricação. De cada lote, devem ser retiradas, aleatoriamente, peças inteiras que constituam a amostra representativa, conforme especificado na Tabela 5.

Tabela 5 - Amostragem para ensaio.

Propriedade	Amostra
Inspeção Visual	6*
Avaliação Dimensional	6*
Absorção de água	3
Resistência à compressão	6
Resistência à abrasão	3**

*As peças de concreto podem ser utilizadas também para os ensaios de resistência à compressão ou abrasão;

**Ensaio facultativo.

Fonte: Adaptado da NBR 9781 (ABNT, 2013).

4.5.2 Inspeção visual

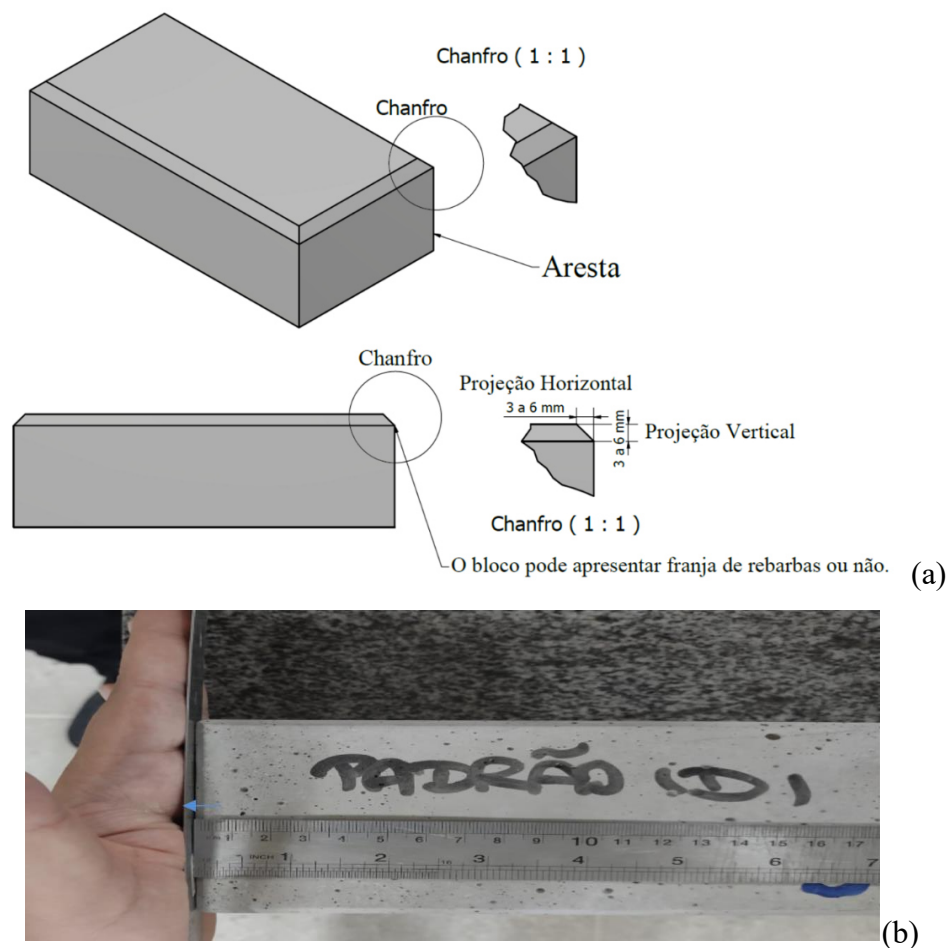
De acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013) as peças intertravadas de concreto constituintes do lote devem ser inspecionadas visualmente, objetivando a identificação de peças com defeitos que possam vir a prejudicar o assentamento, o desempenho estrutural ou a estética do pavimento. As peças de concreto devem apresentar aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos e devem ser livres de rebarbas, defeitos, de laminação e descamação. Pequenas variações de coloração nas peças em virtude do processo de fabricação e da variação das matérias-primas são admitidas.

Na inspeção visual, o lote deve atender os requisitos de: espaçador de juntas, chanfro, arestas e ângulo de inclinação. A critério do comprador, as peças defeituosas podem ser substituídas pelo fornecedor e o lote pode ser aceito, desde que sejam cumpridas as exigências de dimensões e tolerância, resistência característica à compressão, absorção de água e, quando especificada, resistência à abrasão.

Conforme a NBR 15953 (ABNT, 2011), o espaçador de junta é um dispositivo para facilitar a uniformidade da espessura das juntas, o qual pode estar incorporado à peça de concreto no momento de sua fabricação. O rejuntamento deve ser executado com material pétreos granulares e aplicado em juntas de 2 a 5 mm entre as peças intertravadas de concreto. Também é recomendado que o material de rejuntamento esteja seco no momento da aplicação, para facilitar o preenchimento das juntas.

O chanfro é definido pela NBR 9781 (ABNT, 2013), como o perfil inclinado entre a face superior e as paredes laterais da peça de concreto. Nas peças de concreto com chanfro, a especificação do chanfro depende de aspectos construtivos, da capacidade estrutural e do conforto de rolamento. O chanfro pode ser reto ou boleado e deve apresentar, tanto na projeção horizontal como na projeção vertical, no mínimo 3 mm e no máximo 6 mm, conforme Figura 14a. Para a realização das medidas dos chanfros dos blocos, tanto na projeção horizontal como na projeção vertical, foram utilizados um esquadro profissional da marca Max Ferragens® e uma régua metálica da marca Kingtools®, mostrados na Figura 14b.

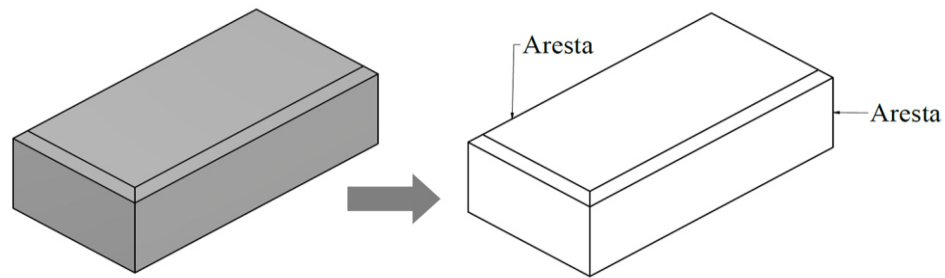
Figura 14 - Imagem do chanfro de uma peça de concreto (a) e fotografia do processo de obtenção da medida do chanfro na projeção horizontal (b).



Fonte: Autoria própria (2023), sendo a imagem “a” baseada na NBR 9781 (ABNT, 2013).

A aresta é definida pela NBR 9781 (ABNT, 2013) como a linha de interseção entre dois planos ou face, que se refere às linhas das faces superior e inferior das paredes laterais da peça de concreto. As peças de concreto devem apresentar arestas regulares nas paredes laterais e nas faces superior e inferior, como apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Exemplo de arestas nas peças intertravadas de concreto.

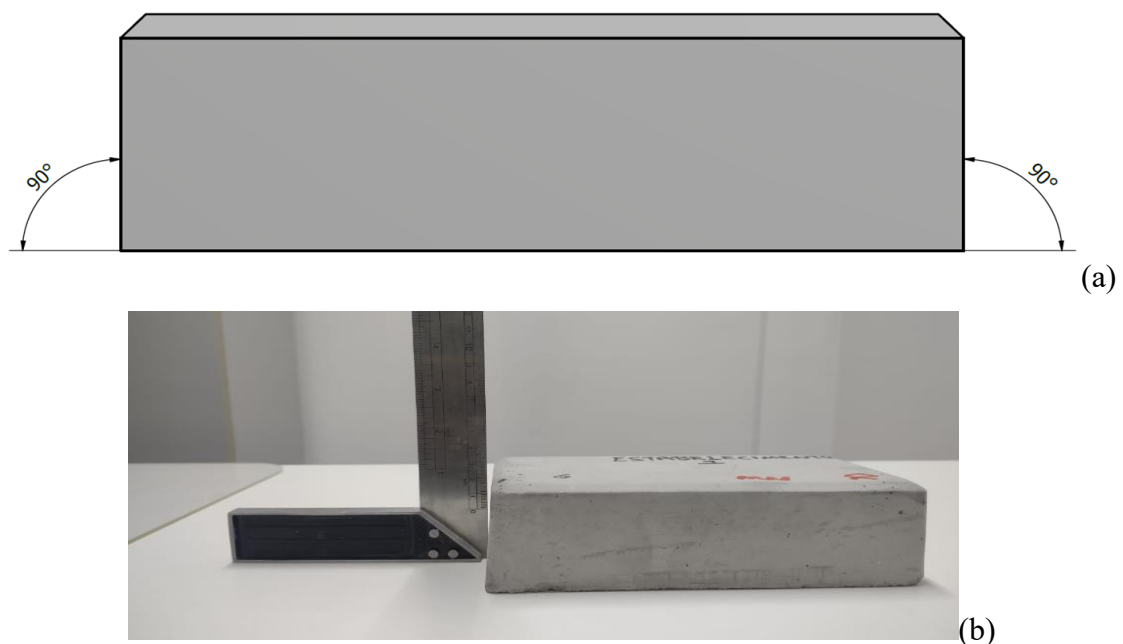


Fonte: Autoria própria (2023).

