



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DANIEL JONAS MARTINS QUEIROZ

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM *PAVERS* DE
CONCRETO: revisão literária**

Caruaru

2024

DANIEL JONAS MARTINS QUEIROZ

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM *PAVERS* DE
CONCRETO: revisão literária**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Dannúbia Ribeiro Pires

Caruaru

2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder forças e sabedoria ao longo desta jornada, pois sem Sua presença constante eu não teria conseguido chegar até aqui.

Ao meu pai, Marcos Queiroz, a quem admiro profundamente e que sempre foi uma referência em minha vida. Seu exemplo de caráter, dedicação e força me motiva diariamente e esteve comigo em cada passo deste caminho. E à memória da minha mãe, Vânia Queiroz, que sempre será uma inspiração e lembrança de amor e força. Agradeço também às minhas irmãs, Rafaela, Gabriela e Maysa, por serem parte essencial da minha trajetória.

Minha gratidão se estende à minha namorada, Michelle Araújo, por todo o suporte e incentivo ao longo deste caminho. Agradeço à minha orientadora, Dannúbia Pires, que foi fundamental para a realização deste trabalho, com sua paciência e orientações essenciais para o desenvolvimento deste TCC. Aos membros da banca avaliadora, Flávio Diniz e Maria Victória Leal, agradeço pelas contribuições e sugestões para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Por fim, aos amigos que estiveram ao meu lado durante essa jornada universitária, em especial Jean, Italo, Breno, Isabelle, Érica e Gheyson, obrigado pela amizade, apoio e pelas tantas memórias construídas.

Incorporação de resíduos da construção civil em *pavers* de concreto: revisão literária

Incorporation of construction waste into concrete pavements: literay review

Daniel Jonas Martins Queiroz¹

RESUMO

O setor da construção civil está em constante crescimento no país, o que traz consigo uma série de impactos ambientais, especialmente devido à intensa extração de matéria prima da natureza e o descarte inadequado dos resíduos gerados por essa indústria. Contudo, ao longo dos anos, tem sido implementada políticas e práticas sustentáveis para mitigar tais impactos ambientais. Dentre essas práticas, está a reciclagem e o reaproveitamento dos Resíduos da Construção Civil (RCC), que, ao passarem por operações que lhe garantem as condições apropriadas para o reuso, podem ser inseridos novamente na construção como agregados reciclados, substituindo de forma parcial ou total os agregados naturais. Os *pavers*, também chamados de blocos intertravados, são elementos pré-fabricados de concreto usados como revestimento em pavimentos intertravados. Por não terem função estrutural e serem produzidos com concreto, representam uma alternativa sustentável e ideal para estudos na construção civil. Neste trabalho, o objetivo foi desenvolver uma revisão literária de artigos de pesquisa que tratam da utilização de RCC na fabricação de *pavers* de concreto. A metodologia adotada incluiu a análise e seleção de nove estudos publicados em revistas Qualis A, entre os anos de 2000 e 2024, que tratam da substituição de agregados naturais por agregados reciclados de materiais da construção civil. Primeiramente, foram verificados a origem dos RCC, os traços de concreto e suas proporções, e os ensaios mais comuns para avaliar o comportamento do *paver* incorporado com esses resíduos. Os resultados indicam que, embora a substituição de agregados naturais por reciclados possa reduzir as propriedades mecânicas, ela ainda se mantém dentro dos padrões normativos para aplicações em tráfego leve. Com isso, sugere-se que futuras investigações explorem até que ponto esses estudos são viáveis financeiramente, calculando o impacto econômico, comparando os custos e benefícios em relação aos *pavers* tradicionais.

Palavras-chave: resíduos da construção civil; agregados reciclados; blocos intertravados.

¹Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: daniel.jmqueiroz@ufpe.br

ABSTRACT

The construction industry is constantly growing in Brazil, which brings with it a series of environmental impacts, especially due to the intense extraction of raw materials from nature and the inadequate disposal of waste generated by this industry. However, over the years, sustainable policies and practices have been implemented to mitigate such environmental impacts. Among these practices is the recycling and reuse of Construction Waste (CCW), which, when undergoing operations that guarantee the appropriate conditions for reuse, can be reintroduced into construction as recycled aggregates, partially or totally replacing natural aggregates. Pavers, also called interlocking blocks, are prefabricated concrete elements used as coverings in interlocking pavements. Because they have no structural function and are produced with concrete, they represent a sustainable and ideal alternative for studies in the construction industry. The objective of this work was to develop a literary review of research articles that deal with the use of CWW in the manufacture of concrete pavers. The methodology adopted included the analysis and selection of nine studies published in Qualis A journals between 2000 and 2024, which deal with the replacement of natural aggregates with recycled aggregates from construction materials. First, the origin of the RCC, the concrete mixes and their proportions, and the most common tests to evaluate the behavior of the paver incorporated with this waste were verified. The results indicate that, although the replacement of natural aggregates with recycled ones can reduce the mechanical properties, it still remains within the normative standards for light traffic applications. Therefore, it is suggested that future investigations explore to what extent these studies are financially viable, calculating the economic impact, and comparing the costs and benefits in relation to traditional pavers.

Keywords: construction waste; recycled aggregates; interlocking blocks.

DATA DE APROVAÇÃO: 23 de outubro de 2024.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades mais antigas exercida pelo homem e foi impulsionada ainda mais com a Revolução Industrial que ocorreu no século XIX, pois houve

um aumento populacional significativo nos centros urbanos e consequentemente mais construções (Teixeira, 2012).

Com o aumento da indústria da construção civil, o setor se tornou responsável pelo consumo de cerca de 40% dos recursos naturais extraídos do planeta, e por conseguinte houve o aumento da geração de resíduos, sendo o maior gerador de resíduos da sociedade (Santos, 2005).

No Brasil, estima-se que, em 2022 o setor da construção civil foi responsável pela geração de aproximadamente 45 milhões de toneladas de resíduos (ABREMA, 2023). De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2010), apenas 9,7% dos municípios brasileiros têm algum tipo de sistema de processamento para os Resíduos da Construção Civil (RCC).

A enorme geração de RCC em contraste com a escassez de destinos adequados para sua disposição abre caminho para descarte irregular do mesmo, que pode causar o assoreamento dos rios e córregos, a obstrução de redes de drenagem, que por consequência, aumenta-se o risco de enchentes nos períodos de elevado índice pluviométrico. Além disso, o acúmulo de RCC em local inadequado não atrai somente resíduos inertes, mas também, os não inertes, como alimentos e outros materiais ricos em matéria orgânica, se tornando um habitat específico para proliferação de espécies de transmissores de doenças (Schneider, 2003).

Portanto, é crucial para o setor adotar um sistema de gestão dos RCC que permita a redução dos custos das obras e a minimização do volume de desperdícios, além de facilitar a utilização de materiais excedentes. Tais medidas são essenciais para mitigar impactos ambientais adversos, como o uso desnecessário de recursos naturais, a degradação do meio ambiente e potenciais problemas de saúde pública (Barreto, 2005).

Com base no conceito de sustentabilidade para a construção civil, são propostas abordagens interdisciplinares de pesquisa para converter resíduos em materiais de construção (John, 2000). Os RCC têm um potencial de reciclagem de aproximadamente 70%, entretanto, apenas 20% deste volume é reciclado no Brasil. Em comparação com países da Europa, a taxa de reciclagem dos resíduos nesses países é muito superior à do Brasil, chegando até mais de 85% na Alemanha (Freitas, 2018).

Diante da perspectiva sustentável, ao reutilizar os RCC, evita-se a extração de novos materiais e diminui-se a prática do descarte inadequado desses resíduos no meio ambiente, minimizando assim o impacto causado pela sua geração (Glória *et al.*, 2020).

Existem diversas maneiras de reutilizar esses resíduos, desde sua forma original para nivelar terrenos até a utilização após britagem, transformando-os em agregados para a construção civil. Esses agregados reciclados podem ser empregados em obras de pavimentação, na fabricação

de argamassas e concreto não estrutural, destacando-se os pisos intertravados, manilhas de esgoto e blocos de vedação (Souza *et al.*, 2023).

Os *pavers*, também chamados de blocos intertravados de concreto, utilizados em pavimentos, são uma opção crescente no Brasil em relação a pavimentos de asfalto, mais comum nas cidades brasileiras (Nabeshima, 2011). A disposição baseada em blocos de concreto é uma alternativa eficaz, pois sua aplicação pode ser feita de forma mais simples e são poucas as complicações na sua produção (Canuto, 2022).

Alguns estudos têm demonstrado um potencial da utilização de agregados reciclados na produção de materiais cimentícios, como argamassas e concretos. Trabalhos como os de Leite (2001), Pedrozo (2008) e Dimitriou *et al.* (2018) apresentam a possibilidade da utilização do agregado reciclado de RCC em concretos. Dessa forma, a reciclagem de resíduos na produção de *pavers* de concreto é uma opção para diminuir o impacto ambiental gerado e aumentar a economia no setor.

Por apresentar grande facilidade de execução e manutenção, e também por não necessitar de um grau elevado de especialização da mão de obra, tem sido recorrente o emprego de *pavers* nos municípios brasileiros, principalmente em praças, calçadas e pavimentos de condomínios horizontais. Assim, a incorporação dos RCC na fabricação de *pavers* é uma oportunidade de promover o desenvolvimento sustentável, e também de reduzir os custos na produção do material.

