

DESENVOLVIMENTO DE UM PAVER UTILIZANDO RESÍDUO INDUSTRIAL DE PÓ DE MADEIRA DEVELOPMENT OF A PAVER USING INDUSTRIAL WOOD DUSTE WASTE

André Henrique Rodrigues¹
Mizael Lima Desidério²
Isolina Maria Leite de Almeida³
Flávia Morini Garcia⁴

RESUMO

Dados apontam um crescimento da construção civil na economia nacional. Um dos ramos que se destaca nesse crescimento, é o de pavimentação de pisos intertravados com blocos pré-moldados. Este estudo visou desenvolver *pavers* de concreto utilizando pó de madeira, resíduo da indústria moveleira, como substituto parcial do cimento, com foco em sustentabilidade e redução de custos. Foram realizados três testes pilotos, substituindo 5%, 10% e 20% do cimento pelo pó de madeira. Os *pavers* produzidos foram submetidos a ensaios de resistência à compressão após 23 dias de cura, conforme as exigências da NBR 9781, que requer resistência mínima de 35 MPa. Os resultados indicaram que os *pavers* do Piloto 1 (5%) e do Piloto 2 (10%) não atingiram a resistência exigida, e o Piloto 3 (20%) apresentou fragilidade visual e quebras antes mesmo de ser testado. O *paver* do Piloto 1 obteve uma resistência de 26,39 MPa, enquanto o do Piloto 2 alcançou 23,30 MPa. Em termos estéticos, o Piloto 1 não apresentou diferenças em relação aos *pavers* convencionais, mas o Piloto 2 mostrou ranhuras, já o Piloto 3 foi considerado inviável. Conclui-se que a incorporação de pó de madeira pode ser uma alternativa promissora, mas exige ajustes na formulação para garantir a resistência mecânica adequada. A pesquisa contribui, assim, para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na construção civil, ao mesmo tempo em que evidencia a necessidade de estudos adicionais para melhorar o desempenho dos *pavers* com materiais reciclados.

Palavras-chave: Construção Civil; Custos; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Data indicates growth in the construction industry within the national economy. One of the sectors that stands out in this growth is the paving of interlocking floors with precast blocks. This study aimed to develop concrete pavers using wood dust, a waste product from the furniture industry, as a partial substitute for cement, focusing on sustainability and cost reduction. Three pilot tests were conducted, replacing 5%, 10%, and 20% of the cement with wood dust. The produced pavers were subjected to compressive strength tests after 23 days of curing, in accordance with the requirements of NBR 9781, which mandates a minimum strength of 35 MPa. The results indicated that the pavers from Pilot 1 (5%) and Pilot 2 (10%) did not achieve the required strength, while Pilot 3 (20%) showed visual fragility and breakage even before testing. The paver from Pilot 1 achieved a strength of 26.39 MPa, while Pilot 2 reached 23.30 MPa. Aesthetically, Pilot 1 did not show differences compared to conventional pavers, but Pilot 2 exhibited grooves, while Pilot 3 was deemed unfeasible. It is concluded that the incorporation of wood dust can be a promising alternative but requires adjustments in

Discente em Tecnologia da Gestão da Produção Industrial - Fatec Itapetininga - E-mail: andre_henrique102009@hotmail.com ¹

Discente em Tecnologia da Gestão da Produção Industrial - Fatec Itapetininga - E-mail: misaellima2011@hotmail.com ²

Doutorado - Fatec Itapetininga - E-mail: isolina.almeida@fatec.sp.gov.br ³

Mestrado - Ufscar - E-mail: flaviamorini@ufscar.br ⁴

the formulation to ensure adequate mechanical strength. The research contributes to the development of more sustainable practices in the construction industry while highlighting the need for further studies to improve the performance of pavers made with recycled materials.

Keywords: Construction Industry; Costs; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Dados da Câmara Brasileira da Indústria de Construção (CBIC) apontam um crescimento de 17,7% nos anos de 2021 e 2022 comparado a 8,2% de crescimento da economia nacional. Mesmo com a atual instabilidade econômica, o ramo da construção civil aponta crescimento e tende a ter seu índice acima do crescimento do PIB para o fim do ano de 2023. Além disso, apesar da queda de produtividade em 2014, a construção civil se manteve como um forte aliado para o crescimento do país nas duas últimas décadas. (Vasconcelo, 2022).

A utilização de blocos pré-moldados vem crescendo exponencialmente no Brasil devido a seu baixo custo de manutenção quando comparado ao pavimento asfáltico, sua maior durabilidade e reaproveitamento, que gira em torno de 94% das peças, sendo assim considerado um método mais sustentável de pavimentação. (Barbosa; Barbosa; Bassi, 2021).

Neste contexto, o desenvolvimento sustentável tem sido a grande pauta nos últimos tempos no meio industrial. Segundo Cavalcanti (2012), só há desenvolvimento se ele for sustentável pois, se ele é insustentável, então, conseqüentemente, irá acabar.