O aspecto dos blocos para pavimento intertravado é de extrema importância, considerando que o material desenvolvido deve apresentar características visuais semelhantes aos blocos comerciais. O bloco deve apresentar arestas bem definidas, bom acabamento de superfície e não possuir rebarbas (Altoé, 2012).

O ângulo de inclinação, conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013), é definido como o ângulo externo entre a parede lateral e a face inferior da peça de concreto. O ângulo de inclinação das peças de concreto deve ser igual a 90° . O ângulo das peças deve ser avaliado com esquadro metálico, devendo a peça ser apoiada em uma superfície plana, conforme mostram as Figuras 16a e 16b.

Figura 16 - Detalhe do ângulo de inclinação da peça de concreto (a) e verificação da inclinação da amostra (b).



Fonte: Autoria própria (2023).

4.5.3 Dimensões e tolerâncias

A tolerância é definida pela NBR 9781 (ABNT, 2013) como a diferença admissível entre uma medida real e a medida nominal correspondente. As dimensões e tolerâncias das peças de concreto devem atender aos seguintes requisitos:

- a) medida nominal do comprimento de no máximo 250 mm;
- b) medida real da largura de no mínimo 97 mm na área da peça destinada à aplicação de carga no ensaio de resistência à compressão;
- c) medida nominal da espessura de no mínimo 60 mm, especificada em múltiplos de 20 mm;
- d) tolerâncias dimensionais, em mm, conforme especificado na Tabela 6;
- e) o índice de forma (IF), definido como a relação entre o comprimento e a espessura da peça de concreto, para peças de concreto utilizadas em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento deve ser menor ou igual a 4.

Tabela 6 - Tolerâncias dimensionais das peças de concreto.

Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
$\pm 3,0$	$\pm 3,0$	$\pm 3,0$

Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

De acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013) as medidas reais da largura (l), do comprimento (c) e da espessura (e) das peças, devem ser tomadas conforme a tipologia de cada peça, utilizando-se um paquímetro com resolução de 0,1 mm. Para a realização das medidas dimensionais dos blocos produzidos foi utilizado o paquímetro digital 300 mm da marca Marberg® com resolução de 0,01 mm, conforme visto na Figura 17.

Figura 17 - Medição de dimensão da amostra.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.5.4 Absorção de água

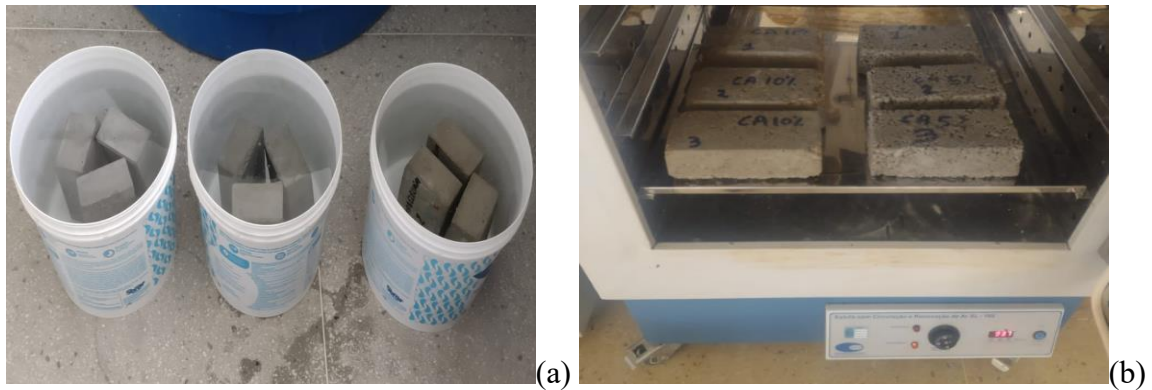
A absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco. A amostra de peça de concreto deve apresentar absorção de água com um valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%.

Além dos 3 corpos de prova e de água potável, são necessários os seguintes equipamentos para a execução do ensaio (transcrito da norma):

- a) estufa ventilada com temperatura de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- b) termômetro com resolução de 1°C ;
- c) tanque de água;
- d) balança com resolução de 0,1 g;
- e) escova com cerdas suaves;
- f) tela metálica com suporte;
- g) pano.

As amostras inicialmente foram limpas com uma escova de cerdas suaves, visando retirar qualquer pó e partícula solta que se encontrava na superfície do corpo de prova. Posteriormente as amostras foram submersas em água à temperatura de $23 \pm 5 ^\circ\text{C}$, com o auxílio de baldes, durante 24 h, conforme Figura 18a. Na condição saturada, seguiu-se com a pesagem individual de cada corpo de prova, no estudo foi utilizada a balança de precisão da marca Marte®, modelo AD5000 classe II, que realizou essas medições com a superfície seca, que é obtida drenando o corpo de prova sobre uma tela metálica por 1 min e removendo a água superficial visível com um pano. Tomou-se nota do valor encontrado. Este procedimento foi repetido a cada 2 h e cessou quando em duas determinações sucessivas não se registrou, para o mesmo corpo de prova, diferença de massa superior a 0,5% entre as leituras, registrou-se então a sua massa saturada, denominada de m_2 .

Figura 18 - Amostras submersas durante 24 h (a) e secagem das amostras em estufa (b).



Fonte: Autoria própria (2022).

Após a conclusão da pesagem da amostra saturada, levou-se os corpos de prova saturados à estufa, com temperatura a $110 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 h, mostrado na Figura 18b. Os blocos foram pesados e anotados, individualmente, o valor da massa na condição seco em estufa. Este procedimento foi repetido a cada 2 h e cessou quando em duas determinações sucessivas não se registrou, para o mesmo corpo de prova, diferença de massa superior a 0,5% entre as leituras, registrou-se então a sua massa seca, denominada de m_1 . A duração da operação de pesagem e anotação do valor, com o corpo de prova fora da temperatura da estufa, não ultrapassou 10 minutos.

De posse do valor da massa saturada e da massa seca foi possível calcular a absorção de cada corpo de prova utilizando a Equação 2, sendo expressa em porcentagem. Os valores encontrados foram utilizados para comparação com os valores de referência definidos pela norma.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que, A é a absorção do corpo de prova, expressa em porcentagem, m_1 é a massa do corpo de prova seco, expresso em gramas (g), e m_2 é a massa do corpo de prova saturado, expresso em gramas (g).

Concomitante com a realização do ensaio de absorção de água, foi realizada a medição das dimensões (espessura, largura e comprimento) dos 3 corpos de prova, para cada tratamento com a introdução da casca de arroz, do bloco padrão (referência) e dos blocos comerciais. Suas respectivas massas foram registradas com a utilização de uma balança de precisão, e posteriormente o volume de cada bloco foi calculado. De posse desses dados, foi possível o

cálculo da densidade média dos blocos utilizados nesses estudo. A densidade não é um parâmetro de verificação obrigatório, conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013), mas com a introdução de uma fibra mais leve, considerando a retirada parcial do cimento do concreto, cabe avaliar a densidade de acordo com a variação de casca de arroz decorrente dos diferentes tratamentos.

4.5.5 Resistência característica à compressão

A resistência característica à compressão deve ser determinada conforme parâmetros definidos pelas normas em vigor e atender as especificações da Tabela 7. A NBR 9781 (ABNT, 2013), em seu primeiro anexo, orienta os aspectos relacionados à determinação da resistência à compressão, tais como a classe a qual deve pertencer a máquina de ensaio de compressão utilizada para o ensaio, a utilização das placas auxiliares de ensaio, condições das peças no momento do ensaio, resultados, determinação da resistência à compressão estimada e por fim a forma como esses resultados devem ser apresentados.

Tabela 7 - Resistência característica à compressão.

Solicitação	f_{pk} (MPa)
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais	$\geq 35,0$
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	$\geq 50,0$

f_{pk} = Resistência característica à compressão aos 28 dias.

Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

Para o ensaio foi utilizada a prensa de compressão da marca EMIC®, modelo PC 200 C, Classe 1 segundo a NM ISO 7500-1, com capacidade máxima de carga de 2MN (Mega Newton), sendo o deslocamento do prato móvel na direção vertical, no sentido de baixo para cima. Já o corpo de prova foi centralizado, de modo que seu eixo coincidiu com o da máquina, fazendo com que a resultante das forças passe pelo centro.

As amostras ficaram submersas em água potável, com o auxílio de baldes, por no mínimo 24 h, como exigido pela norma, no total de 6 amostras para cada tratamento. Posteriormente os mesmos foram retirados da água, dispostos em outra superfície, para que o excesso de água escoasse, e ainda saturados foram colocados individualmente na prensa, entre as duas placas auxiliares, com os eixos vertical centrais (bloco, placas auxiliares e prensa) alinhados.

A prensa foi então configurada para a realização do ensaio, com a velocidade do carregamento sendo realizado de forma contínua, iniciou-se o experimento, conforme mostrado na Figura 19. Registrou-se o valor de carga máxima de cada corpo de prova em kN (Kilo Newton) e em seguida determinou-se a resistência à compressão em MPa (Mega Pascal) individual de cada amostra.

Figura 19 - Amostra posicionada na prensa de compressão.



Fonte: Autoria própria (2023).

Após a obtenção do valor de carga máxima de cada corpo de prova em kN e sua posterior conversão em Newton (N), foi realizada a divisão da carga de ruptura (N) pela área de carregamento (mm^2) e multiplicado o resultado pelo fator p (Tabela 8), expresso em função da altura da peça, obtendo-se a resistência à compressão da peça, f_{pk} , com o resultado sendo expresso em megapascals (MPa). Posteriormente foi calculada a resistência média das peças ensaiadas, (f_p), em MPa, para cada experimento.