Neste estudo, foi realizada uma revisão literária sobre a incorporação dos RCC em *pavers* de concreto, a fim de apresentar os resultados recentes obtidos pela comunidade científica relacionados a esse tema, verificando a viabilidade da reutilização de resíduos como método eficaz de redução de impactos ambientais e extração de recursos naturais.

1.1 Resíduos da Construção Civil (RCC)

Os RCC são definidos como materiais originados de construções, reformas, reparos e demolições de obras da construção civil, bem como provenientes da preparação e escavação de terrenos. Tais resíduos, frequentemente referidos como entulhos de obras, abrangem uma vasta gama de materiais, como tijolos, blocos cerâmicos, concretos e argamassas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras, forros, gesso, telhas, vidros, plásticos, solos e rochas (Brasil, 2002).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente na Resolução CONAMA nº 307, instituída em 2002, tem o propósito de regularizar as ações necessárias para reduzir os impactos ambientais causados pelos RCC. Essa normativa, obriga os geradores e prefeituras a tomarem medidas

voltadas para a redução, reciclagem e gestão apropriada desses resíduos provenientes de obras civis.

Os RCC são classificados em quatro classes distintas, cada uma exigindo tratamentos diferenciados. É importante ressaltar que as resoluções CONAMA nº 348/2004, CONAMA nº 431/2011 e mais recente resolução CONAMA nº 469/2015 promoveram mudanças significativas nessa classificação (Brasil, 2002, 2004, 2011, 2015):

I) Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como de construção, demolição, reformas e reparos de edificações, pavimentações e de obras de infraestruturas, além disso são incluídos solos originados de terraplanagem;

II) Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;

III) Classe C: são os resíduos para os quais ainda não existem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; e

IV) Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, ou ainda aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos.

Na etapa de fundação das obras de construção civil, de forma geral, observa-se a dominância de resíduos Classe A, com solos, restos de concreto. Na fase de estrutura, predominam-se as Classes A e B, com os seguintes insumos: madeira, aço, restos de concreto. Por fim, os resíduos das quatro classes surgem na fase de acabamento, predominantemente gesso, madeira, argamassa, cerâmica, blocos, plásticos, tintas e EPI (Vieira *et al.*, 2021).

Os RCC de Classe A podem ser reutilizados ou reciclados como agregados (miúdo ou graúdo) após o devido beneficiamento do material coletado, no qual é viabilizada a formação do agregado reciclado, que possuem qualidades técnicas para serem incorporados em materiais de construção civil, usados em obras de edificações, infraestrutura e outras obras de engenharia (Brasil, 2002).

A possibilidade dessa utilização também é regulamentada pela NBR 15116 (ABNT, 2021), a qual autoriza a incorporação dos agregados reciclados em argamassas e concretos de cimento Portland, estabelecendo parâmetros e exigências para sua aplicação.

A utilização de RCC em materiais cimentícios tem se apresentado como uma alternativa para o crescimento do consumo sustentável na construção civil, e com o interesse comercial, pode resultar na fabricação de novos materiais e dar destino e valor a materiais que antes seriam descartados (Sandanyake *et al.*, 2020).

Gómez-Soberon (2002) salienta que, embora os agregados reciclados apresentem elevada porosidade podem ser utilizados na produção de concreto. Também Viera e Dal Molin (2004)

afirmam que agregados reciclados em proporções devidamente dosadas em relação a substituição de agregados naturais, podem melhorar algumas propriedades do concreto, como sua resistência a compressão e durabilidade.

Scheifer e Callejas (2021) apontam que o agregado miúdo reciclado do RCC pode ser utilizado na produção de blocos de concreto, no qual seus estudos apresentaram um resultado positivo, em que a resistência à compressão e o teor de absorção de água estão dentro dos limites estabelecidos pela norma para blocos de concreto sem função estrutural.

Segundo Surya *et al.* (2013), o agregado reciclado de RCC pode ser útil para construção de infraestrutura de pavimentos. Além disso, Motta (2005) concluiu que o agregado reciclado de RCC apresenta um uso promissor como material alternativo na construção de bases, sub-bases e reforço de subleitos de pavimentos para vias de baixo volume de tráfego em substituição aos materiais convencionais.

De acordo com os estudos de Morales *et al.* (2011) e Brasileiro e Matos (2015), a prática de reciclagem de RCC não apenas resulta em uma redução significativa do acúmulo de resíduos urbanos, mas também oferece a vantagem de diminuir a dependência de materiais não renováveis. Ademais, ao conferir um valor agregado a esses materiais, a reciclagem contribui para a criação de empregos e novas oportunidades de renda para as pessoas vinculadas.

1.2 Incorporação de RCC em *Pavers* de Concreto

Os *pavers*, segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013), são elementos pré-fabricados feitos de concreto, utilizados como revestimento em pavimentos intertravados. O pavimento intertravado é um tipo de piso flexível composto por uma camada de base (ou base e sub-base), sobre a qual é colocada uma camada de revestimento feita de blocos de concreto que se encaixam sem necessidade de uma camada de argamassa entre eles. As juntas entre os blocos são preenchidas com material de rejunte, e o sistema é projetado para garantir estabilidade por meio de seu próprio encaixe. A superfície dos blocos proporciona conforto ao tráfego de pedestres, enquanto sua estrutura é capaz de suportar tanto veículos leves quanto pesados, dependendo de sua classificação e uso (Nascimento, 2016).

A utilização de blocos de intertravado de concreto vem progressivamente ganhando espaço no Brasil como solução para pavimentação de áreas urbanas. Isso se deve não apenas aos esforços crescentes de empresas e organizações do setor para promover seu uso, mas também às vantagens técnicas que o sistema oferece. Estas incluem a facilidade de assentamento (Reis Filho, 2018), rápida liberação para o tráfego (Amadei, 2011), redução da necessidade de

iluminação pública e a capacidade de acesso à infraestrutura subterrânea com apenas a remoção dos blocos, que podem ser reinstalados após qualquer intervenção necessária (Pagnussat, 2004).

Um exemplo é a fabricação de *pavers* de concreto utilizando os RCC que, através da reciclagem desses resíduos, pode-se obter tanto o agregado miúdo (areia reciclada) quanto o agregado graúdo (pedrisco reciclado). Dessa maneira, os resultados obtidos utilizando agregados reciclados na fabricação dos blocos de concreto podem apresentar uma resistência à compressão suficientes para serem aproveitados para o calçamento de calçadas e estacionamento de tráfego leve (Cavalcanti *et al.*, 2011).

Segundo Pederneiras *et al.* (2020), a utilização de agregado miúdo reciclado implicou um melhor desempenho dos blocos em relação aos blocos confeccionados com agregados graúdos. Além disso, no trabalho desenvolvido por Amadei (2011), ao substituir o agregado miúdo natural pelo reciclado de RCC de maneira parcial, foram obtidos resultados elevados de resistência à compressão.

Coutinho (2016) aponta o grande potencial da utilização de agregados reciclados em substituição aos agregados naturais na fabricação de *pavers* de concreto (não estrutural), no qual a utilização desses *pavers* pode ser feita em calçadas, ruas de baixas solicitações de tráfego. Ademais, Simieli *et al.* (2007) afirmam que a utilização de agregados reciclados em proporções devidamente dosadas garante valores superiores a resistência à compressão recomendada pela norma. Além disso, esses agregados apresentaram uma trabalhabilidade adequada para confecção dos *pavers* que obtiveram peças com excelente acabamento.

Outrossim, Soutsos *et al.* (2011) investigaram as propriedades mecânicas levando em consideração a resistência à compressão e à tração do bloco de intertravado de concreto feito com agregados reciclados de RCC, determinando níveis de substituição que produziram propriedades semelhantes aos *pavers* fabricados com agregados naturais.

Portanto, a integração de RCC no *paver* de concreto é uma área de grande potencial, considerando a relevância desse material para a indústria da construção civil e a complexidade dos fatores que influenciam suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Embora a reutilização dos RCC seja considerada uma estratégia valiosa para mitigar os impactos ambientais da construção civil, sua implementação sem uma avaliação cuidadosa dos efeitos pode comprometer o desempenho do concreto a longo prazo (Silva Filho, 2023).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Fornecer uma visão detalhada sobre as pesquisas relacionadas a incorporação dos RCC em *pavers* de concreto e analisar os resultados obtidos, bem como sua viabilidade.

1.3.2 Objetivos específicos

Para alcançar esse objetivo geral serão desenvolvidos os seguintes objetivos específicos:

- Descrever os resultados obtidos pela incorporação dos RCC nos *pavers* de concreto;
- Avaliar o desempenho dos *pavers* com RCC em diferentes proporções de substituição de agregados naturais por reciclados;
- Identificar as melhores práticas e desafios na fabricação de *pavers* com RCC.

2 METODOLOGIA

O presente estudo buscou apresentar informações sobre a incorporação de RCC em *pavers* de concreto, através da pesquisa e observação de estudos desenvolvidos recentemente na área, considerando a caracterização dos resíduos utilizados, analisando as variáveis de incorporação, resultados obtidos e os impactos nas propriedades físicas e mecânicas dos blocos de concreto de pavimentação.