Por outro lado, a construção civil é responsável por consumir grandes porcentagens dos recursos naturais provenientes do planeta, sendo um dos setores que mais utiliza recursos e, conseqüentemente, torna-se um dos maiores geradores de resíduos sólidos. Dentre os recursos mais utilizados na construção civil, destaca-se a utilização do cimento, um recurso que apesar de seu constante uso em todos os processos civis, possui um elevado custo, devido a fatores de alto custo inicial na sua fabricação. (Lima, 2011).

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo aplicar uma análise experimental visando o desenvolvimento de um *paver* de menor custo. De forma específica, objetiva-se substituir parcialmente o cimento utilizado como matéria-prima

por um resíduo de madeira proveniente da indústria moveleira. Dessa forma, busca-se criar uma alternativa mais sustentável para a produção de *pavers*, uma vez que se utiliza de uma matéria-prima que é resíduo de outro processo produtivo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho, inicialmente, foi realizada uma Revisão da Literatura tendo como base de estudo o Google Acadêmico, artigos científicos, Trabalhos de Graduação, Dissertações de Mestrado e a Norma Brasileira Regulamentadora NBR 9781. A metodologia utilizada baseou-se na apresentada em Figueiredo *et al.* (2022) em termos de procedimento, pois os autores, diferentemente deste trabalho, utilizaram o resíduo industrial *grits* para substituir a areia na formulação do *paver* e não o cimento, como apresentado nesta pesquisa.

2.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a fabricação de *paver* de concreto foram: cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI); Areia média; pó de pedra; pedrisco; água; aditivo. (Brito, 2013).

O cimento utilizado para a fabricação dos *pavers* neste estudo consistiu no cimento CPV-ARI, por sua alta resistência inicial em atingir os 35 MPA com 28 dias de cura, produto normalizado pela NBR 5733.

O pó de madeira utilizado em substituição ao cimento foi proveniente de uma indústria moveleira da cidade de Itapetininga – SP, que cedeu o material para a realização do trabalho.

A areia utilizada foi a média de quartzo com granulometria de 1,2 mm de origem natural, proveniente também da cidade de Itapetininga – SP, extraída pela empresa Romanha, produto normalizado pela NBR 7211.

O pó de pedra utilizado foi o de granito, também conhecido como areia industrial, com granulometria de 4,8 mm proveniente da cidade de Votorantim - SP extraído pela mineradora Julio & Julio, produto normalizado pela NBR 7211.

Utilizou-se o pedrisco de granito, com granulometria de 8 mm, conhecido por brita 0, também proveniente da cidade de Votorantim – SP, extraído pela mineradora Julio & Julio, produto normatizado pela NBR 7211.

O aditivo utilizado foi o desmoldante, proveniente da cidade de Campinas – SP, fabricado pela indústria química Beluc atendendo a linha de princípios ativos para aditivos de concretos pré-moldados.

A tabela 1 apresenta a quantidade (em Kg) de cada lote piloto produzido no estudo. Os ensaios foram denominados: Piloto 1, Piloto 2 e Piloto 3.

Tabela 1 – Quantidade de material (em Kg) dos lotes pilotos.

Material	Piloto 1 (5%)	Piloto 2 (10%)	Piloto 3 (20%)
Cimento	64	51	45
Pó de pedra	149	149	149
Areia	135	135	135
Pedrisco	76	76	76
Pó de madeira	3	6	12

Fonte: Elaboração própria (2024).

2.2 MÉTODOS

O presente estudo teve enfoque no desenvolvimento em uma formulação de *paver* utilizando-se diferentes percentuais de adições de resíduo de madeira (5%, 10% e 20% em massa) de uma indústria moveleira, situada na cidade de Itapetininga-SP em substituição ao cimento. Na produção de *pavers*, utiliza-se convencionalmente, uma formulação de: 34,9 % de pó de pedra, 31,6 % de areia, 17,8% de pedrisco e 15,7% de cimento. O percentual escolhido para a substituição do cimento baseou-se nos estudos da literatura.

O objetivo era alcançar uma redução no custo do produto, já que o cimento é a matéria-prima com o maior custo na produção de *pavers*. Entretanto, o *paver* desenvolvido deveria manter o aspecto visual de um convencionalmente produzido industrialmente e uma resistência mecânica à compressão de pelo menos 35 MPa .

A produção dos *pavers* dos Pilotos 1, 2 e 3 foi realizada em uma indústria desse ramo na cidade de Itapetininga – SP, da mesma forma que ela produz seus lotes convencionais nas dimensões de 100 x 200 x 60 mm. Foram produzidos para cada teste piloto um total de 24 *pavers*. Desse total, 6 *pavers* de cada piloto foram enviados para o Laboratório de Ensaios GeralTest, na cidade de Sorocaba-SP, após uma cura de 23 dias, para testar a resistência mecânica à compressão. Os resultados obtidos

foram comparados ao exigido pela NBR 9781, que determina uma resistência à compressão mecânica mínima de 35 MPa.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONTEXTO HISTÓRICO

A fabricação de blocos intertravados acompanha a humanidade. O primeiro relato histórico se deu em 5.000 a.C. na Mesopotâmia, onde os blocos eram feitos para a pavimentação de vias, revestidas de pedras brutas. Já no antigo império romano, blocos similares eram utilizados, devido a seu formato irregular. Esses blocos prejudicavam a passagem de pedestres e o tráfego de veículos de tração animal e foram substituídas por pedras talhadas por esforço manual, com o intuito de ocasionar ajuste mais preciso entre elas. (ABCP, 2010).