Tabela 8 - Fator multiplicador p em função da altura da peça.

Espessura nominal da peça (mm)	p
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

Considerando que as resistências à compressão obedecem à distribuição normal, foi calculado o valor da resistência à compressão estimada ($f_{pk,est}$), expressa em MPa (Equação 3).

$$f_{pk,est} = f_p - t \times s \quad \text{Equação 3}$$

Em que, f_p é a resistência média das peças, expressa em MPa, s é o desvio padrão da amostra, expresso em MPa e t é o coeficiente de Student, fornecido na Tabela 9, em função do tamanho da amostra. Para o presente estudo foi utilizado o valor de t de 0,920, visto que o número amostras avaliadas, n , é igual a 6.

Tabela 9 - Coeficiente t de Student.

N	t	n	t	n	t	n	t
6	0,920	10	0,883	18	0,863	26	0,856
7	0,906	12	0,876	20	0,861	28	0,855
8	0,896	14	0,870	22	0,859	30	0,854
9	0,889	16	0,866	24	0,858	32	0,842

Fonte: Adaptado da NBR 9781 (ABNT, 2013).

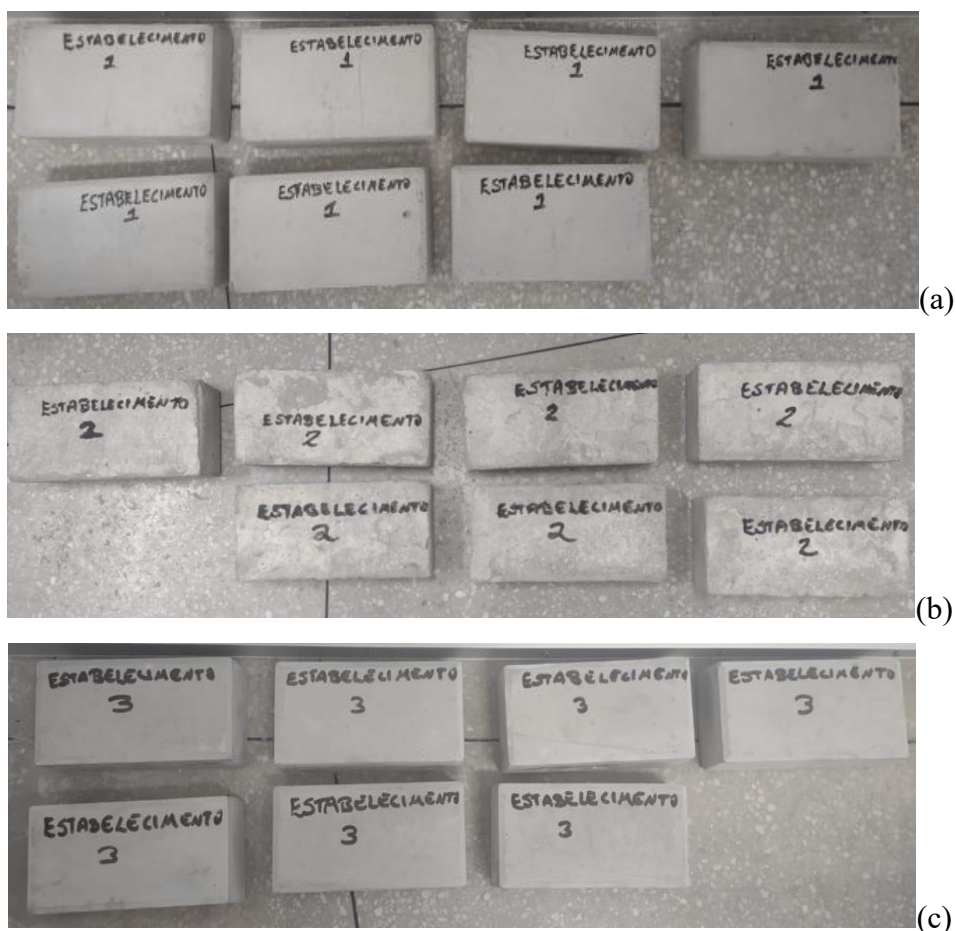
4.6 Blocos comerciais

O presente estudo se concentrou em dois principais pontos. O primeiro ponto era referente a produção de blocos incorporando a casca de arroz *in natura* em diferentes percentuais, a partir da retirada parcial (5%, 10%, 15% e 20%) do cimento do concreto e a adição do percentual retirado em massa da fibra, visto que o cimento é o componente mais caro, proporcionalmente em relação aos componentes do concreto, além de que a produção de concreto utilizando cimento emite até 6-7% de CO₂ e causa o esgotamento dos recursos naturais, resultando em poluição ambiental (Ugochukwu *et al.*, 2021). O segundo ponto foi referente a comparação das propriedades dos blocos produzidos com adição de casca de arroz, com o bloco padrão (referência), e com os requisitos gerais e específicos previsto nas normas. Nesse caso, os blocos produzidos com a introdução da casca também tiveram suas propriedades comparadas com blocos comerciais, considerando que ambos seriam destinados ao mesmo tipo de solicitação.

Foram adquiridos 10 blocos de 3 diferentes marcas, totalizando 30 blocos identificados como blocos do estabelecimento comercial 1 (E1), estabelecimento comercial 2 (E2) e estabelecimento comercial 3 (E3), mostrados na Figura 20. Dois desses estabelecimentos são

localizados na cidade de Morada Nova, no estado do Ceará e o outro é localizado na cidade de Caraúbas, no estado do Rio Grande do Norte.

Figura 20 - Blocos dos diferentes estabelecimentos adquiridos: (a) Estabelecimento 1, (b) Estabelecimento 2 e (c) Estabelecimento 3.



Fonte: Autoria própria (2022).

Deve-se destacar que o presente estudo não tem dados sobre a origem dos insumos utilizados na produção desses blocos comerciais e nem sobre o processo produtivo desses blocos, uma vez que os mesmos são produzidos em série como lotes distintos de matéria prima e processos. Os blocos comerciais foram submetidos aos mesmos ensaios que os blocos produzidos com casca de arroz. De posse dos resultados adquiridos nos testes foi possível verificar se os mesmos estão em conformidade com as normas e possibilitou realizar a comparação com os dados dos blocos produzidos com a casca de arroz em sua composição.

4.7 Análise dos resultados

Os resultados do presente estudo foram avaliados primeiramente a partir da comparação dos resultados obtidos para os diferentes parâmetros qualitativos avaliados e a adequabilidade dos blocos frente as exigências estabelecidas pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

Adicionalmente, para os parâmetros índice de forma (IF), absorção de água (AA), resistência característica à compressão (f_{pk} e $f_{pk,est}$) foi realizada análise de variância para os diferentes tratamentos avaliados (blocos com adição de diferentes percentuais de adição de casca), com posterior comparação pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Uma análise multivariada (considerando os mesmos parâmetros qualitativos) foi realizada para verificar o nível de dissimilaridade entre os diferentes tratamentos avaliados. O procedimento adotado foi a utilização de dendrogramas, em que foi observada a distância Euclidiana entre os tratamento pelo método de Ward. Nesta comparação, foi adotado o percentual de 20% dissimilaridade.

Adicionalmente, foi realizada uma análise multivariada de componentes principais, que possibilita a explicação do máximo de intercorrelação entre os parâmetros qualitativos avaliados, de modo que fossem identificados quais destes contribuíram de forma mais significativa no desempenho dos blocos para pavimentos intertravados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dimensões e tolerâncias

Na Tabela 6 encontram-se as dimensões efetivas e a avaliação das amostras dos estabelecimentos comerciais estudados (E1, E2 e E3) e dos blocos produzidos (padrão e com as diferentes concentrações da casca de arroz).

De acordo com os dados obtidos (Tabela 10), os índices de forma dos blocos avaliados, tanto comerciais quanto produzidos com casca de arroz em sua composição, encontram-se dentro do limite normatizado (até 4,0).

Tabela 10 - Parâmetros dimensionais e índice de forma de blocos para pavimento intertravado de estabelecimentos comerciais e blocos produzidos em escala experimental com diferentes concentrações de casca de arroz.

Casca de arroz (%)	Origem	Comprimento	Largura	Espessura	Índice de forma (IF)
		----- (mm) -----			
0	Estabelecimento 1	198,20 ± 0,53	99,03 ± 0,41	59,87 ± 1,38	3,31 ± 0,08 b
0	Estabelecimento 2	199,75 ± 0,51	98,75 ± 0,32	56,82 ± 2,39	3,52 ± 0,15 a
0	Estabelecimento 3	197,14 ± 0,27	97,84 ± 0,26	59,75 ± 0,99	3,30 ± 0,06 b
0	Experimental	199,13 ± 0,33	98,32 ± 0,19	56,92 ± 0,90	3,50 ± 0,06 a
5	Experimental	198,74 ± 0,37	98,76 ± 0,45	61,23 ± 1,20	3,25 ± 0,06 b
10	Experimental	198,62 ± 0,37	98,53 ± 0,23	61,18 ± 2,29	3,25 ± 0,12 b
15	Experimental	198,50 ± 0,34	97,97 ± 0,36	61,17 ± 2,04	3,25 ± 0,10 b
	NBR 9781	200,00 ± 3,00	100,00 ± 3,00	60,00 ± 3,00	IF ≤ 4,00

Para o índice de forma (IF), valores seguidos por uma mesma letra na vertical, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$).