Este trabalho pode ser compreendido como uma pesquisa exploratória, que tem como principal objetivo o aprimoramento de ideias (Gil, 2002). Essa abordagem se justifica pela necessidade de esclarecer conceitos relacionados à incorporação de RCC em *pavers* de concreto, tema ainda pouco abordado na literatura. Assim, ao conduzir uma revisão bibliográfica, este trabalho busca selecionar, analisar e sintetizar as informações mais relevantes, com o objetivo de consolidar um entendimento técnico aprofundado e específico sobre essa aplicação.

De acordo com Goldenberg (2004), a abordagem qualitativa permite observar e descrever de forma detalhada o objeto de estudo, para compreendê-lo em seus próprios termos. Este trabalho se classifica como qualitativo, pois propõe uma análise crítica e aprofundada dos estudos existentes sobre o uso de RCC em blocos de intertravado de concreto. Através dessa abordagem, é possível identificar semelhanças e diferenças entre os resultados encontrados, proporcionando uma compreensão mais ampla das práticas e os efeitos associados à utilização desses resíduos nos *pavers*.

Adotou-se uma abordagem exploratória e qualitativa para investigar a viabilidade da

incorporação dos RCC em *pavers* de concreto, levantando informações e mapeando as condições relatadas nos estudos revisados. A partir da análise crítica dos resultados obtidos por outros pesquisadores, busca-se compreender as características, limitações e potenciais aplicações do uso de RCC em blocos de intertravado.

A definição do tema é o primeiro passo para realização da revisão literária, sendo a incorporação de RCC em *pavers* de concreto o conteúdo estudado. Em seguida, a busca sobre o tema na literatura e o levantamento dos artigos a serem analisados dão continuidade ao desenvolvimento do trabalho. No Quadro 1 são apresentadas as informações referentes aos critérios de busca adotados para o tema proposto.

Quadro 1 – Informações gerais da pesquisa

Critério	Descrição
Área de busca	Engenharia civil e materiais de construção civil
Plataforma de busca	<i>Science Direct</i>
Tipo de resíduo	Resíduo da Construção Civil (RCC)
Produto final	<i>Paver</i> de concreto
Palavras-chave	<i>Construction waste, concrete paver blocks, concrete pavements, interlocking concrete block paver</i>
Tipo de incorporação	Substituição
Intervalo temporal	2000-2024 (24 anos)

Fonte: Autor (2024)

Para a seleção dos estudos utilizados, foi realizada uma busca sistemática na plataforma *Science Direct*, uma base de dados reconhecida pela abrangência e relevância de publicações científicas. A revisão de literatura inicial revelou uma abundância de artigos sobre concreto em geral, com diferentes tipos de resíduos incorporados. No entanto, como forma de restringir a pesquisa ao uso de resíduos provenientes da construção civil para fabricação de *pavers* de concreto, foram adotados os critérios apresentados na Quadro 1.

A estratégia de busca envolveu a utilização de palavras-chave como “*Construction waste*”, “*concrete paver blocks*”, “*concrete pavements*”, “*interlocking concrete block paver*” com o intuito de localizar artigos que abordassem a incorporação de RCC em *pavers* de concreto. O tipo de incorporação adotado na pesquisa foi de substituição dos agregados naturais por agregados reciclados. Já o intervalo temporal foi adotado para abranger uma maior quantidade de estudos sobre o tema, sendo considerados os últimos 24 anos (2000-2024). Além disso, foram adotados também como critérios de inclusão os artigos publicados em periódicos com classificação Qualis A.

O processo de seleção seguiu etapas de leitura dos títulos, palavras-chave, resumos, e

posteriormente do texto completo, para garantir que os estudos atendessem aos critérios estabelecidos. Na pesquisa inicial da plataforma foram encontrados um total de 5.150 artigos, porém com a aplicação de critérios específicos de busca voltados para esse tema, foram selecionados 9 artigos de Qualis A, sendo 2 Qualis A3 e 7 Qualis A1.

Após a seleção dos artigos, foi realizada uma leitura minuciosa e detalhada de cada periódico. Posteriormente, foram apresentados e descritos os resultados encontrados pelos autores. Em seguida, procedeu-se a uma análise comparativa, evidenciando as semelhanças e diferenças entre os dados apresentados. Essa comparação permitiu interpretar os resultados e, assim, sintetizar o comportamento das propriedades do *paver* de concreto quando incorporado com RCC.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo, são descritas as informações gerais dos artigos selecionados, como também, são apresentados a origem dos resíduos, os ensaios de caracterização realizados e as taxas de substituição adotadas. Em sequência, são observados os materiais e os traços escolhidos para fabricação dos *pavers* de concreto, bem como os ensaios realizados no produto final e seus resultados encontrados. Por conseguinte, são discutidas as semelhanças e diferenças entre os dados obtidos dos ensaios realizados.

3.1 Informações gerais

Os artigos selecionados para essa revisão literária são apresentados no Quadro 2, que contém o autor, o ano de publicação e o local de desenvolvimento do trabalho realizado.

Quadro 2 – Informações gerais dos periódicos

Referências	Local de desenvolvimento
Attri <i>et al.</i> (2022)	Índia
Bins <i>et al.</i> (2022)	Brasil
Farooq <i>et al.</i> (2023)	Paquistão
Pederneiras <i>et al.</i> (2020)	Brasil
Poon <i>et al.</i> (2002)	China
Poon e Chan (2006)	China
Rodríguez <i>et al.</i> (2016)	Espanha
Soutsos <i>et al.</i> (2011)	Reino Unido
Valdés <i>et al.</i> (2018)	Espanha

Fonte: Autor (2024)

Ao observar o Quadro 2, é possível perceber uma tendência de aumento nas publicações sobre *pavers* de concreto com materiais reciclados. Entre 2000 e 2009, foram identificados 2 estudos, seguido por 3 publicações no período de 2010 a 2019. No intervalo entre 2020 e 2024, já foram publicados 4 artigos, sugerindo que o interesse por alternativas sustentáveis na construção civil vem crescendo de forma progressiva ao longo das últimas décadas.

De acordo com o Quadro 2, pode-se desprender que o Paquistão foi o país que apresentou o estudo mais atual sobre o tema proposto, seguido do Brasil que apresenta dois artigos atuais, no qual isso se deve ao fato do crescimento da construção civil e consequentemente a maior extração de recursos naturais.

Além disso, a Índia e China se destacam nos estudos sobre a incorporação de resíduos na produção de materiais de construção. Por serem altamente populosos e com apresentarem uma urbanização crescente, buscam alternativas sustentáveis como a reutilização dos RCC para mitigar os impactos ambientais e atender a demanda por infraestrutura.

A Espanha e Reino Unido por serem países menores, apresentam menos áreas extrativas, o que agrava a necessidade de reaproveitamento dos resíduos. Dessa forma, a limitação territorial faz com que aumente a busca por soluções mais sustentáveis.

3.2 Características dos RCC

As informações relacionadas à origem dos resíduos utilizados nos estudos analisados, bem como as taxas de substituição aplicadas para os agregados reciclados, são fundamentais para avaliar a viabilidade do uso dos resíduos na fabricação de *pavers* de concreto. Dessa forma, o Quadro 3, apresentado a seguir, reúne essas informações gerais sobre os RCC incorporados.

Quadro 3 - Informações gerais dos RCC

Referências	Origem do resíduo	Agregado substituído	Taxa de substituição
Attri <i>et al.</i> (2022)	Areia, alvenaria, cascalho, concreto e solos	Agregado graúdo	0%, 15%, 30%, 45%, 60% e 75%
Bins <i>et al.</i> (2022)	Argamassa, concreto, componentes cerâmicos e solos	Agregado miúdo	0%, 25%, 50% e 100%
Farooq <i>et al.</i> (2023)	Corpos de prova de concreto	Agregado miúdo e graúdo	100%
Pederneiras <i>et al.</i> (2020)	Argamassa, concreto e componentes cerâmicos	Agregado miúdo e graúdo	100%
Poon <i>et al.</i> (2002)	Concreto, tijolos de argila, pedras naturais e outras impurezas	Agregado miúdo e graúdo	50% e 100%
Poon e Chan (2006)	Argamassa, concreto, tijolos de argila e outras impurezas	Agregado miúdo e graúdo	100%
Rodríguez <i>et al.</i> (2016)	Concreto, componentes cerâmicos, solos e outras impurezas	Agregado graúdo	25%, 50%, 75% e 100%
Soutsos <i>et al.</i> (2011)	Alvenaria e concreto	Agregado miúdo e graúdo	25%, 50%, 60%, 75% e 100%
Valdés <i>et al.</i> (2018)	Argamassa, agregados naturais não ligados, concreto, componentes cerâmicos e outras impurezas	Agregado graúdo	50%

Fonte: Autor (2024)

De acordo com o Quadro 3, ao observar que o concreto está presente na origem dos RCC em todos os periódicos analisados, é possível inferir a importância desse material na indústria da construção civil, e a quantidade e qualidade de resíduo que ele gera.

Com exceção de Farooq *et al.* (2023), os resíduos derivados da alvenaria e dos componentes cerâmicos se fazem presentes na maioria dos artigos. Segundo Poon e Chan (2005), a alta quantidade de argamassa aderida à partícula de tijolo de argila britada levou a uma diminuição na densidade de partículas e a um aumento no valor de absorção de água.