Mas de fato, a fabricação de blocos intertravados pré-moldados, no formato conhecido hoje, teve seu início ao final do século XIX, com uma crescente utilização ao final da segunda guerra mundial, por ser o meio mais econômico e de fácil instalação, muito utilizados na Europa em países afetados pela guerra, que necessitavam de reconstrução. (Marchioni, 2012).

No Brasil, por volta de 1600, os portugueses trouxeram com suas embarcações, blocos de paralelepípedos mais conhecidos como pé de moleque para a construção de estradas, com o objetivo de facilitar a exploração de ouro nas cidades de Tiradentes, São João Del Rey e Ouro Preto. Nesse período, os blocos eram de tamanhos irregulares e chegavam a ter 50 cm de comprimento. (Wiebbelling, 2015).

O pavimento de concreto, com sua forma padronizada, chegou ao Brasil na década de 1970 e, inicialmente, seu desenvolvimento partiu da premissa de ser um produto com mais durabilidade, menor custo de manutenção e sua estética versátil. Na década de 90, houve um grande crescimento da sua fabricação, devido a fatores ligados ao equilíbrio ambiental, econômico e tecnológico. (Barbosa; Barbosa; Bassi, 2021).

3.2 A PRODUÇÃO DE PAVERS

Para o desenvolvimento de *pavers*, um dos maquinários necessários é o misturador. Este equipamento será responsável pela primeira etapa de fabricação, onde após a adição da formulação requerida, será incumbido da mistura da massa, garantindo a homogeneização dela para, assim, ser colocada na vibro prensa. (Marchioni, 2012).

As máquinas de vibro prensa, podem ser manuais, hidráulicas ou pneumáticas. A utilização de cada modelo se deve à forma, tamanho, quantidade de fabricação, entre outros fatores. Na fabricação pneumática ou hidráulica, a regulagem da prensa e vibração é estabelecida segundo a quantidade de produção realizada periodicamente. A consistência do concreto é mais seca do que no processo manual. Sua adição pode ser realizada através de alimentadores ou manualmente. A prensagem e a vibração são acionadas por dispositivos mecânicos. (Purificação, 2009).

Após a moldagem das peças, subsequentes ao processo de vibro prensagem, as peças são alocadas para o processo de cura em câmeras que mantém a umidade relativa do ar acima de 95%, fazendo a hidratação do cimento e colaborando para que a absorção da água seja menor, em torno de 6%. O tempo de cura nas câmeras é de 24 horas, permanecendo no pátio de 7 a 28 dias para completar o ciclo de cura. (Purificação, 2009).

Na etapa inicial, a matéria prima é inspecionada por um funcionário. Caso aprovada, é descarregada nas baias de armazenamento. Após essa etapa, no estudo apresentado, a dosagem dos agregados é feita manualmente, transportados para o misturador e depositados em moldes para a sua prensagem, na vibro-prensa. Em seguida, são colocados sob paletes e armazenados para secagem, onde irão passar pelo tempo de cura. Certificada a qualidade dos blocos, e dado o tempo de cura necessária, estarão aptos para entrega. (Rodrigues; Rosa, 2015).

Uma forma alternativa de produção de *pavers* é através de betoneiras para fazer a mistura da massa e, em sequência colocá-las em moldes sobre uma mesa vibratória. O processo é menos custoso, porém sua qualidade e rendimento serão menores. Após esse processo, são levadas da mesma maneira para o processo de cura. (Reis Filho; Paiva; Espinosa, 2011).

3.3 NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA NBR 9780

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), fundada em 28 de setembro de 1940, é responsável por elaborar e fazer o regimento de normas como a Norma Brasileira (NBR). (ABNT, 2013).

A NBR começou a ser aplicada no Brasil em 1970, hoje é utilizada como referência no aspecto qualidade de produtos fabricados de concreto. É uma ferramenta indispensável para o crescimento e evolução do mercado brasileiro, passando as construtoras a exigirem, em seus canteiros de obras, produtos em conformidade com o regimento da norma brasileira que condiciona os pré-requisitos para a aceitação de peças pré-moldadas de concreto. (Santos, 2014).

Essa norma tem como objetivo fixar condições exigíveis para uma boa aceitação de peças pré-moldadas de concreto para pavimentação de vias, praças, estacionamento e similares. A norma complementar NBR 5733, nos remete ao cimento ideal para a produção de peças pré-moldadas de concreto. Todo modelo de *paver* deve ser produzido com o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI). (ABNT, 2013).

Segundo a norma NBR 9781, a construção de pavimentação flexível com *paver* para tráfegos de pedestre e veículos dotado de pneu pneumático, primeiramente, deve ser feita sob uma base de pó de pedra, e em seguida a camada de *paver*, onde sua face superior ficará exposta ao tráfego, onde as juntas entre o material devem ser preenchidas por pó de pedra ou areia (material de rejuntamento). (ABNT, 2013).