Fonte: Autoria própria (2023).

Quando analisado o critério da tolerância da norma, que indica a tolerância das dimensões medidas, conforme estabelecido na norma NBR 9781 (ABNT, 2013), que permite valores maiores ou menores, em até 3 mm, os blocos do experimento padrão e os blocos dos E2 e E3 apresentaram blocos de forma individual, que não respeitavam a margem de tolerância, desta forma, foram considerados reprovados, conforme esse critério, indicando uma irregularidade no processo produtivo destes blocos.

Não é incomum que na produção dos blocos para pavimento intertravado existam empresas que não façam controle rigoroso sobre o seu processo produtivo, o que irá ocasionar a produção de blocos não padronizados. Copat (2016), ao realizar a análise da qualidade de

peças para pavimentação no município de Bento Gonçalves, no Rio Grande do Sul, relatou que parte das empresas estudadas apresentaram falta de base teórica na fabricação das peças, o que refletiu diretamente na qualidade final das peças. Seja o controle dos tipos de agregados utilizados, a realização da cura dos blocos ou a falta de inspeção em determinadas etapas do processo produtivo, o resultado final são blocos que não atendem as especificações que constam nas normas.

5.2 Inspeção visual

Os blocos com a introdução da casca de arroz em sua composição mostraram algumas características negativas, como a presença de espaços vazios e acabamento inferior em comparação aos blocos sem a presença desse resíduo. Vale ressaltar que esses espaços vazios são concentradores de tensão, ou seja, amplifica-se a tensão aplicada no material reduzindo a sua resistência mecânica (Callister, 2012). Os demais aspectos visuais dos blocos estudados também foram avaliados: espaçador de juntas, chanfro, arestas e ângulo de inclinação.

5.2.1 Espaçador de juntas

Não foi encontrado espaçador de juntas incorporado nos corpos-de-prova dos estabelecimentos comerciais estudados (E1, E2 e E3). Os moldes utilizados para a produção dos blocos, tanto os blocos do experimento padrão, como os com casca de arroz em sua composição não contavam com nenhum modelo que incorporasse o espaçador de juntas, o que implicou que na produção dos blocos não foi incorporado o espaçador.

Porém deve ser destacado que diversas empresas não se adequam a esse aspecto, preferindo blocos com toda parte lateral lisa e sem a presença de espaçador, até mesmo como um atrativo comercial, especialmente blocos fabricados a partir do processo dormido (Leal, 2018).

5.2.2 Chanfro

Todas as amostras ficaram dentro do intervalo entre 3 e 6 mm (normatizado) e nenhuma amostra apresentou a presença de franja (facultativo) (Tabela 11). Portanto, todas as amostras, tanto dos blocos comerciais quanto os produzidos com casca de arroz, que foram avaliados, estão em conformidade com a NBR 9781 (ABNT, 2013). Nesse aspecto não ocorreu variações no processo produtivo que impactassem nas medidas dos chanfros, e a franja é um aspecto opcional que cabe às empresas ou ao processo produtivo seguido pelo experimento optar pela inclusão da mesma.

Tabela 11 - Valores médios para os chanfros vertical e horizontal das diferentes amostras de blocos para pavimento intertravado avaliadas.

Casca de arroz (%)	Origem	Chanfro Vertical (mm)	Chanfro Horizontal (mm)	Franja
0	Estabelecimento 1	$4,0 \pm 0,0$	$5,0 \pm 0,0$	Não
0	Estabelecimento 2	$3,5 \pm 0,0$	$4,0 \pm 0,0$	Não
0	Estabelecimento 3	$3,0 \pm 0,0$	$5,5 \pm 0,0$	Não
0	Experimental	$3,0 \pm 0,0$	$3,0 \pm 0,0$	Não
5	Experimental	$3,0 \pm 0,0$	$3,0 \pm 0,0$	Não
10	Experimental	$3,0 \pm 0,0$	$3,0 \pm 0,0$	Não
15	Experimental	$3,0 \pm 0,0$	$3,0 \pm 0,0$	Não
NBR 9781		$3,0 \leq x \leq 6,0$	$3,0 \leq x \leq 6,0$	Não

Fonte: Autoria própria (2023).

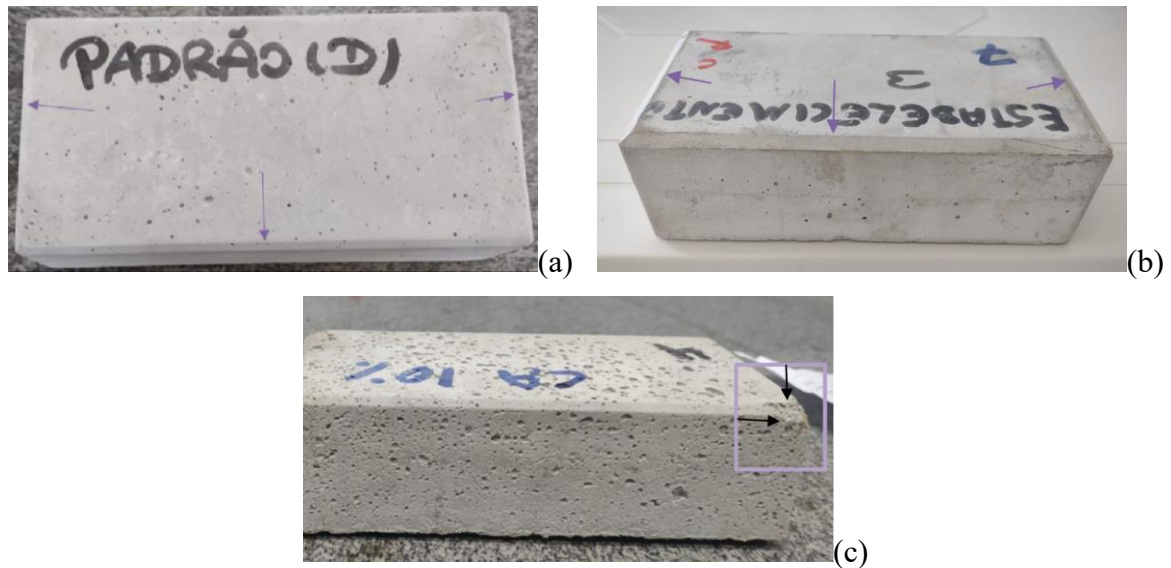
5.2.3 Arestas

Em todos os corpos de prova das amostras comerciais estudadas (E1, E2 e E3) verificou-se a existência de arestas uniformes e em geral conservadas. As amostras dos blocos do experimento padrão também apresentaram arestas uniformes e bem conservadas. As arestas do bloco padrão e de um bloco comercial são indicadas na Figura 21a e 21b. Em várias amostras produzidas com a incorporação da casca de arroz *in natura* apresentaram pequenas falhas, especialmente no encontro entre as arestas, no canto, como mostrado na Figura 21c. Notou-se uma concentração maior da casca de arroz nesses locais, o que pode ser uma indicação de que as mesmas tendem a se concentrar nas quinas, ocasionando uma maior fragilidade das amostras nesses locais. As amostras que apresentam falha nas arestas ou baixa conservação das mesmas não estão em conformidade com as normas em vigor.

Altoé (2012), ao produzir blocos para pavimento intertravado, sujeitos à solicitações leves, por meio da substituição do agregado miúdo por cinza do bagaço da cana-de-açúcar e do resíduo de pneus inservíveis, tanto separadamente em diferentes proporções, como juntos realizando essa substituição, verificou que para alguns traços foi constatado material segregado na superfície e na aresta desses blocos, além de vazios na lateral. Um dos traços dos blocos produzidos chegou a apresentar partes endurecidas da nata excedente, na lateral do bloco, chegando a afetar a qualidade das arestas. Este problema é ocasionado pelo excesso de pasta quando foi realizada a moldagem do bloco. Esse resultado indica que a introdução de resíduos na composição do concreto deve ser seguida por um maior controle do processo produtivo, especialmente do traço utilizado, como foi constatado nos blocos do presente estudo a partir da

análise das arestas, onde ocorreu a concentração de casca de arroz e sua consequente fragilização nesse local.

Figura 21 - Arestas de um bloco padrão (a), de um bloco comercial (b) e aresta com falha na quina na amostra produzida com casca de arroz (c).



Fonte: Autoria própria (2022).

Scheffer *et al.* (2018), avaliou a influência da adição da fibra de coco verde em blocos para pavimento intertravado. Foram produzidos 3 traços, um de referência e outros dois com adição de 0,3% e 0,5%, respectivamente, de fibras em volume, que tiveram suas propriedades avaliadas conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013).

Tanto os blocos que apresentavam fração volumétrica de 0,3% quanto os de 0,5%, da fibra de coco verde, exibiam irregularidades nas superfícies superiores e laterais, gerando arestas irregulares e com acabamento inferior quando comparado aos blocos sem a presença dessa fibra. Os autores constataram que dada a adição dessas fibras em estado não saturado de umidade, estas tendem a absorver água de mistura, tornando a massa menos fluida e dificultando o procedimento de compactação quando comparado ao realizado com os blocos de referência (sem fibra), o que acabou influenciando o aparecimento dessas irregularidades nos blocos. Tal resultado também foi visualizado pelos blocos produzidos com a casca de arroz *in natura* em sua composição nesse estudo, que não contaram com nenhum tratamento prévio dessa fibra, resultando em blocos com acabamento inferior ao bloco padrão (referência).