Dessa forma, os estudos de Farooq *et al.* (2023), Pederneiras *et al.* (2020) e Soutsos *et al.* (2011) se destacam por utilizarem apenas concreto, argamassa e componentes cerâmicos como materiais reciclados. No entanto, outros trabalhos, como os de Attri *et al.* (2022), Bins *et al.* (2022), Rodríguez *et al.* (2016) e Valdés *et al.* (2018) ampliam o uso dos RCC de Classe A ao incorporar os solos e agregados naturais não ligados (agregados naturais sem argamassa de cimento aderida) em sua composição de agregados reciclados.

Entretanto, alguns estudos apontam que, além dos resíduos de Classe A, pequenas quantidades de impurezas estão presentes na origem nos agregados reciclados, o que pode interferir na qualidade dos *pavers* produzidos. Poon *et al.* (2002) e Poon e Chan (2006) identificaram impurezas como azulejo, madeira, poeira e metais em seus trabalhos, enquanto Rodríguez *et al.* (2016) e Valdés *et al.* (2018) apresentaram além dessas, vidro e gesso. Esses materiais podem comprometer as propriedades mecânicas e a durabilidade dos *pavers*,

apresentando assim resultados desfavoráveis.

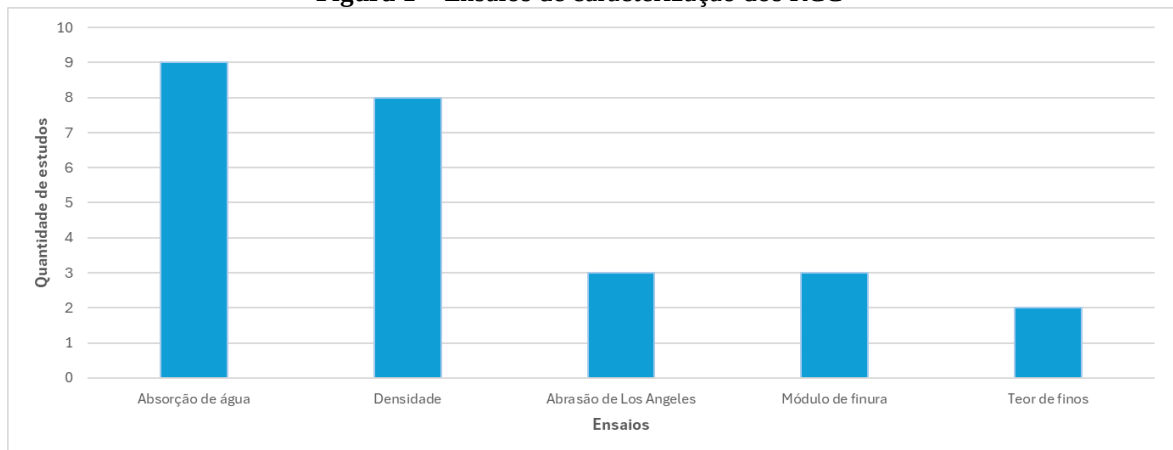
Attri *et al.* (2022), Rodríguez *et al.* (2016) e Valdés *et al.* (2018) realizaram a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado reciclado em suas pesquisas, sendo que apenas Rodríguez *et al.* (2016) aplicaram uma taxa de substituição total de 100%. Por outro lado, Bins *et al.* (2022) foi o único a substituir exclusivamente o agregado miúdo. Isso deve ao fato de que o uso desse agregado tende a aumentar a absorção de água do concreto reciclado afetando suas propriedades mais significativamente do que a substituição do agregado graúdo. Os demais autores utilizam da substituição de agregados miúdos e graúdos.

Pederneiras *et al.* (2020) realizaram a substituição de 100% dos agregados miúdos e graúdos por agregados reciclados, analisando-os em três condições: seco, lavado e saturado, com o objetivo de verificar a influência de sua condição nas propriedades dos blocos de concreto produzidos. Na condição seca, esses agregados foram utilizados diretamente após a produção. Na condição lavada, houve a remoção do material pulverulento dos agregados que foram posteriormente secos antes de serem adicionados à mistura. Por fim, na condição saturada, apenas os agregados graúdos reciclados foram imersos em água por 24 horas antes de serem misturados, uma vez que os agregados miúdos reciclados não apresentaram consistência necessária.

Poon *et al.* (2002) definiram dois tipos de agregados reciclados. O primeiro consistia predominantemente com entulho de concreto antigo, com a presença de pequenas quantidades de pedras naturais, tijolos de argila e outras impurezas, como pequenos pedaços de madeira, tijolos, telhas e metais. O segundo tipo era composto apenas de concreto reciclado. Em ambos os casos, foram aplicadas taxas de substituição de agregados naturais por reciclados de 50% e 100%.

Poon e Chan (2006) utilizaram exclusivamente agregados reciclados, com uma substituição de 100% de agregados miúdos e graúdos. Entretanto, dois tipos de agregados reciclados foram empregados: agregado de concreto reciclado e agregado de tijolo de argila britada. Nesse estudo, uma parte do agregado de concreto reciclado foi substituída por tijolo de argila triturado na produção dos blocos de pavimentação, com taxas de substituição de 25%, 50% e 75%. Em contraste, Soutsos *et al.* (2011) utilizaram os mesmos agregados reciclados, no entanto, as substituições foram realizadas separadamente. Para cada taxa de substituição, foram feitas duas misturas: uma com o agregado de concreto reciclado e outra com o agregado de alvenaria reciclada.

Conforme ilustrado na Figura 1, são apresentados os ensaios mais recorrentes de caracterização dos resíduos de construção civil utilizados nos estudos analisados.

Figura 1 – Ensaios de caracterização dos RCC

Fonte: Autor (2024)

A Figura 1 evidencia que os ensaios de caracterização mais recorrentes para os RCC são os de absorção de água, densidade, abrasão de Los Angeles, módulo de finura e teor de finos. No entanto, também foram identificados outros ensaios nos estudos revisados, porém com menor frequência (diâmetro máximo característico, massa específica, massa unitária, esmagamento, valor de impacto agregado, índice de descamação, teor de enxofre, sulfatos e teor de matéria orgânica).

É possível notar uma correlação direta entre a origem do resíduo e o tipo de ensaio realizado. Segundo Poon *et al.* (2002), a absorção de água do RCC é muito superior à do agregado natural, o que explica o fato de *pavers* fabricados com RCC apresentarem maior absorção de água em comparação com aqueles produzidos a partir de materiais convencionais. Além disso, os agregados reciclados possuem menor densidade, devido a sua composição heterogênea, resultado da variabilidade dos materiais presentes nos resíduos (Pederneiras *et al.*, 2020).

De acordo com Pederneiras *et al.* (2020), a resistência à abrasão de Los Angeles é um teste que avalia a qualidade dos agregados, medindo sua capacidade de resistir à fragmentação causada por choque e fricção das partículas. No caso dos agregados reciclados, a resistência não se equipara à do material original devido ao processo de britagem, que pode comprometer a integridade das partículas, resultando em fissuras internas. Bins *et al.* (2022) afirmam que o módulo de finura dos resíduos da construção civil (RCC) é superior ao dos agregados naturais, o que pode levar a uma diminuição na resistência do concreto.

Em relação ao teor de finos, Rodríguez *et al.* (2016) explicam que o concreto produzido com frações finas de RCC tende a desenvolver resistência de forma mais lenta. Isso ocorre porque esses finos podem conter partículas de cimento que não reagiram totalmente no uso anterior, o que atrasa o processo de endurecimento do novo concreto.

No entanto, alguns periódicos, como o de Rodríguez *et al.* (2016), utilizam ensaios adicionais para uma caracterização mais precisa dos resíduos, especialmente quando há impurezas, como por exemplo, madeira, vidro e gesso. Nessas situações, é recomendável acrescentar ensaios para avaliar o teor de enxofre, sulfatos e teor de matéria orgânica. É importante destacar também, que a presença de enxofre no agregado reciclado causa perda gradual da resistência mecânica.

3.3 Características dos *pavers* de concreto

São apresentados no Quadro 4 os materiais utilizados na fabricação dos *pavers*, suas respectivas proporções e os ensaios aos quais foram submetidos, conforme descritos em cada periódico analisado.

Quadro 4 - Informações gerais dos *pavers* de concreto

Referências	Traço	Materiais do traço	Resíduo incorporado
Attri <i>et al.</i> (2022)	1:2,63:1,79	Cimento Portland Comum, areia de rio e brita	Agregado reciclado graúdo
Bins <i>et al.</i> (2022)	1:3:2	Cimento Portland CPII-E, areia média e brita 0	Agregado reciclado miúdo
Farooq <i>et al.</i> (2023)	60%F e 40%C, 50%F e 50%C, 40%F e 60%C, onde F é agregado miúdo e C agregado graúdo	Cimento Portland Comum, agregado reciclado miúdo e graúdo	Agregado de concreto reciclado miúdo e graúdo
Pederneiras <i>et al.</i> (2020)	1:8,6:2,2	Cimento Portland CPII-Z-RS, areia e brita	Agregado reciclado miúdo e graúdo
Poon <i>et al.</i> (2002)	1:2,03:2,49	Cimento Portland Comum, areia de rio e granito triturado	Agregado reciclado miúdo e graúdo
Poon e Chan (2006)	1:3,6:1,2	Cimento Portland Comum, agregado reciclado miúdo e graúdo	Agregado de concreto reciclado (miúdo e graúdo) e agregado de tijolo de argila triturado (miúdo e graúdo)
Rodríguez <i>et al.</i> (2016)	360kg/m ³ de cimento, 33% de agregado miúdo e 67% de agregado graúdo (% referentes ao agregado total)	Cimento Portland Comum (CEM I 42.5 R), areia e brita	Agregado reciclado graúdo
Soutsos <i>et al.</i> (2011)	1:4:1	Cimento Portland Comum (CEM I 42.5 R), areia e brita	Agregado reciclado de concreto (miúdo e graúdo) e agregado reciclado de alvenaria (miúdo e graúdo)
Valdés <i>et al.</i> (2018)	1:1,72:2,06	Cimento Portland CEM III/A 42.5 N/SR, areia e brita	Agregado reciclado graúdo

Fonte: Autor (2024)

Pode-se observar que a maioria dos autores utilizou o Cimento Portland Comum, conforme

a norma britânica British Standard (BS) 12, cuja composição é de 95% de clínquer e 5% de outros constituintes adicionais minoritários. Bins *et al.* (2022) e Pederneiras *et al.* (2020) optaram pelo uso do cimento CII. Já Valdés *et al.* (2018) utilizaram o cimento Portland CEM III/A 42.5 N/SR, conhecido por sua resistência a sulfatos, sendo particularmente adequado para fabricação de concreto reciclado.