A medida nominal do *paver* deverá seguir as medidas definidas, de 97 mm x 197 mm x 60 mm (largura x comprimento x altura), não incluindo espaçadores que consistem na medida de 3mm, espessura mínima do *paver* é de 60 mm, especializado em múltiplo de 20mm, sua variação em dimensional será permitida em até 3mm, em relação largura, comprimento e altura. (ABNT, 2013).

Sua resistência para tráfego de pedestre e veículos leves deverá cumprir a resistência mínima de 35 Mpa. Para tráfego de veículos pesados e especiais deverá cumprir a resistência de 50 Mpa. Produtos entregues ao cliente antes dos 28 dias de cura devem apresentar 80% de seu resultado, sua absorção a água deve apresentar valor médio igual ou menor que 6%, não sendo permitido valor individual maior que 7%. Suas amostragens para teste a compressão consistem em seis peças para lotes de produção em até 300 m² e uma peça adicional a cada 50 m² produzidos, chegando até número máximo de 32 peças. (ABNT, 2013).

As peças devem passar por inspeção visual atendendo aspecto homogêneo, ângulos retos livre de qualquer tipo de rebarbas, defeitos, delaminação e escamação, pequenas variações na coloração das peças devido ao processo de produção e na variação da matéria prima é admitida, o lote só poderá ser rejeitado se forem encontrados mais de 5% de peças defeituosas. (ABNT, 2013).

3.4 PESQUISAS EM DESENVOLVIMENTO DE *PAVERS*

A indústria civil está aumentando seu papel no desenvolvimento sustentável, a partir de implantação de novas tecnologias que permitem a produção de materiais utilizando-se resíduos provenientes de indústrias. (Figueiredo *et al.*, 2022). Por outro lado, é notável a dificuldade de destinação final dos resíduos sólidos gerados pela sociedade. Devido ao crescimento populacional, há um aumento na utilização de materiais descartáveis como embalagens, pneus, garrafas PET (Polietileno tereftalato), entre outros. Nesse contexto, diversos pesquisadores buscam novas formas de destinação para esses produtos, visando incorporar estes resíduos na produção de materiais utilizados na produção civil. (Brito, 2013).

O *grits*, resíduo proveniente da indústria de papel e celulose, integra o grupo de materiais estudados que buscam incorporar novos produtos na construção civil, utilizado para a substituição parcial do agregado miúdo no desenvolvimento de *pavers*. (Figueiredo *et al.*, 2022).

Este resíduo é formado a partir do processo *kraft* que tem como objetivo dissolver e remover a lignina e, no processo de branqueamento, tornar a celulose a mais branca possível. Este resíduo normalmente é ordenado em aterros industriais, no entanto, pode causar degradação e poluição ambiental. A Figura 1 exemplifica a disposição do *grits* em um aterro industrial. (Marques *et al.*, 2014).

Figura 1 - Grits, resíduo produzido pela indústria de celulose.



Fonte: Figueiredo *et al.* (2022, p. 4).

Essa pesquisa baseou-se em substituir o composto areia pelo *grits* em três porcentagens graduais, sendo 10, 15 e 20%. Os resultados quanto à substituição de 20% foram satisfatórios quanto à resistência do material na argamassa dos corpos de prova, demonstrando uma resistência maior do que o próprio traço piloto. A Tabela 2 exemplifica o resultado. (Figueiredo *et al.*, 2022).

Tabela 2 - Teste de resistência no formato cilíndrico.

Corpos de Prova	Resistência à compressão média (MPa)
Piloto 1	3,61
Piloto 2	4,54
Piloto 3	5,07
20% <i>Grits</i> 1	4,74
20% <i>Grits</i> 2	5,97
20% <i>Grits</i> 3	5,84

Fonte: Figueiredo *et al.* (2022, p. 08).

Após a primeira testagem no formato cilíndrico, foram produzidos 15 *pavers* de dimensões 5x10x20 [cm], sendo eles com traço piloto e com traço de substituição da areia em 20% pelo *grits*, e submetidos a testes de compressão mecânica, ilustrados na Tabela 3 (Figueiredo *et al.*, 2022).

Tabela 3 - Teste de resistência no formato de *paver*.

Material	Resistência à compressão média (MPa)
Grits 20%	52,35
Piloto	59,8

Fonte: Figueiredo *et al.* (2022, p. 08).

Segundo a NBR 9781, a resistência mínima estipulada é de 35 MPa. Sendo assim, o *paver* produzido através da substituição parcial da areia pelo *grits* teve

resultado aceitável 49,57% acima dos 35 MPa estipulados, e somente 14,23% menor em relação ao *paver* convencional. (Figueiredo *et al.*, 2022).