5.2.4 Ângulo de inclinação

De posse dos dados medidos, verificou-se conforme a Tabela 12 os valores referentes ao ângulo de inclinação, utilizando 6 blocos como amostragem. Todos os corpos de prova das amostras dos E1 e E3 estão em desacordo com o ângulo especificado em norma (90°), já todas as amostras do E2 apresentam ângulo de 90°.

Tabela 12 - Número de blocos com inclinação igual e diferente de 90° para as diferentes amostras de blocos para pavimento intertravado avaliadas.

Casca de arroz (%)	Origem	Inclinação igual a 90°	Inclinação diferente de 90°
0	Estabelecimento 1	0	6
0	Estabelecimento 2	6	0
0	Estabelecimento 3	0	6
0	Experimental	4	2
5	Experimental	3	3
10	Experimental	4	2
15	Experimental	4	2
	NBR 9781	6	0

Fonte: Autoria própria (2023).

Em relação aos blocos produzidos pelo estudo, blocos padrão, e os blocos com incorporação de casca de arroz a 5%, 10%, e 15%, os resultados foram mistos. O bloco padrão apresentou 4 amostras de acordo com a norma, o bloco 5% apresentou 3 amostras de acordo com a norma, o bloco 10% apresentou 4 amostras de acordo com a norma e por fim, o bloco 15% apresentou 4 blocos de acordo com a norma. Essa variação pode ser explicada por dois motivos principais, ou os moldes utilizados na fabricação dos blocos não foram devidamente ajustados pelo fabricante com esse ajuste de inclinação, desobedecendo o disposto na norma, ou pode ter ocorrido alguma falha em alguma etapa do processo produtivo dos blocos.

5.3 Absorção de água

De acordo com os dados, foram verificados que dentre as amostras comerciais, apenas uma amostra ficou acima do limite máximo normatizado (7%), sendo uma amostra do E3. As amostras do bloco padrão também apresentaram bons resultados, sendo todas as amostras aceitas. Já em relação as amostras que tiveram adição de casca de arroz na sua composição, em todos os percentuais, podemos verificar que ocorreu a rejeição em todas as amostras, analisadas individualmente.

Tabela 13 - Valores individuais de absorção de água.

Casca de arroz (%)	Origem	Absorção de água (%)	Adequabilidade*	
			Média	Individual
0	Estabelecimento 1	6,12 ± 0,81 d	Não	Não
0	Estabelecimento 2	5,76 ± 0,54 ed	Sim	Sim
0	Estabelecimento 3	6,02 ± 0,42 d	Não	Sim
0	Experimental	4,69 ± 0,06 e	Sim	Sim
5	Experimental	7,53 ± 0,21 c	Não	Não
10	Experimental	10,65 ± 0,28 b	Não	Não
15	Experimental	12,97 ± 0,30 a	Não	Não
NBR 9781			$x \leq 7,00$	$x \leq 6,00$

Para a absorção de água (AA), valores seguidos por uma mesma letra na vertical, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$).

*Média inferior 6,0%, e amostras individualmente não superior a 7,0%, conforme exigências da NBR 9781 (ABNT, 2013).

Fonte: Autoria própria (2023).

De acordo com a Tabela 13, dos blocos comerciais, apenas o E2 cumpriu os requisitos da absorção média de água conforme a norma NBR 9781 (ABNT, 2013). Dos blocos produzidos pelo estudo, o bloco padrão foi o único que cumpriu os requisitos. Os blocos com a adição da casca de arroz foram rejeitados em todos os percentuais.

Ao passo com que se aumentou o teor de fibras na composição do bloco, mais água foi sendo retida nos blocos, o que indicou que essa casca absorveu parte da água no momento que o bloco foi submerso no ensaio de absorção de água. Segundo esses resultados, os blocos com a adição da casca de arroz não poderiam ser assentados em nenhuma área externa, que teria exposição a umidade ou chuva, correndo o risco de grave desgaste e possível falha no bloco em tempo inferior aos blocos produzidos somente com os insumos tradicionais, o que implicou diretamente em sua qualidade.

Lazzarim Junior (2020), ao analisar a substituição parcial do agregado miúdo por casca de arroz *in natura*, nas proporções de 5% e 10%, no concreto, visando avaliar suas propriedades mecânicas, verificou o incremento na resistência à compressão de 7,6%, para a substituição de 5%, e 0,98% para a substituição de 10%. Porém, a introdução do resíduo provocou um acréscimo na absorção de água de 6%, para a substituição de 5%, e 7,28%, para a substituição de 10%, resultado semelhante encontrado no presente estudo no que se refere à absorção de água dos blocos com a casca em sua composição.

O estudo concluiu que a casca de arroz se mostrou fora dos limites aceitáveis, considerando a sua granulometria, para sua utilização como agregado miúdo no concreto, especialmente devido ao seu formato prismático e por possuir uma dimensão predominante sobre as demais.

5.4 Resistência característica à compressão

De acordo com a Tabela 14 constatou-se que todos os valores individuais de resistência característica à compressão das amostras estudadas (E1, E2, E3, Padrão, 5%, 10% e 15%) ficaram abaixo do valor mínimo esperado aos 28 dias (35 MPa), conforme estabelece a NBR 9781 (ABNT, 2013).

Tabela 14 - Valores da resistência característica à compressão das amostras ensaiadas.

Casca de arroz (%)	Origem	f_{pk} (MPa)	$f_{pk, est}$ (MPa)
0	Estabelecimento 1	$2,77 \pm 2,10$ b	$0,84 \pm 0,17$ b
0	Estabelecimento 2	$8,74 \pm 2,81$ a	$6,15 \pm 0,23$ a
0	Estabelecimento 3	$10,77 \pm 1,70$ a	$9,21 \pm 0,14$ a
0	Experimental	$10,60 \pm 3,04$ a	$7,80 \pm 0,24$ a
5	Experimental	$8,52 \pm 0,65$ a	$7,92 \pm 0,05$ a
10	Experimental	$2,23 \pm 0,52$ b	$1,75 \pm 0,04$ b
15	Experimental	$3,00 \pm 0,83$ b	$2,23 \pm 0,07$ b
NBR 9781		$x \geq 35,00$	

* Para os valores de resistência característica à compressão (f_{pk}) e resistência característica à compressão estimada ($f_{pk, est}$), valores seguidos por uma mesma letra na vertical, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$). f_{pk} = valor característico de resistência à compressão; $f_{pk, est}$ = valor característico de resistência à compressão estimada.

Fonte: Autoria própria (2023).

Destaca-se que o padrão de rompimento das amostras padrão, dos blocos comerciais e dos blocos produzidos com casca de arroz foram semelhantes. Tal resultado se mostrou diferente quando comparado ao estudo de Scheffer *et al.* (2018), que verificou que o padrão de ruptura dos blocos com fibra de coco foi diferente dos blocos de referência (sem esse resíduo). Enquanto os de blocos referência apresentaram destacamento de partes na ruptura, as peças com fibra de coco mantinham-se unidas, embora fissuradas. Esse comportamento era esperado, pois segundo os autores, as fibras aumentam a ductilidade do concreto, mantendo as faces das fissuras unidas e pode ser explicado devido as diferentes geometrias existentes entre a fibra de coco e a casca de arroz.

Souza (2011), ao estudar a durabilidade de blocos de solo-cimento com incorporação de casca de arroz verificou que o aumento do teor de casca de arroz nesses blocos implicou a elevação do valor de absorção de água, diminuiu a resistência à compressão simples, aumentou a perda de massa e a variação de volume, devido o grande volume de vazios apresentados pela casca de arroz, e por fim, verificou-se que faltava interação entre o sistema solo-cimento e a casca de arroz. O mesmo foi verificado durante os ensaios de resistência à compressão simples, após a análise dos corpos de prova que possuíam casca de arroz na sua composição, apresentavam um tipo de fissura que poderia denotar um material apresentando defeitos internos, provavelmente decorrentes da incompatibilidade química entre a casca de arroz e o cimento.

Esse resultado pode ser correlacionado com esse presente estudo, ao analisar os resultados da resistência à compressão dos blocos com casca de arroz na sua composição. Ao retirar parcialmente o cimento e adicionar um resíduo que não apresenta compatibilidade com o cimento, influenciou nos baixos valores encontrados, além de produzir um bloco com mais pontos frágeis.

Amantino *et al.* (2021), avaliou o comportamento de concretos com baixo teor de casca de arroz como bioagregado. Os autores realizaram a produção de um bioconcreto através da substituição parcial (em volume) de 1% de agregado miúdo por casca de arroz *in natura* além da substituição, em massa, de 8% do cimento (CP-V ARI) por CCA, e realizaram a comparação com um concreto de referência, que não continha casca de arroz na sua composição, apenas a CCA. Os pesquisadores concluíram que a incorporação da 1% de casca em substituição ao agregado miúdo conferiu resistência à compressão 5% inferior ao referencial, e resistência à tração 15% inferior, ambos na idade final analisada (180 dias).