Além dos aglomerantes, agregados e água, alguns autores optaram pela utilização de aditivo na composição do traço dos *pavers*. Attri *et al.* (2022) escolheram o superplastificante fabricado pela *Sky-8777 BSF*, utilizado para garantir a trabalhabilidade necessária e reduzir o teor de água, visto que o excesso de água pode comprometer as propriedades mecânicas dos *pavers*. Farooq *et al.* (2023) utilizaram o aditivo de concreto *Chemrite-SP-303*, também um superplastificante, com o objetivo de melhorar a consistência e à retração por secagem do agregado de concreto reciclado.

Pederneiras *et al.* (2020) optaram pelo uso do aditivo *SikaPaver HC-10*, um melhorador de compactação, desenvolvido para concreto semiseco. Por sua vez, Soutsos *et al.* (2011), usaram um plastificante com o propósito de aumentar a densidade dos blocos de pavimentação.

Attri *et al.* (2022) e Bins *et al.* (2022) apresentam traços de concreto bem próximos, sendo ele 1:3:2, porém com diferenciação do tipo de cimento e o tipo de agregado reciclado utilizado. Bins *et al.* (2022) também utilizaram quatro tipos de dosagens, ligadas a taxa de substituição dos agregados miúdos, e é possível observar que a relação água/cimento aumenta a partir do aumento da taxa de substituição, e efeito ocorre nos demais estudos também isso se deve ao fato de que os agregados reciclados absorvem mais água que agregados naturais.

Segundo Soutsos *et al.* (2011), os blocos de pavimentação de concreto, diferentemente de blocos de construção de concreto, usam uma proporção de agregado fino/grosso muito maior. Dessa forma, um traço de concreto de 1:4:1, comparado ao traço de concreto 1:1:1 para blocos de construção, é usado para obter um melhor acabamento de superfície.

Poon *et al.* (2002) e Valdés *et al.* (2018) se diferenciaram dos demais por utilizarem em seus traços de concreto uma proporção maior de agregados graúdos em relação aos miúdos. Poon *et al.* (2002) utilizaram de agregado reciclado combinado contendo 45% de agregado miúdo e 55% de agregado graúdo, realizando cinco dosagens: uma de controle e duas dosagens (50% e 100%) para cada tipo de agregado reciclado coletado.

Por sua vez, Poon e Chan (2005), adotaram uma proporção de 25% de agregado graúdo para 75% de agregado miúdo, empregando um traço de concreto de 1:4,8 (cimento/agregados). Além disso, foram feitas quatro misturas, nas quais o agregado de concreto reciclado, tanto miúdo quanto graúdo, foi substituído por agregado de tijolo de argila britado.

Pederneiras *et al.* (2020) se diferencia dos demais por utilizar uma maior quantidade de agregado miúdo no traço de concreto, o que aumenta o teor de materiais pulverulentos. Essa característica pode impactar a quantidade de água de amassamento necessária, resultando em uma possível redução da resistência mecânica do concreto produzido. Para mitigar esse efeito, a lavagem dos agregados reciclados foi adotada como técnica para remover o material pulverulento dos agregados reciclados. A redução das partículas muito finas diminui a relação água/cimento, o que pode influenciar positivamente na trabalhabilidade e melhorar as propriedades do concreto endurecido.

Além disso, o estudo utilizou o agregado reciclado em três condições: seco, lavado e saturado. Para cada condição, foi necessário fazer uma mistura específica, começando pela substituição do agregado natural graúdo em cada uma dessas condições. Posteriormente, a mesma substituição foi aplicada para o agregado natural miúdo, com exceção da condição saturada.

Os estudos de Farooq *et al.* (2023) e Rodríguez *et al.* (2016) não forneceram informações sobre as quantidades de agregados ou traço de concreto utilizado, o que dificultou a análise mais detalhada. Essa ausência de dados impede a comparação direta com os outros estudos, uma vez que não é possível determinar a quantidade de material empregado na produção do *paver* de concreto. No entanto, ambos os estudos se destacam pelo uso de agregados 100% reciclados em suas composições, o que é um ponto relevante para o tema.

Farooq *et al.* (2023) exploram diferentes proporções de cimento em suas misturas, com percentuais de 15%, 20%, 25% e 30%, em relação ao peso total dos agregados, buscando determinar a quantidade mínima necessária para garantir um bom desempenho do *paver*. Além disso, ele utiliza a Técnica de Fundição por Compressão (*Compression Casting Technique* (CCT)), na qual a mistura de concreto é colocada em um molde e, em seguida, submetida à compressão, desse modo, as propriedades mecânicas e de durabilidade são melhoradas, pois ajuda a reduzir a porosidade e aumentar a densidade do bloco de concreto.

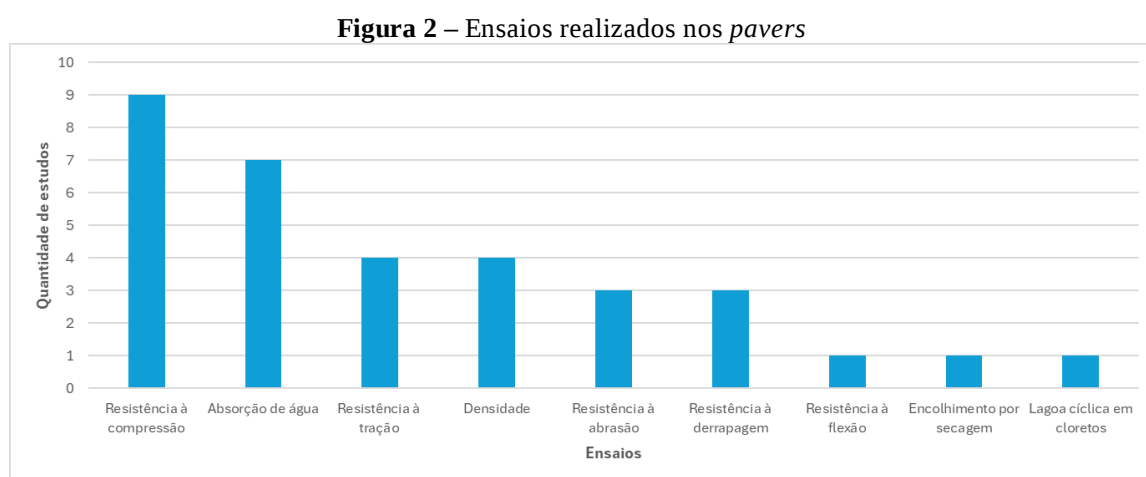
Bins *et al.* (2022), Rodríguez *et al.* (2016) e Soutsos *et al.* (2011) utilizaram a técnica de vibrocompressão, outro tipo de método de compactação, onde a mistura de concreto é submetida a vibração e compressão simultaneamente. Esse processo tem como finalidade reduzir os vazios entre agregados no concreto seco, resultando em blocos mais densos e resistentes. Diferentemente do concreto plástico que utiliza a pasta de cimento mais água para ocupar os vazios entre os agregados.

Segundo Bins *et al.* (2022), a dosagem de concreto para uma prensa pode não ser adequada para outra, pois a força de vibração e a de compactação para confecção das peças são diferentes

entre os equipamentos de vibrocompressão. Assim, é necessário ajustar a dosagem para cada tipo de prensa, a fim de eliminar os vazios existentes. Dessa forma, nos estudos de Bins *et al.* (2022), foi utilizada uma vibroprensa pneumática que combina alta vibração na horizontal e compactação pneumática. Por sua vez, Soutsos *et al.* (2011) utilizaram inicialmente um martelo elétrico à compressão, porém os resultados não foram satisfatórios. Para alcançar uma compactação adequada, fez-se necessário aplicar a vibração simultaneamente através de uma mesa vibratória, sobre a qual o *paver* foi apoiado durante o processo.