Com o objetivo na fabricação de pisos intertravados, o *grits* demonstrou ser um material viável de substituição parcial de areia, obtendo resultados aceitáveis na sua testagem de compressão mecânica, além de apresentar fácil adequação. O estudo sugere a realização de futuros testes com menores proporções visando avaliar questões principalmente ligadas à durabilidade do produto, para se obter dados mais conclusivos sobre a viabilidade da substituição ao longo do tempo. (Figueiredo *et al.*, 2022).

Já Brito (2013) baseou sua pesquisa no estudo da viabilidade técnica de *paver* com resíduo de pneu em substituição parcial dos agregados.

A destinação incorreta de pneus pode causar impactos ambientais no solo, atmosfera, recursos hídricos. O seu descarte em terrenos baldios pode ocasionar futura queima, gerando diversos compostos líquidos que podem escorrer até os corpos de água, tanto superficiais como até mesmo para aquíferos, contaminando a água e tornando-a imprópria para o uso. O processo de queima de pneus também gera diversos tipos de gases tóxicos que poluem a atmosfera. (Nerasti; Martins, 2017).

A pesquisa propôs a destinação da borracha proveniente do descarte de pneus para sua utilização na fabricação de *pavers*. A borracha utilizada foi adquirida da raspada da banda de rodagem, fornecida pela empresa Latexsul Safra – veículos, do município de Alegrete, RS. (Brito, 2013).

Ainda de acordo com o autor, foi testada a substituição dos componentes que formam o piso intertravado em diferentes porcentagens. A escolha da maior substituição da areia, foi baseada em trabalhos que demonstram maior resistência à compressão comparada à substituição dos pedriscos ou à substituição parcial do cimento. A Tabela 4 demonstra a porcentagem de substituição por fibra de borracha nos quatro modelos elaborados. (Brito, 2013).

Tabela 4 - Composição dos lotes para testagem.

Traço	Volume da areia substituído pela fibra de borracha (%).	Volume de pedrisco substituído pela fibra de borracha (%).	% Da fibra de borracha no vol. Total de agregados.	% Da fibra de borracha no vol. Total de concreto.
A	0	0	0	0
B	6	2	3,88	2,45
C	7,5	2,5	4,85	3,07
D	9	3	5,82	3,69

Fonte: Brito (2013, p. 51).

Verificadas suas propriedades, foram elaborados através da produção manual quatro lotes de *pavers*, sendo o lote A, o lote piloto, sem o acréscimo ou a substituição dos agregados pela borracha. A forma escolhida foi a de 24x10x8cm (comprimento, largura e altura, respectivamente). (Brito, 2013).

Após a fabricação, os *pavers* passaram por um processo de cura de 7 a 28 dias. A Tabela 5 demonstra o resultado do teste de compressão conforme especificado na NBR 9781 (2013).

Tabela 5 - Teste de resistência (MPa).

Traço	Resistência característica à compressão (MPa)
Traço A (sem substituição dos agregados)	24,47
Traço B (6% do volume de areia e 2% do volume do pedrisco substituídos pelo resíduo da borracha)	18,75
Traço C (7,5% do volume da areia e 2,5% do volume do pedrisco substituído pelo resíduo de borracha)	16,76
Traço D (9% do volume de areia e 3% do volume do pedrisco substituído pelo resíduo de borracha)	16,69

Fonte: Brito (2013, p. 65).

O resultado apresentado demonstra um decréscimo na resistência à compressão comparado ao lote piloto: cerca de 23,75 % em relação ao traço B, 31,51% ao traço C e 35,88% em relação ao traço D e, mesmo o lote piloto não obteve os requisitos mínimos de resistência mecânica requeridos pela NBR 9781 (2013) que seria de 35 Mpa. (Brito, 2013).

3.5 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

A Inovação, termo que já foi considerado um diferencial, hoje se torna parte vital para o sucesso. Com o livre comércio entre os países em um mundo cada vez mais globalizado, inovar deixou de ser um luxo para se tornar uma parte essencial para a sobrevivência no mercado. (Baxter, 2011).

Consumidores buscam novos produtos e novas ideias para suprirem seus interesses, não só produtos novos como também melhores produtos e a preços razoáveis. Atender a seus requisitos e manter-se no mercado é uma tarefa árdua, que traz número grande de variáveis e de riscos. Saber planejar e como desenvolver seu produto é uma forma de mitigar esses riscos. (Baxter, 2011).

A atividade de desenvolver um produto é algo meticuloso, que deve ser pesquisada minuciosamente. Dada a sua importância, é necessário pensar estrategicamente, buscando identificar as necessidades dos clientes em todas as suas fases do ciclo de vida, além de desenvolver no tempo adequado com qualidade e pensar também no seu custo. Inovar, desenvolver novos produtos é uma solução de compromissos, onde o intuito é atender a diversos tipos de interesses. (Rozenfeld *et al.*, 2012).

Desenvolver um produto é uma atividade complexa, o seu sucesso depende de vários fatores como: aceitação dos distribuidores, facilidade de fabricação, durabilidade e confiabilidade do produto. (Baxter, 2011).