Os pesquisadores também realizaram a produção de um bioconcreto com 1% de casca tratada, em substituição ao agregado miúdo, além da substituição, em massa, de 8% do cimento (CP-V ARI) por CCA. A casca foi tratada com hidróxido de cálcio com base em pesquisas anteriores que indicaram alterações na morfologia da casca de arroz com tratamento contendo Ca(OH)_2 . O tratamento superficial não resultou em benefícios para a resistência à compressão, não havendo diferenças significativas ao longo do tempo (até 180 dias). Entre 28 e 90 dias o bioconcreto com a casca de arroz tratada apresentou resistência à tração superior ao sem tratamento, já aos 180 dias, os valores foram semelhantes. Os autores indicaram que mais estudos são necessários para o completo entendimento dos mecanismos envolvidos nessa propriedade.

É necessário melhorar o entendimento a respeito da zona de transição entre a matriz cimentícia e os bioagregados, visto que pode ocorrer alguma fragilização nessa zona. A densidade e a porosidade dos bioagregados influenciam na rigidez do concreto devido à sua estrutura tubular e porosa. Estudos utilizando bioagregados oriundos de bambu e casca de arroz corroboram com a redução de rigidez do bioconcreto (Amantino *et al.*, 2021).

Scheffer *et al.* (2018), ao analisar os resultados de resistência à compressão, conforme a NBR 9781 (2013), verificaram que a adição de fibras de coco verde em blocos de concreto para pavimento intertravado diminuiu a resistência característica à compressão em relação à referência (sem fibras), representando um decréscimo em relação à referência de 25%, para a adição de 0,3%, e 14%, para a adição de 0,5%.

Nos outros ensaios os resultados ficaram dentro do estabelecido pela norma, o que possibilitou aos autores do estudo a recomendação, em relação aos blocos com fibra de coco, de sua utilização em locais de poucas solicitações de esforços, como passagem exclusiva de pedestres. Nesse caso, cabe destacar que diferentemente dos blocos produzidos pelo presente estudo, a resistência característica à compressão dos blocos com fibras de coco verde, atingiram valores muito próximos ao exigido pela norma.

A introdução da casca de arroz nos blocos intertravados provocou a redução na resistência à compressão, em relação ao bloco padrão (referência), assim como relatado em outros estudos, o que incentiva o estudo de novos tratamentos, físicos e químicos, aplicados à casca de arroz, com a finalidade de aprofundar o entendimento da introdução dessa fibra, em função das suas características, em compósitos. Além disso, novos estudos devem verificar a melhor forma de introduzir essa fibra no compósito cimentício.

5.5 Densidade dos blocos intertravados

A densidade média dos blocos intertravados não é um critério previsto pela NBR 9781 (ABNT, 2013), porém como ocorreu a retirada parcial do material normalmente empregado para a fabricação do concreto, o cimento, e ocorreu a introdução de um material que apresenta baixa densidade, a casca de arroz, cabe ser avaliada. A densidade média dos blocos produzidos e dos blocos comerciais foram calculados e apresentadas na Tabela 15. Como esperado, em relação aos blocos com casca de arroz, com o aumento do percentual da casca de arroz no bloco, ocorreu uma diminuição na densidade dos blocos.

Tabela 15 - Densidade média dos blocos estudados.

Casca de arroz (%)	Origem	Densidade média (kg/m ³)
0	Estabelecimento 1	2.081 ± 50 a
0	Estabelecimento 2	1.915 ± 37 b
0	Estabelecimento 3	2.804 ± 09 a
0	Experimental	2.041 ± 51 a
5	Experimental	1.804 ± 38 c
10	Experimental	1.643 ± 10 d
15	Experimental	1.493 ± 45 e

Para a massa específica (ME), valores seguidos por uma mesma letra na vertical, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$).

Fonte: Autoria própria (2023).

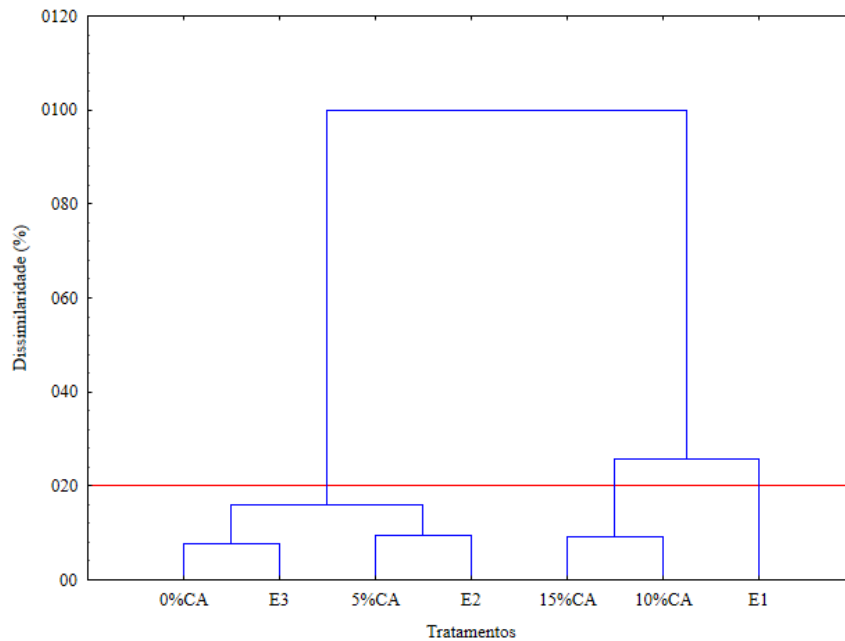
Verificou-se que com o aumento do percentual da casca de arroz na mistura com o concreto, ocorreu um decréscimo da massa do bloco. Tomando como referência a massa média dos blocos do experimento padrão, que não possui casca de arroz em sua composição, e os blocos produzidos com casca de arroz, nota-se uma diminuição da massa média dos blocos de 11,62%, em relação aos blocos com adição de 5%, uma redução da massa média de 19,51%, em relação aos blocos com adição 10% e uma redução da massa média de 26,86% em relação aos blocos com adição de 15%.

Conforme cita Amantino *et al.* (2021), a utilização da casca de arroz como material bioagregado é recente e estudos descrevem que a incorporação da casca de arroz em concretos resulta em materiais isolantes e leves, embora exista redução do desempenho mecânico para elevados teores. Tal fato foi comprovado pelo estudo ao avaliar a variação da densidade conforme ocorre o aumento do teor de fibras no concreto.

5.6 Análise multivariada

Para comparação dos diferentes tratamentos avaliados, incluindo as peças obtidas nos estabelecimentos comerciais, foi realizada uma análise multivariada, onde os dados foram avaliados o desempenho das principais propriedades avaliadas para os blocos (índice de forma, absorção de água, resistência a compressão em valores característicos (f_{pk}), estimativa resistência a compressão em valores característicos ($f_{pk,est}$) e massa específica média (Figura 22). Os resultados obtidos indicaram que a adição de até 5% de casca de arroz nos blocos não influenciou as suas propriedades de forma significativa, em comparação aos blocos adquiridos nos estabelecimentos comerciais dois e três (E2 e E3).

Figura 22 - Análise de dissimilaridade realizada para os diferentes.



E1, E2 e E3 = estabelecimentos comerciais 1, 2 e 3; 0%CA, 5%CA, 10%CA e 15%CA = blocos com adição de percentuais de casca em 0%, 5%, 10% e 15%).

Fonte: Autoria própria (2023).

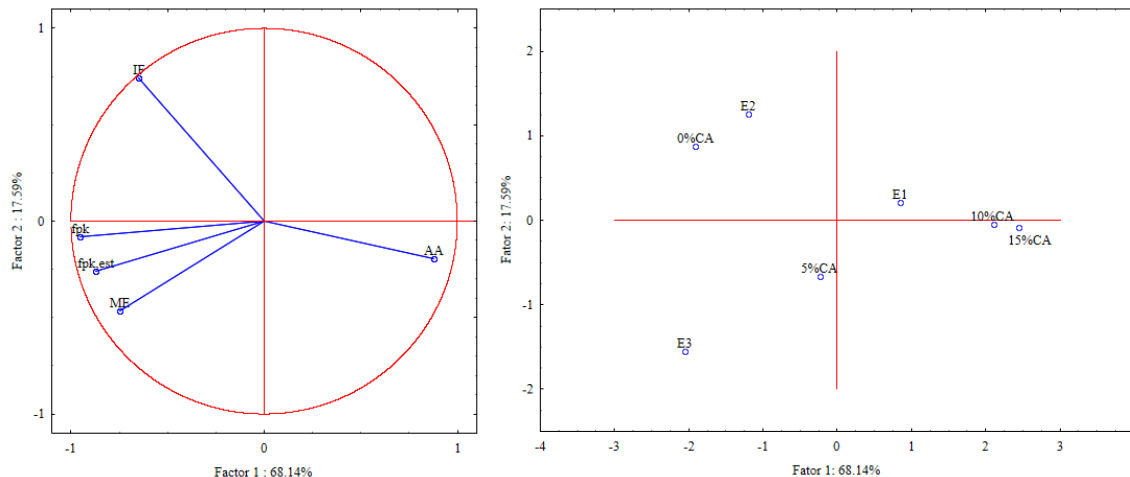
Um segundo grupo foi formado com blocos onde foram adicionados percentuais de casca de 10% e 15%, onde a adição de casca nestes percentuais proporcionaram uma redução significativa na qualidade dos blocos para pavimento intertravado. Entretanto, cabe ressaltar que estes blocos ainda apresentaram desempenho superior a um dos estabelecimentos comerciais avaliados (E1).