Poon *et al.* (2002), Poon e Chan (2006) e Attri *et al.* (2022) apresentaram casos particulares na incorporação de RCC em *pavers* de concreto, cada um adotando abordagens específicas quanto aos materiais utilizados. No estudo de Poon *et al.* (2002) e Poon e Chan (2006) foram analisadas duas séries de misturas. A primeira série foi preparada utilizando agregados miúdos e graúdos, cimento e água, enquanto a segunda incluiu um resíduo adicional, as cinzas volantes, um resíduo industrial. De maneira semelhante, Attri *et al.* (2022) estudaram três séries de misturas, incorporando resíduos como o pó de pedra britada e o pó de sílica, além dos RCC. No entanto, para manter o foco deste estudo na utilização exclusiva de RCC, as séries que envolvem cinzas volantes e resíduos diferentes dos RCC terão suas análises descartadas.

A seguir, é ilustrado na Figura 2 a frequência com que os diferentes ensaios foram realizados nos estudos revisados.



Fonte: Autor (2024)

É evidenciado na Figura 2 que o ensaio de resistência à compressão dos *pavers* é realizado em todos os periódicos. A absorção de água foi avaliada por Attri *et al.* (2022), Bins *et al.* (2022), Farooq *et al.* (2023), Pederneiras *et al.* (2020), Poon e Chan (2005), Rodríguez *et al.* (2016) e Soutsos *et al.* (2011). Por sua vez, o ensaio de resistência a tração foi realizado por

Poon *et al.* (2002), Poon e Chan (2005), e Soutsos *et al.* (2011) e Valdés *et al.* (2018). Já a resistência a flexão foi somente avaliada por Farooq *et al.* (2023).

Como os blocos de pavimentação são usados para trafegar, alguns periódicos realizaram ensaios de resistência à derrapagem como Poon *et al.* (2002), Poon e Chan (2006) e Rodríguez *et al.* (2016). A resistência à abrasão foi estudada por Attri *et al.* (2022), Poon e Chan (2006) e Rodríguez *et al.* (2016). Além do estudo sobre a densidade do *paver* de concreto com Poon *et al.* (2002), Poon e Chan (2005), Rodríguez *et al.* (2016) e Valdés *et al.* (2018).

Farooq *et al.* (2023) apresentaram ensaios exclusivos como encolhimento por secagem e lagoa cíclica em solução salina de cloreto de sódio.

3.4 Análise dos resultados dos ensaios nos *pavers* de concreto

Neste capítulo, são apresentados os ensaios abordados nos estudos analisados, que incluem resistência à compressão, absorção de água, resistência à tração, resistência à derrapagem, resistência à abrasão, densidade, encolhimento por secagem e exposição a ciclos de cloretos. A seleção desses ensaios fundamenta-se tanto na relevância das propriedades avaliadas para o desempenho dos *pavers* quanto na frequência com que esses ensaios aparecem na literatura sobre o tema.

Em seguida, são discutidos os resultados dos ensaios realizados em cada estudo, considerando a melhor porcentagem de substituição de agregados determinada por cada pesquisa, que atendem ou se aproximam dos limites estabelecidos pelas normas adotadas. Entre parênteses são indicadas as variações em relação aos traços de controle, utilizados como referência nos respectivos trabalhos. Além disso, é informada a idade dos corpos de prova quando esses resultados foram obtidos.

Os resultados obtidos para a resistência à compressão dos *pavers* de concreto fabricados com RCC em diferentes estudos são apresentados no Quadro 5. Esses resultados permitem uma análise comparativa entre as diversas taxas de substituição e condições experimentais adotadas nos trabalhos revisados.

Quadro 5 – Ensaio de resistência à compressão

Referências	Melhor %	Idade	Resultado
Attri <i>et al.</i> (2022)	45%	28 dias	47,3 MPa (-17%)
Bins <i>et al.</i> (2022)	25%	28 dias	26,97 MPa (-29,30%)
Farooq <i>et al.</i> (2023)	100% (60F40C)	28 dias	55,90 MPa (-3,78%)
Pederneiras <i>et al.</i> (2020)	100% (Miúdo)	365 dias	27,15 MPa (-8%)
Poon <i>et al.</i> (2002)	100%	28 dias	51,2 MPa (-12,62%)
Poon e Chan (2006)	100% (25% Tijolo)	28 dias	39,6 MPa (-36,74%)
Rodríguez <i>et al.</i> (2016)	25%	28 dias	4,1 MPa (+1,42%)
Soutsos <i>et al.</i> (2011)	60% (Gráudo)	28 dias	52,5 MPa (-15,25%)
Valdés <i>et al.</i> (2018)	50%	28 dias	29,7 MPa (-25,47%)

Fonte: Autor (2024)

Attri *et al.* (2022), Farooq *et al.* (2023), Poon *et al.* (2002) e Poon e Chan (2006) relataram resultados de resistência à compressão superiores aos limites estabelecidos pelas normas aplicáveis. Attri *et al.* (2022) observaram que, embora as propriedades mecânicas tenham se degradado com a incorporação do RCC, a substituição de 45% agregado gráudo natural para o agregado reciclado foi considerada ideal para *pavers* de concreto, resultando em uma resistência à compressão de 47,3MPa. Esse valor excede o limite mínimo estabelecido pela norma indiana para tráfego de intensidade média.

Por sua vez, Farooq *et al.* (2023) utilizaram uma mistura contendo 100% de agregados reciclados de concreto, com uma proporção de 60% agregados miúdos e 40% de gráudos (60F40C). Com uma pressão de compactação de 20 MPa e 20% de cimento em relação a massa dos agregados totais, dessa forma, o *paver* apresentou uma resistência a compressão superior a 55MPa, atendendo aos requisitos estabelecidos pela maioria das normas internacionais. A resistência foi significativamente melhorada pelo emprego da Técnica de Fundição por compressão (*Compression Casting Technique - CCT*).

Soutsos *et al.* (2011), assim como Farooq *et al.* (2023), obtiveram um dos melhores resultados ao substituir 60% do agregado gráudo por reciclado. Vários testes variando com diferentes dosagens de cimento, sendo o melhor resultado alcançado com 380 kg/m³ de cimento. Este estudo destaca a importância de otimizar a dosagem de cimento para maximizar a resistência à compressão em *pavers* de concreto incorporados com RCC.

Poon e Chan (2006) obtiveram um resultado inferior quando comparado a Poon *et al.* (2002), pois a incorporação do tijolo de argila triturado reduziu significativamente a resistência à compressão, sendo 37% de redução com substituição de 25% do agregado de concreto reciclado pelo agregado de tijolo britado. Entretanto, o *paver* produzido ainda atingiu uma resistência à compressão de 39,6MPa, valor superior ao limite de 30 MPa exigido pela norma chinesa para

pavimentos destinados ao tráfego de pedestres.

Bins *et al.* (2022) e Pederneiras *et al.* (2020) não atingiram os limites de resistência à compressão estabelecidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013), ao realizar a substituição do agregado miúdo por reciclado. No entanto, os blocos produzidos com agregados reciclados podem ser usados para estradas de baixa carga, como calçadas, jardins e ruas (Pederneiras *et al.*, 2020). Notou-se que a incorporação de finos apresentou uma leve melhora na resistência mecânica, comparada com a substituição de agregado graúdo, pois o preenchimento de vazios pelas partículas muito finas, aumenta a compactação do concreto. Porém, a menor resistência dos agregados reciclados em comparação aos naturais pode ser atribuída à relação água/cimento, à maior absorção de água e à menor densidade e resistência dos agregados reciclados (Pederneiras *et al.*, 2020).

Rodríguez *et al.* (2016) determinaram que a substituição de 25% do agregado graúdo natural por agregado reciclado é a porcentagem ideal. Embora a resistência à compressão tenha sido de apenas 4,1 MPa, esse valor ainda atende ao mínimo exigido pela norma europeia para blocos de pavimentação. A baixa resistência pode ser atribuída à alta quantidade de agregados não ligantes no RCC utilizado (74,3%), além de asfalto (4,9%) e gesso (2,2%), com apenas 11,8% de concreto e 5,6% de componentes de alvenaria, indicando que o RCC utilizado contém materiais fora da Classe A, além da proporção de agregado graúdo ser muito superior a de agregado miúdo (67% graúdo e 33% miúdo), diferente do que é observado nos outros trabalhos.

Entretanto, Valdés *et al.* (2018) também utilizou esses agregados mistos reciclados e o concreto reciclado apresentou uma resistência à compressão de 29,70 MPa aos 28 dias de cura. Isso pode ser devido ao traço utilizado, já que Rodríguez *et al.* (2016) não o apresenta, como também as proporções diferentes da origem dos RCC, com maior quantidade de concreto, argamassas e alvenaria e menores quantidades de agregados não ligantes.

Os estudos demonstram que a resistência à compressão de *pavers* com RCC pode ser otimizada com o uso de aditivos superplastificantes e melhoradores de resistência, como observado por Attri *et al.* (2022), Farooq *et al.* (2023), Pederneiras *et al.* (2020) e Soutsos *et al.* (2011). Além disso, técnicas de compactação foram cruciais para aumentar a densidade e reduzir a porosidade dos blocos, resultando nas maiores resistências à compressão entre as pesquisas analisadas.

No entanto, trabalhos como os de Poon *et al.* (2002), Poon e Chan (2006) e Valdés *et al.* (2018) também alcançaram resultados satisfatórios sem o uso de aditivos ou compactação, com proporções de agregados reduzidas em relação ao cimento, no qual Valdés *et al.* (2018) utilizaram cimento com classe de resistência de 42,5 MPa. Mesmo com a substituição total ou

parcial dos agregados naturais por reciclados, é possível perceber que esses *pavers* obtiveram bom desempenho em relação a resistência à compressão.