Assim, Rosenfeld *et al.* (2012) destacam o planejamento, agrupando-o em três grandes fases: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

O pré-desenvolvimento faz menção à parte estratégica do produto e projeto, desenvolvendo atividades relacionadas à definição do projeto; o desenvolvimento é composto por cinco etapas: projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado e preparação para a fabricação e lançamento do produto. Nessa fase, também são definidos alguns detalhes de grande relevância, como o tempo de ciclo de vida do produto, preparação de protótipos, preparação para distribuição e fabricação; já o pós-desenvolvimento é a fase na qual se faz o acompanhamento do produto durante seu tempo de ciclo de vida até a sua descontinuidade. (Rozenfeld *et al.*, 2012).

De acordo com a *Product Development Management Association* (PDMA, 2023), um produto se define como conjunto de atributos (características, benefícios e

usabilidade) que podem ser tangíveis, intangíveis ou até mesmo a ligação entre os dois.

Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), afirmam que todos os produtos se caracterizam por três componentes: (i) Conceito - conjunto de benefícios esperados pelo cliente; (ii) *Package* - conjunto de produtos e serviços que fornecem os benefícios já definidos pelo conceito; (iii) Processo - estabelece a relação entre o componente do produto e o componente de serviços.

Quando um cliente faz uma compra, ele adquire não somente o produto, mas sim um conjunto de benefícios que vão ao encontro de sua necessidade e expectativa, adquirindo um conceito de produto. Conceito não é somente o produto em si, mas toda forma como o cliente percebe os benefícios do produto (Slack; Brandon – Jones; Johnston, 2018).

A fase conceitual baseia-se em desenvolver informações para a concepção do produto, por meio de busca, criação e seleção de soluções. (Rozenfeld *et al.*, 2012).

Já o conjunto de produtos e serviços, fazem referência aos ingredientes do projeto que compõem o conceito. Para caracterizar a sua forma final, é necessária uma ligação entre eles através de uma relação formal. O resultado do desenvolvimento é uma definição detalhada do produto. Tendo como objetivo incluir especificações de forma, função e propósito geral do projeto como também, os benefícios que ele proporciona. (Slack; Brandon – Jones; Johnston, 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRODUÇÃO DOS *PAVERS*

A produção dos *pavers* do Piloto 1, 2 e 3, ocorreu de forma industrial e, no momento em que foram finalizados no processo, observou-se seu aspecto visual.

A Figura 3 apresenta os *pavers* obtidos no Piloto 1 substituindo-se 5% em massa do cimento pelo de pó de madeira gerado como resíduo em uma indústria moveleira. Visualmente, o *paver* não apresentou diferença visual para os produzidos industrialmente.

Figura 3 – Pavers obtidos no Piloto 1



Fonte: Elaboração própria (2024)

A Figura 4 apresenta os *pavers* obtidos no Piloto 2 substituindo-se 10% em massa do cimento pelo de pó de madeira gerado como resíduo em uma indústria moveleira. Visualmente, o *paver* apresentou mais ranhuras nas laterais do que os produzidos industrialmente.

Figura 4 – Pavers obtidos no Piloto 2



Fonte: Elaboração própria (2024)

A Figura 5 apresenta os *pavers* obtidos no Piloto 3 substituindo-se 20% em massa do cimento pelo de pó de madeira gerado como resíduo em uma indústria moveleira. Visualmente, o *paver* apresentou-se quebradiço já na saída do processo, indicando possíveis problemas com a formulação.

Figura 5 – Pavers obtidos no Piloto 3



Fonte: Elaboração própria (2024)

4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PAVERS DE CONCRETO

Os *pavers* produzidos tiveram 23 dias de cura antes de serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão, que foram realizados conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013). A Figura 6 ilustra um dos ensaios realizado nos *pavers* para mensurar a resistência à compressão de sua superfície.

Figura 6 – Equipamento para medir a pressão de compressão dos *pavers*.



Fonte: Elaboração própria (2024).

O cálculo da resistência à compressão, em MPa, foi obtido utilizando a Equação

1.

$$f_{pk} = f_p - t * s \quad (1)$$

Onde,

fpk é a resistência característica estimada à compressão, expressa em MPa;

fp é a resistência média das peças, expressa em MPa;

t é o coeficiente de *student*;

s é o desvio padrão da amostra, expressa em MPa.

Os *pavers* produzidos no Piloto 3 estavam quebradiços após os 23 dias de cura, inviabilizando o ensaio de compressão mecânica.

A Tabela 6 mostra os resultados de compressão mecânica obtidos para os seis *pavers*. O *fpk* obtido para o Piloto 1 foi de 26,39 MPa. Dessa forma, o *paver* com 5% de pó de madeira apresentou não conformidade, pois ela deveria ser superior à 35 MPa.

Tabela 6 – Resistência à compressão em MPa para o Piloto 1.

Amostra	MPa individual	MPa Médio	Desvio Padrão	<i>fpk</i> Adotado (MPa)
1	26,65	28,01	1,76	26,39
2	27,50			
3	30,44			
4	26,33			
5	30,01			
6	27,15			

Fonte: Elaboração própria (2024).

A Tabela 7 mostra os resultados de compressão mecânica obtidos para os seis *pavers* do Piloto 2 e o *fpk* obtido foi de 23,30 MPa. Dessa forma, o *paver* com 10% de pó de madeira também apresentou não conformidade, pois deveria ser superior à 35 MPa.