Na análise de componentes principais foi possível observar a formação de duas componentes principais com autovalores ≥ 1 pelo critério de Kaiser, as quais juntas representam aproximadamente 86% da variância das variáveis (Figura 23). As variáveis mais próximas do círculo de correlações são as mais importantes e significativas do estudo, é o caso do índice de forma (IF), pertencente a componente 2 e dos valores característicos de resistência à compressão (f_{pk} , $f_{pk,est}$), pertencentes a componente 1.

Os tratamento com adição de 10 % e 15 % de casca de arroz (CA) proporcionaram aumento de absorção de água (AA), tendo 15 % CA contribuído mais significativamente com o aumento, em contra partida proporcionam diminuição da resistência a compressão (f_{pk} , $f_{pk,est}$) e da massa específica (ME), haja visto que essas variáveis estão na mesma direção que os tratamentos, mas apresentam sentidos opostos. O tratamento que obteve maior influência no aumento do índice de forma (IF) foi os que utilizaram blocos comerciais (estabelecimento 2), ambos apresentam mesma direção e sentido e pertencem a componente 2. Houve aumento da

massa específica (ME) dos blocos comerciais obtidos no estabelecimento 3.

Figura 23 - Análise de componentes principais, representando os *Escores* dos parâmetros avaliados para os difentes tratamentos avaliados – blocos com adição de diferentes percentuais de casca de arroz e blocos obtidos em estabelecimentos comerciais.



Fonte: Autoria própria (2023).

5.7 Considerações sobre a utilização de casca de arroz na produção dos blocos para pavimentação intertravada

A trabalhabilidade é a propriedade que determina o esforço necessário para manipular uma quantidade de concreto fresco com uma perda mínima de homogeneidade. É importante ressaltar que ocorreu a mudança na trabalhabilidade do concreto com incorporação da casca de arroz, quando comparada com a trabalhabilidade do concreto sem a incorporação da casca.

A trabalhabilidade do concreto com a introdução da casca de arroz foi reduzida, sendo necessário um maior esforço para a sua manipulação. A introdução desse resíduo provocou uma maior dificuldade no processo de eliminação das bolhas, resultando em um maior índice de vazios, o que impactou diretamente no aspecto visual do bloco, como visto na Figura 24.

Lima (2021) ao estudar a introdução do resíduo proveniente do manuseio do café pilado no concreto, substituindo 10% do volume do cimento pelo resíduo, e utilizando amostras sem resíduo como referência, constatou que a introdução provocou o mesmo efeito que a introdução da casca de arroz, redução da trabalhabilidade e baixa resistência à compressão.

Figura 24 - Irregularidades nos blocos com casca de arroz.



Fonte: Autoria própria (2022).

Algumas outras questões também devem ser destacadas, como a utilização do Diagrama de Dosagem de Concreto para a realização do estudo e do impacto da absorção de água pela casca de arroz na composição do traço. O traço utilizado para a fabricação do concreto, que foi utilizado para a produção dos blocos, é um traço voltado para os insumos normalmente empregados na construção civil. Logo, a introdução de um resíduo, especialmente uma fibra, irá impactar nas quantidades de cada insumo que normalmente é empregada, de tal forma que deve-se prever em futuros estudos o impacto que o resíduo, independente do tipo de resíduo escolhido, possa vir a apresentar no traço e de que forma ele deverá ocorrer o ajuste dos insumos do concreto. No presente estudo foi verificado que parte da água de amassamento, que deveria ser utilizada para promover o contato íntimo entre os insumos e provocar as reações de hidratação do cimento com os demais componentes, foi absorvida pela própria casca de arroz, que reteve uma parte dessa umidade, o que veio a influenciar o acabamento final do bloco.

Estudos sugerem que a matéria extrativa presente nos bioagregados pode conter constituintes solúveis que, ao serem incorporados na água de amassamento, solubilizam açúcares e outros inibidores que afetam a pega e a cinética de hidratação do cimento. O que também auxilia a entender a concentração da casca de arroz presente na aresta dos blocos, visto

que nesses locais o bloco se mostrou mais frágil, como resultado da introdução da fibra afetando a hidratação do cimento (Amantino *et al.*, 2021).

Para futuros estudos, considerando a literatura existente sobre o tema, é recomendado o tratamento químico da casca de arroz, visando uma melhor interação na interface agregados-matriz no compósito cimentício, e caso utilize essa casca de arroz como um dos substitutos do cimento ou agregado miúdo, seja realizado o tratamento físico da casca de arroz, visando a redução da sua granulometria, com o consequente aumento da sua superfície de contato.

5. CONCLUSÕES

Os blocos com a incorporação de 5%, 10% e 15% de casca de arroz *in natura* ao concreto, foram produzidos e tiveram as suas propriedades avaliadas. Quanto ao aspecto visual, os blocos com a introdução casca de arroz na sua composição, apresentaram pequenos espaços vazios, indicando que a introdução desse resíduo influenciou no processo de vibração e eliminação das bolhas do concreto, impactando diretamente na aparência final do bloco. Os blocos apresentaram concentração de casca de arroz no encontro entre as arestas, apresentando maior fragilidade nesses locais.

A avaliação dimensional dos blocos produzidos mostraram pequenas variações nas suas dimensões. Algumas amostras mostraram variações acima do recomendado pela NBR 9781 (ABNT, 2013), tanto em relação aos blocos produzidos como os blocos comerciais. Porém o índice de forma, mostrou valores que variavam entre 3,1 e 3,5, valor abaixo do exigido pela norma (4,0).

Quanto a determinação da absorção da água, ocorreu um incremento na medida que se aumentou o percentual da casca de arroz na composição do bloco. O valor médio da absorção de água da amostra padrão (referência) foi de 4,69%, dentro do aceitável pela NBR 9781 (ABNT, 2013). As amostras com a incorporação de casca de arroz, com o mesmo traço utilizado na produção do bloco padrão, apresentaram percentual de absorção superior a 7,0%, aumentando com o incremento do percentual de casca de arroz no bloco, superando o valor limite exigido pela norma.

Quanto a resistência característica à compressão, os blocos com a casca de arroz em sua composição ficaram abaixo do valor mínimo exigido pela norma. Os blocos com 5% de casca de casca de arroz mostraram os melhores valores dentre os blocos com a fibra. Os blocos com 10% e 15% apresentaram valores próximos entre eles nesse quesito. Deve-se destacar que nenhum dos blocos estudados, seja os produzidos ou comerciais, conseguiu atingir o mínimo esperado (35MPa).

Na concepção deste trabalho, procurou-se avaliar a utilização do resíduo, casca de arroz, como aglomerante na composição de blocos para pavimento intertravado, visando melhorar as propriedades desse compósito, através do reforço com a utilização dessa fibra, além de oferecer uma finalidade sustentável a essa casca. Os resultados mostraram que não foi possível utilizar a casca de arroz *in natura* para a produção de blocos para pavimento intertravado respeitando os critérios das normas em utilização no Brasil.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. A. **Caracterização química e física de pozolanas comumente utilizadas na região metropolitana do Recife - RMR**. 2015. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

ALTOÉ, S. P. S. **Estudo da potencialidade da utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de pneus inservíveis na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. 2012. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

ALTOÉ, S. P. S.; FRANCISCO, A. D.; MARTINS, C. H. **Análise do comportamento quanto à resistência mecânica de pavers fabricados com cinza de bagaço de cana de açúcar como agregado miúdo**. ANAIS ELETRÔNICOS DO VII ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA. Maringá. 5p, 2011.

AMANTINO, G.; FRANCIELI, T.; HASPARYK, N.; TOLETO, R. **Comportamento de concretos com baixo teor de casca de arroz como bioagregado**. 7º ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO (ENARC), 2021, Porto Alegre.

AMARAL, P. S.; NUNES, G. H.; SILVA, L. B.; SILVA, R.; SILVA, G. S. **Avaliação do cascalho de alagoas e a substituição parcial de areia por cascalho na composição de blocos intertravados**. Ciências exatas e tecnológicas, Maceió, v. 3, n.1, p. 35-42, 2015.

ANDRADE, N. C. **Propriedades de pisos intertravados produzidos com resíduos vegetais e industriais**. 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. São Paulo, 36p. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15953: Pavimento intertravado com peças de concreto - Execução**. Rio de Janeiro, 18 f. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 12 f. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 225 f. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7225: Materiais de pedra e agregados naturais**. Rio de Janeiro, 4 f. 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, 69 f. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 26 f. 2013.

BACARJI, E.; LOPES, R. C. **Pisos intertravados com a incorporação de resíduos minerais**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 9, n. 1, p. 22-26. 2014.

BAKAR, B. H. A.; PUTRAJAYAC, R.; ABDULAZIZ, H. **Malaysian Rice Husk Ash – Improving the Durability and Corrosion Resistance of Concrete: Pre-review**. Concrete Research Letters, v. 1, p. 6-13, 2010.

BARBOSA, E. S. C.; BARBOSA, F. G. R.; BASSI, V. B. **Pavimentação com blocos intertravados de concreto: estudo de caso comparativo de dimensionamento do pavimento na obra CLPA 02 Empreendimentos Imobiliários LTDA**. 2021. 39 f. Estudo de Caso - Centro Universitário Una, Pouso Alegre, 2021.