A absorção de água é um fator crítico que afeta a durabilidade dos *pavers* de concreto, especialmente os que utilizam agregados reciclados. No Quadro 6, são apresentados os resultados dos ensaios de absorção de água dos *pavers* de concreto.

Quadro 6 – Ensaio de absorção de água

Referências	Melhor %	Idade	Resultado
Attri <i>et al.</i> (2022)	45%	28 dias	4,2% (+35,48%)
Bins <i>et al.</i> (2022)	25%	28 dias	6,14% (+2,33%)
Farooq <i>et al.</i> (2023)	100% (60F40C)	28 dias	5,3% (+13,5%)
Pederneiras <i>et al.</i> (2020)	100% (Miúdo)	365 dias	2% (0%)
Poon e Chan (2006)	100% (25% Tijolo)	28 dias	11% (+56%)
Rodríguez <i>et al.</i> (2016)	25%	28 dias	5,3% (+10%)
Soutsos <i>et al.</i> (2011)	60% (Gráudo)	28 dias	6,2% (-29,16%)

Fonte: Autor (2024)

Attri *et al.* (2022), Bins *et al.* (2022), Farooq *et al.* (2023), Pederneiras *et al.* (2020), Rodríguez *et al.* (2016) e Soutsos *et al.* (2011) relataram resultados satisfatórios quanto à absorção de água do *paver* de concreto incorporado com RCC. No entanto, foi observado que, quanto maior a quantidade de RCC utilizada nos *pavers* de concreto, maior absorção de água.

Segundo Attri *et al.* (2022) e Farooq *et al.* (2023), a redução nas propriedades mecânicas dos blocos de pavimentação pode ser devido à maior absorção de água de agregados reciclados devido à argamassa aderida. A argamassa porosa aderida puxa a água da nova zona de transição interfacial, que é a região entre a superfície dos agregados e a pasta de cimento no concreto, deixando microporos nesta área, o que enfraquece a ligação entre diferentes partículas de agregados.

Pederneiras *et al.* (2020) apresentam que em 28 dias os blocos de concreto produzidos com agregado reciclado lavado atenderam aos requisitos da norma. O procedimento de lavagem dos agregados reciclados foi essencial para reduzir a quantidade de argamassa aderida e, consequentemente, diminuir a porosidade dos agregados. Soutsos *et al.* (2011) também apontam que a substituição por agregado reciclado fino apresenta mais desafios em comparação ao agregado gráudo. O estudo sugere que embora a substituição de 60% de agregado reciclado seja viável com base na resistência, nesse caso essa proporção pode ter que ser reduzida conservadoramente para até 25% para que os blocos cumpram o requisito de menos de 6% de absorção de água.

A análise dos estudos revela que a absorção de água em *pavers* de concreto incorporados

com RCC é um fator crítico que impacta suas propriedades mecânicas. A presença de argamassa aderida, que aumenta a porosidade dos agregados reciclados, compromete a ligação entre as partículas, resultando em um material mais frágil. Dessa forma, procedimentos como a lavagem dos agregados, podem minimizar essa absorção e garantir que os *pavers* atendam aos requisitos normativos.

A resistência à tração é essencial para avaliar a durabilidade dos *pavers* de concreto, especialmente sob condições de carga. e a utilização dos RCC influenciam essa propriedade mecânica. Os resultados referentes à resistência à tração são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Ensaio de resistência à tração

Referências	Melhor %	Idade	Resultado
Poon <i>et al.</i> (2002)	100% (TKOF)	28 dias	3,81 MPa (+15%)
Poon e Chan (2006)	100% (25% Tijolo)	28 dias	8,2kN (-36,74%)
Soutsos <i>et al.</i> (2011)	60% (Gráudo)	28 dias	4,05 MPa (-12%)
Valdés <i>et al.</i> (2018)	50%	28 dias	3,9 MPa (-7,6%)

Fonte: Autor (2024)

Poon *et al.* (2002) relataram que a resistência à tração aumentou conforme a porcentagem de agregados reciclados utilizados na mistura de concreto foi incrementada. No entanto, Poon e Chan (2006) observaram que a incorporação de tijolos de argila britada ao *paver* de concreto resultou em uma redução significativa na resistência à tração.

Além disso, Poon e Chan (2006) constataram que a resistência à tração tende a melhorar com o aumento da resistência à compressão. Vale destacar que essa resistência à tração foi medida em kN, seguindo a norma chinesa para fabricação de blocos de pavimentação destinados ao tráfego de pedestres. Soutsos *et al.* (2011) e Valdés *et al.* (2018) também relataram resultados satisfatórios em 28 dias, quanto à resistência à tração, com a substituição de 50% ou mais de agregados graúdos por reciclados. Assim, conclui-se que o potencial dos RCC na resistência à tração depende não apenas da taxa de substituição em si, mas também do controle da qualidade e dos materiais reciclados.

A resistência à derrapagem é um parâmetro importante para garantir a segurança em pavimentos de concreto. Os resultados dos testes de resistência à derrapagem estão apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 – Ensaio de resistência à derrapagem

Referências	Melhor %	Idade	Resultado
Poon <i>et al.</i> (2002)	100% (TKOF)	28 dias	108 BPN (+10,20%)
Poon e Chan (2006)	100% (25% Tijolo)	28 dias	112 BPN (+1,8%)
Rodríguez <i>et al.</i> (2016)	25%	28 dias	95 BPN (+4,39%)

Fonte: Autor (2024)

Poon *et al.* (2002), Poon e Chan (2006) e Rodríguez *et al.* (2016) relataram que a resistência à derrapagem ou deslizamento de *pavers* incorporados com RCC não apresentaram diferenças significativas em relação aos *pavers* de concreto de referência. No entanto, foi observado que os blocos intertravados com agregados reciclados demonstraram maior resistência à derrapagem do que aqueles preparados com agregados naturais. Esse aumento na resistência ao deslizamento pode ser atribuído à textura e à rugosidade proporcionadas pelos agregados reciclados, que contribuem para uma melhor aderência ao solo.

A resistência à abrasão é um indicador fundamental da durabilidade dos *pavers* de concreto, no qual a análise deste parâmetro permite uma melhor compreensão do desempenho dos materiais em condições de uso. Os resultados obtidos nesse ensaio estão apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Ensaio de resistência à abrasão

Referências	Melhor %	Idade	Resultado
Attri <i>et al.</i> (2022)	45%	28 dias	1,18mm (+20,4%)
Poon e Chan (2006)	100% (25% Tijolo)	28 dias	19,51mm (+11,76%)
Rodríguez <i>et al.</i> (2016)	25%	28 dias	26mm (-10%)

Fonte: Autor (2024)

Attri *et al.* (2022) e Poon e Chan (2006) apresentaram uma maior profundidade de desgaste devido à abrasão nos *pavers* com agregado reciclado em comparação ao *paver* de controle. No entanto, essa profundidade de desgaste permaneceu abaixo do limite permitido pela norma internacional. Por outro lado, Rodríguez *et al.* (2016) observaram uma menor profundidade ao desgaste em comparação ao traço de controle para a porcentagem de 25% de substituição de agregado reciclado. Contudo, foi identificado que, à medida que a porcentagem de substituição aumenta também maior é a profundidade de desgaste por abrasão, provavelmente devido à menor resistência dos agregados reciclados em relação aos naturais.

Quanto aos ensaios relacionados a densidade dos *pavers*, Poon *et al.* (2002), Poon *et al.* (2002), Poon e Chan (2005), Rodríguez *et al.* (2016) e Valdés *et al.* (2018) relatam que quanto maior a taxa de incorporação de agregados reciclados em *pavers* de concreto, devido à presença

de argamassa aderida, partículas à base de argila e materiais flutuantes, que são responsáveis pela maior porosidade dos RCC. Essa maior porosidade resulta em um aumento na absorção de água e na formação de vazios no concreto, o que compromete a compactação e reduz a densidade dos *pavers*.

Farooq *et al.* (2023) relatam que os *pavers* feitos com agregados naturais apresentam maior resistência à flexão e maiores valores de carga de ruptura em comparação aos *pavers* fabricados com agregados reciclados. Já com relação ao ensaio de encolhimento por secagem, os blocos com agregados reciclado apresentaram maior retração do que os blocos de controle com agregados naturais, isso ocorre provavelmente devido à sua maior porosidade e capacidade de absorção de água, que resulta em um volume maior de evaporação durante a secagem, intensificando a retração.

Por fim, Farooq *et al.* (2023) também foram realizados ensaios em *pavers* expostos a ciclos de imersão solução salina, em que os corpos de prova passaram por quatro ciclos de molhamento com solução de NaCl, no qual a cada ciclo, observou-se que os poros dos blocos absorveram a solução. Como a estrutura interna dos *pavers* com agregados reciclados é mais porosa, comparados com os *pavers* de concreto com agregados naturais, os cristais de cloreto feitos por cristalização de sal ocuparam o espaço poroso dos agregados reciclados tornando sua estrutura interna mais compacta. Como resultado, ao contrário dos blocos com agregados naturais, a resistência à compressão dos blocos produzidos com RCC foi ligeiramente melhorada. No entanto, a compactação dos poros por cristais de sal pode parecer vantajosa inicialmente, mas o acúmulo de cristais ao longo do tempo pode levar à deterioração da estrutura, principalmente em ciclos de molhagem e secagem frequentes.