Tabela 7 – Resistência à compressão em MPa para o Piloto 2.

Amostra	MPa individual	MPa Médio	Desvio Padrão	<i>fpk</i> Adotado (MPa)
1	29,63	25,65	2,56	23,30
2	25,97			
3	24,59			
4	21,93			
5	26,84			
6	24,94			

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Essa baixa de resistência à compressão do concreto já foi notada por diversos outros autores que justificam esse decréscimo devido à massa dos agregados naturais, uma vez que na compressão do concreto a resistência dos agregados é maior que a resistência do material pesquisado. Brito (2023), por exemplo, obteve uma queda na resistência à compressão, segundo essa premissa, ao introduzir o resíduo dos pneus na fabricação de *pavers*.

Além disso, a resistência mecânica dos *pavers* é um critério crucial, especialmente para atender às exigências da NBR 9781, que requer uma resistência mínima de 35 MPa. Os resultados mostraram que tanto o Piloto 1 (5%) quanto o Piloto 2 (10%) não atingiram esse valor, e o Piloto 3 (20%) apresentou fragilidade estrutural evidente, o que comprometeu a realização do teste de compressão.

A resistência inferior nos Pilotos 1 e 2, bem como a inviabilidade do Piloto 3, pode ser atribuída à substituição do cimento pelo pó de madeira. O cimento é responsável por garantir a coesão e a resistência dos *pavers*, e a substituição desse material por um resíduo orgânico com características físicas e químicas muito distintas pode ter impactado a capacidade do *paver* de suportar compressão.

Uma solução potencial seria tratar o pó de madeira para melhorar suas propriedades de ligação com os outros agregados. Processos como carbonização ou modificação química podem aumentar a compatibilidade do pó com o cimento, reduzindo a sua fragilidade. O ajuste da granulometria dos agregados também poderia ser testado para melhorar a distribuição de cargas internas no *paver*, aumentando a resistência à compressão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de *pavers* com a adição de pó de madeira, como substituto parcial do cimento, representa uma abordagem inovadora e sustentável na construção civil. Apesar de os *pavers* produzidos no Piloto 1 e Piloto 2 não terem atendido aos requisitos de resistência à compressão, os resultados visuais indicaram que a substituição não comprometeu a estética dos produtos. O Piloto 3, embora apresentasse problemas de fragilidade, destaca a importância de uma formulação equilibrada para garantir a viabilidade estrutural do *paver*.

As análises experimentais evidenciam que a incorporação de resíduos de madeira pode ser promissora, mas requer um aprofundamento em relação à

proporção de substituição e às características dos materiais utilizados. Os achados também reforçam a necessidade de investigações adicionais para otimizar a formulação dos *pavers*, visando não apenas a redução de custos, mas também a conformidade com as normas de resistência.

O trabalho destaca o potencial do uso de materiais alternativos na construção civil, o que está alinhado com a demanda crescente por práticas mais sustentáveis no setor. Se a resistência e a durabilidade dos *pavers* puderem ser melhoradas, eles têm potencial para conquistar um nicho significativo no mercado de materiais de construção, principalmente em áreas com menos exigências de carga. Além disso, a sustentabilidade como diferencial competitivo pode atrair construtoras que visam melhorar sua pegada ambiental.

Em suma, a pesquisa contribui para o avanço de práticas sustentáveis na produção de *pavers* e abre caminhos para futuras investigações que possam melhorar o desempenho mecânico desses materiais, promovendo a valorização de resíduos da indústria moveleira e, ao mesmo tempo, atendendo às exigências do mercado.

REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual Pavimento Intertravado**, São Paulo 2010. Disponível

em:<<https://abcp.org.br/manual-de-pavimento-intertravado/>>. Acesso em: 12 set. 2024.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação** - Especificação. Rio de Janeiro. 2013. Disponível em:<https://www.academia.edu/8652102/ABNT_NBR_9781_2013_Pecas_de_Concreto_para_pavimentacao>. Acesso em: 12 set. 2024.

BAXTER, M. **Projeto de Produto**: Guia Prático Para o Design de Novos Produtos. 3.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

BARBOSA, E.S.C; BARBOSA, F.G.R; BASSI, V.B. **Pavimentação com Pisos Intertravados de Concreto**: Estudo de Caso: Comparativo de Dimensionamento de Pavimento na Obra CLPA 02 Empreendimentos Imobiliários LTDA. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Anima Educação, Minas Gerais, 2021. Disponível em:<<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/19269/1/Artigo%20-%20Pavimenta%C3%A7%C3%A3o%20Intertravada%20%281%29.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2024.

BRITO, G. P.S. **Estudo da Viabilidade Técnica de Paver Com Resíduo de Pneu em Substituição Parcial dos Agregados**. Trabalho de Graduação de Bacharel em

Engenharia Civil. Universidade Federal do Pampa, Rio Grande do Sul, 2013.