BARBOZA, M. R.; BASTOS, P. S. **Traços de concreto para obras de pequeno porte**. 2012. 8p. Bauru, Universidade Estadual Paulista, 2012. Disponível em: https://www.feb.unesp.br/pbastos/site_paulo/Artigo%20Tracos%20Concreto-Paulo%20Bastos.pdf. Acesso em: 04 de agosto 2023.

BITTENCOURT, S. F. **Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e areia de fundição**. 2012, 125 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Inovação) - Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2012.

CALEGARI, E. P. **Compósitos Poliméricos com casca de arroz: desenvolvimento, caracterização e possibilidades de aplicação no design de produto**. 2018. 201 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CÂMARA, H. N. S. **Processo produtivo do cimento Portland na empresa Mizu Cimentos Especiais, localizada em Baraúna-RN**. 2019. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

CAVALCANTI, E. C. M.; AMORIM, R. P. F.; JUNIOR, G. S. A. **Pavimentação intertravada: utilização de resíduos de construção e demolição para fabricação e assentamento de pavers**. XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. São José dos Campos. 6p, 2011.

CHEN, S.; WANG, J.; LI, Q.; ZHANG, W.; YAN, C. **The Investigation of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emissions in Environmentally Friendly Modified Asphalt**. Polymers, 14, 3459, 2022. <https://doi.org/10.3390/polym14173459>

CHOKSHI, S.; PARMAR, V.; GOHIL, P.; CHAUDHARY, V. **Chemical composition and mechanical properties of natural fibers**. Journal of Natural Fibers, 19:10, 3942-3953, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1848738>

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 3 terceiro levantamento, dezembro 2022.

COPAT, A. I. **Análise da qualidade de peças de concreto para pavimentação produzidas no município de Bento Gonçalves**. 2016. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

COUTINHO, C. R. O. **Produção de paver a partir do compósito de concreto com reaproveitamento de resíduos sólidos gerados na construção civil**. 2016. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2016.

CRUZ, L. O. M. **Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento**. 2003. 281f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

DELLA V. P.; KUHN, I.; HOTZA, D. **Reciclagem de resíduos Agro-industriais: cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica**. Revista Cerâmica Industrial, v.10, n.2, 2005.

DUART, M. A. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento**. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FERNANDES, I. **Blocos e Pavers: produção e controle de qualidade**. 8ª ed. Ribeirão Preto, SP: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2019.

GABRIEL, L. T. **Caracterização de bloco intertravado manufarutado a partir de resíduo de eletrônicos com análise dos procedimentos e metodologia metrológica dos ensaios**. 2020. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.

HOUSTON, D. F. **Rice hulls, rice chemistry and technology**. American Association of Several Chemistry, Minnesota, 301-352p, 1972. Huston, 1972.

IACKS, J. A. **Uso de cinza de casca de arroz para obtenção de blocos de concreto para pavimentação**. 2018. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

LAZZARIM JUNIOR, C. A. L. **Estudo das propriedades mecânicas do concreto com substituição parcial do agregado miúdo pela casca de arro *in natura***. 2020. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2020.

LEAL, C. E. F. **Peças para pavimento intertravado de concreto: estudo de viabilidade técnica na incorporação de agregado reciclado**. 2018. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

LIMA, J. C. **Análise das potencialidades do uso de resíduo do armazenamento de café pilado no concreto**. 2021. 23 f. Trabalho de Final de Curso (Especialização) - Instituto Federal do Espírito Santo, Nova Venécia, 2021.

LOPES, B. L. S. **Polímeros reforçados por fibras vegetais: Um resumo sobre esses compósitos**. São Paulo: Blücher, 43 p., 2017.

LOPES, F. F. M.; ARAÚJO, G. T.; LUNA, S.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, V. R. **Modificação das propriedades das fibras de curauá por acetilação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.3, p. 316-321, 2011.

LUDWIG, D. G. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz**. 2014. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2014.

MAGALHÃES, W. L. E.; CASTRO, A. de O.; VANALLI, L. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras da capa do palmito pupunha**. Colombo: Embrapa Florestas, 2022, 9 p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, n. 478)

MAHDI, M. M.; IRZOOKI, R. H.; ABDURRAHMAN, M. B. **Developing Porous Concrete Interlocking Pavement Blocks Utilizing Recycled Concrete Aggregate for Rainfall harvesting Use**. Tikrit Journal of Engineering Sciences, v. 28, n. 3, p. 48-60, 2021.

MARCHIONI, M. L. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco para peças de concreto para pavimentação intertravada**. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MARTINS FILHO, S. T.; MARTINS, C. H. **Utilização da cinza leve e pesada do bagaço de cana-de-açúcar como aditivo mineral na produção de blocos de concreto para pavimentação**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 10, n. 4, p. 1205-1224, 2017. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n4p1205-1225>

NAMARAK, C.; BUMRUNGSRI, C.; JATURAPITAKKUL, C. **Development of Concrete Paving Blocks Prepared from Waste Materials without Portland Cement**. Materials science, v. 24, n. 1, p. 92-99, 2018. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ms.24.1.17566>

NETO, J. T. S. **Compósito cimentício reforçado com fibras poliméricas de alta resistência mecânica**. 2018. 114 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

OLIVEIRA, I. R. C.; VASCONCELOS, R. P.; FILHO, J. A. M.; TORALLES, B. M. **Compósitos de fibrocimento reforçados com fibras de malva e juta produzidas na região amazônica - Efeito nas propriedades mecânicas à tração direta**. X ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO (ENSUS), 2022, Marabá.

PATEL, M.; KARERA, A.; PRASANNA, P. **Effect of thermal and chemical treatments on carbon and silica contents in rice husk**. J Mater Sci 22, p. 2457-2464, 1987. <https://doi.org/10.1007/BF01082130>

PELUSO, P.; PERSICHETTI, G.; MORETTI, L. **Effectiveness of Road Cool Pavements, Greenery, and Canopies to Reduce the Urban Heat Island Effects**. Sustainability, 14, 16027, 2022. <https://doi.org/10.3390/su142316027>

PIROLA, F. C. **Contribuição para o estudo de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação de 50MPa**. 2011. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

RAVIKUMAR, D.; ZHANG, D.; KEOLEIAN, G.; MILLER, S.; SICK, V.; LI, V. **Carbon dioxide utilization in concrete curing or mixing might not produce a net climate benefit**. Nature Communications, 12: 855, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21148-w>

REIS, A. S.; SILVA, N. C.; NEVES, U. M. **Produção de carvão ativado a partir de casca de arroz**. DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, 2 (Especial), p. 89-103, 2015. <https://doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2015v2nespp89>

SANDHU, R. K.; SIDDIQUE, R. **Influence of rice husk ash (RHA) on the properties of self-compacting concrete: a review**. Construction and Building Materials, v. 153, p. 751–764, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.165>

SANTOS, G. S.; LOPES, D. P. **Compósito cimentício de alto desempenho reforçado com fibra vegetal**. Revista Científica Integrada, Poços de Caldas, v.5, edição 3, 2022. Disponível em: <https://www.unaerp.br/revista-cientifica-integrada/edicao-atual/4903-rci-composito-cimenticio-altodesempenhoreforcado-fibra-vegetal-06-2022/file>

SCHEFFER, J. C.; ANDRADE, R. G. M.; REIS, A. S. **Avaliação experimental de blocos de concreto para pavimento intertravado com adição de fibra de coco verde**. Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão, v.3, n. 2. Paranaguá, 2018.

SILVA, C. O. **Sistema de piso com peças de concreto: manual de desempenho**. 1ª ed. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2022. Disponível em: https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2022/08/Manual_de_Desempenho_Pavimento-Intertravado_BlocoBrasil_Ago2022_v2.pdf. Acesso em 02 de agosto 2023.

SIMUNDI, F. S. M. **Extração de sílica e celulose a partir da casca de arroz**. 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

SOARES, D. B. **Avaliação do comportamento mecânico e durabilidade de blocos de concreto pré moldados com adição de cinza da casca de arroz**. 2020. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2020.

SOUZA, F. A. **Estudo da durabilidade de blocos de solo-cimento com a incorporação de casca de arroz**. 2011. 223 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

TASHIMA, M. M.; SOUSA, L. C.; AKASAKI, J. L.; SILVA, E. J. da, MELGES, J. L. P.; & BERNABEU, J. J. P. **Reaproveitamento da cinza de casca de arroz na construção civil**. Holos Environment, 11(1), p. 81-89, 2011. <https://doi.org/10.14295/holos.v11i1.5435>.

UGOCHUKWU, N. C.; EGUAKHIDE, A.; SUNDAY, A. V.; CHINOSO, O. E. **Performance of lightweight interlocking pavement concrete block composite made from breadfruit shell ash particle and *Momordica angustisepala* fiber via modified casting**

method. Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology n. 116, p. 4007-4017, 2021.
<https://doi.org/10.1007/s00170-021-07727-7> .

VISHNU, T. B.; SINGH, K.L. **A study on the suitability of solid waste materials in pavement construction: A review.** Int. J. Pavement Res. Technol., v. 14, p. 625–637, 2021.
<https://doi.org/10.1007/s42947-020-0273-z> .

VITALI, L. L. **Aula prática: dosagem e moldagem de concreto.** VI Semana Acadêmica de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 61 f, 2018.

WEISS, P. T.; KAYHANIAN, M.; GULLIVER, J. S.; KHAZANOVICH, L. **Permeable pavement in northern North American urban areas: research review and knowledge gaps.** Int J Pavement Eng., v. 20, n. 2, p. 143-162, 2017.