Disponível em:<

<https://dspace.unipampa.edu.br/jspui/bitstream/riiu/1636/1/Estudo%20da%20viabilidade%20t%C3%A9cnica%20de%20paver%20com%20res%C3%ADduo%20de%20pneu%20em%20substitui%C3%A7%C3%A3o%20parcial%20dos%20agregados.pdf>>.

Acesso em: 22 set. 2024.

CAVALCANTI, C. **Sustentabilidade: Mantra ou Escolha Moral?** Uma Abordagem Ecológico-Econômica. *Revista Estudos Avançados*, [S. l.], v. 26, n. 74, p. 35-50, 2012. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10623>>. Acesso em: 12 set. 2024.

FIGUEIREDO, F.G. ; COUTO, C.X. ; BOTERO, E.R. ; FIGUEIREDO, N. L. B. ; MAIA, L. M. S. **Produção de Piso Intertravado de Concreto (Pavers) Com Substituição Parcial do Agregado Miúdo Pelo Grits**, Resíduo da Indústria de Papel e Celulose. *Brazilian Journal of Development*. Disponível em:

<<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/47153/pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2024.

LIMA, T. M. N. **Competição na indústria do cimento no Brasil**. Tese de Doutorado em Teoria Econômica - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em:

<<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12138/tde-03062011-180403/pt-br.php>> Acesso em: 12 set. 2024.

MARCHIONI, M. L. **Desenvolvimento de Técnicas Para Caracterização de Concreto Seco Utilizado na Fabricação de Peças de Concreto Para Pavimentação Intertravada**, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: < <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-18072013-150832/pt-br.php> >. Acesso em: 27 set. 2024.

MARQUES, M. L. ; SILVA, E. J. ; VELASCO, F. G. ; FORNARI JUNIOR, C. C. M. **Potencialidades do Uso de Resíduos de Celulose (Dregs/Grits) Como Agregado em Argamassas**. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. Disponível em: <<https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v16n4p423-431>>. Acesso em: 28 set. 2024.

NERASTI, A.V; MARTINS, L.L.S. **Reciclagem de Pneumáticos**. Levantamento das Tecnologias e Legislações Para a Destinação Final de Pneus. *Brazilian Technology Symposium*, 2017. Disponível em:<<https://lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-17/Papers/76974.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2024.

PDMA - *PRODUCT DEVELOPMENT MANAGEMENT ASSOCIATION*. *Glossary for New Product Development: I to S*, 2023. Disponível em:<https://www.pdma.org/page/glossary_access2>. Acesso em: 12 set. 2024.

PURIFICAÇÃO, E. B. **Estudo do Uso de Agregados Reciclados de Concreto e Substituição do Cimento por Resíduo de Polimento de Porcelanato na Produção de Piso Intertravado de Concreto**. 2009. Dissertação (Mestrado em

Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: < <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ISMS-84XLBK> > Acesso em: 28 set. 2024.

REIS FILHO, R. F. R; PAIVA, E. C. R; ESPINOSA, J. W. M. **Utilização de Resíduos de Concreteira para a Fabricação de Pavers**. **Simpósio de Engenharia de Produção** – Regional Catalão, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2018. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/1012/o/UTILIZA%C3%87%C3%83O_DE_RES%C3%84DUOS_DE_CONCRETEIRA_PARA_A_FABRICA%C3%87%C3%83O_DE_PAVERS.pdf?1536008661>. Acesso em: 29 set. 2024.

RODRIGUES, C. V. ; ROSA, A. F. P. AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DO PROCESSO PRODUTIVO DE BLOCOS DE CONCRETO POR MEIO DE ANÁLISES ESTATÍSTICAS EM UMA EMPRESA NA CIDADE DE PELOTAS/RS. **Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP)**. Universidade Federal de Pelotas, 2015. Disponível em: <https://www.simpep.feb.unesp.br/abrir_arquivo_pdf.php?tipo=artigo&evento=10&art=255&cad=22146&opcao=com_id>. Acesso em: 28 set. 2024.

ROZENFELD, H. ; FORCELLINI, F. A. ; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**: Uma Referência Para a Melhoria do Processo. São Paulo: Saraiva, 2012.

SANTOS, A. **Bloco de Concreto Ganha Manual de Normas Técnicas**. Portal Itambé, 2014. Disponível em: < <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/bloco-de-concreto-ganha-manual-de-normas-tecnicas/> >. Acesso em: 22 set. 2024.

SLACK, N.; BRANDON – JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 8.ed. São Paulo: Editora Atlas, 2018.

VASCONCELO, I. Desempenho da Construção Civil em 2022 e Perspectivas para 2023 – **Inteligência Econômica** - CBIC, p. 2- 5, 2022. Disponível em: <<https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2022/12/panorama-construcao-dez-2022-final.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2024.

WIEBBELLING, P. O. G. **Pavimento Com Blocos Intertravados De Concreto: Estudo De Caso Na Univates**. Monografia (Bacharel em engenharia civil) – UNIVATES, Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: < <https://www.univates.br/bdu/items/4ea9ef1f-004f-466e-991c-1f0a9a3de71d> >. Acesso em: 29 set. 2024.