4 CONCLUSÕES

A construção civil possui um impacto ambiental considerável, tendo em vista o papel significativo no consumo de recursos naturais e na geração de resíduos. No Brasil, o setor enfrenta grandes desafios na gestão e no reaproveitamento adequado desses materiais. Porém, iniciativas de reciclagem como a incorporação de RCC na produção de *pavers* de concreto é uma alternativa viável para reduzir o impacto ambiental e para gerar novos produtos econômicos e sustentáveis.

Os estudos analisados apresentaram variações quanto à origem dos resíduos coletados, às taxas de substituição de agregados, aos materiais empregados nas misturas de concreto, bem como nas suas respectivas proporções. Além disso, diferiram no uso de aditivos e nos métodos

de compactação adotados. Assim, os autores revisados neste trabalho investigaram o impacto da substituição dos agregados naturais por reciclados em *pavers* de concreto, por meio de ensaios de resistência à compressão, tração, derrapagem, abrasão e absorção de água, entre outros testes de desempenho.

Foi possível concluir que a utilização de aditivos superplastificantes e melhoradores de resistência em alguns estudos demonstraram que é possível aumentar a durabilidade dos *pavers* de concreto (Attri *et al.*, 2022; Farooq *et al.*, 2023; Pederneiras *et al.*, 2020 e Soutsos *et al.*, 2011). Além disso, as técnicas de compactação foram muito relevantes, sendo um processo eficaz para aumentar a densidade dos blocos, reduzindo sua porosidade e melhorando o desempenho geral, onde os estudos que se utilizaram dessa técnica (Farooq *et al.*, 2023 e Soutsos *et al.*, 2011) obtiveram as maiores resistências à compressão entre as pesquisas analisadas nesta revisão literária.

Estudos como os de Poon *et al.* (2002), Poon e Chan (2006) e Valdés *et al.* (2018) obtiveram resultados satisfatórios na produção de *pavers* sem o uso de aditivos ou técnicas de compactação avançadas. Esses trabalhos empregaram misturas de concreto com proporções reduzidas de agregados em relação ao cimento, variando entre 3:1 e 5:1. Além dessas proporções, Valdés *et al.* (2018) utilizaram cimento com classe de resistência de 42,5MPa, considerado de alta resistência, nas dosagens de concreto. Mesmo com essas abordagens, os estudos demonstraram um bom desempenho dos *pavers*, inclusive nos casos de substituição total (100%) dos agregados naturais por reciclados, como em Poon *et al.* (2002) e Poon e Chan (2006), ou com substituição parcial de até 50%, como observado por Valdés *et al.* (2018).

Nesse contexto, a viabilidade econômica da utilização de RCC na fabricação de *pavers* surge como um importante objeto de análise. Tal viabilidade depende de uma abordagem que equilibre os benefícios ambientais com os custos envolvidos na implementação e desenvolvimento das tecnologias necessárias para uma reciclagem eficiente. Como sugestão para trabalhos futuros, é importante avaliar até que ponto a incorporação de RCC em *pavers* de concreto é sustentável economicamente, tanto com a utilização de aditivos e métodos de compactação quanto com a ausência desses recursos, sendo essencial para determinar sua aplicabilidade em larga escala e seu impacto econômico no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação—Especificação e métodos de ensaio. 2.ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 21 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland—Requisitos e métodos de ensaio. 2.ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABREMA. 2023. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. ABREMA.

AMADEI, D. I. B. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do município de Juranda**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

ATTRI, G. K. GUPTA, R. C; SHRIVASTAVA S. Sustainable precast concrete blocks incorporating recycled concrete aggregate, stone crusher, and silica Dust. **Journal of Cleaner Production** v.362, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132354>

AZEVEDO, A. M. RCC das obras públicas viram reciclagem em Caruaru. **CNB Caruaru**, Caruaru, out. 2019. Disponível em: <https://www.cbncaruaru.com/artigo/residuos-da-construcao-civil-de-obras-publicas-viram-reciclagem-em-caruaru>. Acesso em: 28 out. 2023

BARRETO, I. M. C. B. N. **Gestão de resíduos na construção civil**. Aracaju: SENAI/SE; SENAI/DN; COMPETIR; SEBRAE/CE; SINDUSCON/SE, 2005. p. 28.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de RCC. 2002. Diário Oficial da União, n. 136, de 17 de julho de 2002, p. 95-96. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305. Acesso em: 18 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 348, de 16 de agosto de 2004**. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. 2004. Diário Oficial da União, n. 158, de 17 de agosto de 2004, p.70. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=440. Acesso em: 18 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 431, de 24 de maio de 2011**. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, estabelecendo nova classificação para o gesso. 2011. Diário Oficial da União, n. 99, de 25 de maio de 2011, p. 123. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=630. Acesso em: 18 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 448, de 18 de janeiro de 2012**. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2012. Diário Oficial da União, n. 14, de 19 de janeiro de 2012. Disponível em:
https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=652.
 Acesso em: 18 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 469, de 29 de julho de 2015**. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCC. 2015. Diário Oficial da União, n. 144, de 30 de julho de 2015, p. 109-110. Disponível em:
https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=688.
 Acesso em: 18 fev. 2024.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, p. 178-189, 2015.

BINS, G. O.; ARROYO, F. N.; CHRISTOFORO, A. L.; PANZERA, T. H; LOPES SILVA, D. A. Análise de pisos intertravados com substituição do agregado miúdo por resíduo de construção e demolição. **Revista Principia** v.59, N.2, 2022. DOI:
<http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id4975>

CANUTO, G. L. **Avaliação do potencial de uso de agregados reciclados na fabricação de paver por empresas de pré-moldado na cidade de Fortaleza, Ceará**. 2022. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

CAVALCANTI, E. C. M.; AMORIM, R. P. F.; JUNIOR, G. S. A. Pavimentação intertravada: utilização de resíduos de construção e demolição para fabricação de e assentamento de *pavers*. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15., 2011, Jacareí. **Anais [...]**. Jacareí: UNIVAP, 2011. p. 6.

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

DIMITRIOU, G.; SAVVA, P.; PETROU, M. F. Enhancing mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 158, p. 228-235, 2018.

REIS FILHO, R. F. Utilização de resíduos de concreteira para a fabricação de *pavers*. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2., 2018, Goiás. **Anais [...]**. Goiás: Universidade Federal de Goiás, 2018. p. 2.

SILVA FILHO, A. I. **Incorporação de RCC na produção de concreto: revisão de literatura**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2023.

FAROOQ, M. U.; HAMEED, R.; TAHIR, M. SOHAIL, M. G.; SHAHZAD, S. Mechanical and durability performance of 100% recycled aggregate concrete *pavers* made by compression casting. **Journal of Building Engineering** v.73, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106729>

FREITAS, L. R. Reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil no Brasil. **Dom Total**, Belo Horizonte, 5 jun. 2018
Disponível em: <https://domtotal.com/noticia/1262733/2018/06/reaproveitamento-de-residuos-solidos-da-construcao-civil-no-brasil/>. Acesso em: 04 jul. 2024.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GARCIA, E. A. M.; LAURINO, G. G.; DIB, L. F. P.; SILVA, E. R. Uso de agregados reciclados de resíduos de construção e de demolição na produção de *pavers*: uma revisão da literatura. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 21, n. 1, p. 192–218, 2022. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/14719>. Acesso em: 28 fev. 2024.

GLÓRIA, M. V. A.; RIBEIRO JUNIOR, L. C.; SOUSA, F. H. F. Reciclagem e reutilização de resíduos da construção civil e demolição. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 09, Ano 05, Ed. 11, p. 61-80, 2020 Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenhariacivil/reciclagem-e-reutilizacao> Acesso em: 17 mar. 2024

GOLDENBERG, M. **A Arte de pesquisar**: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais. 8. ed. Rio de Janeiro: Record, 2004.

GÓMEZ-SOBERON, J. M. V. Porosity of concrete with substitution of recycled concrete aggregate: an experimental study. **Cement and concrete research**, v. 32, 2002, p. 1301-1311.

HOOD, R. S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil. 2012. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7669?mode=full> Acesso em: 18 mar. 2024.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Livre Docência) – Departamento

de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. p. 113.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MORALES, G.; BORGES, L. P. P.; LOPES, P. M.; ZAMAIA, V. P. A.; JÚNIOR, V. G. A. Técnicas de manejo e gestão adequadas de usinas de reciclagem de RCC-RCC. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2., 2011, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: IBEAS, 2011.

MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

NABESHIMA, C. K. Y.; ORSOLIN, K.; SANTOS, R. K. X. **Análise comparativa entre sistemas de pavimentação urbana baseados em concreto asfáltico e blocos de concreto intertravados (pavers)**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

NASCIMENTO, M. V. L. A. **Estudos de blocos intertravados de concreto para pavimentação com incorporação de resíduo do polimento do porcelanato**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2016.

PAGNUSSAT, D. T. **Utilização de Escória Granulada de Fundição (EGF) em blocos de concreto para pavimentação**. 2004. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2004.

PANDOLFI, M. P. **Estudo do uso de RCC em concreto para pavimentação**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2016.

PAULINO, R. S.; LAZARI, C. H.; MIRANDA, L. F. R.; VOGT, V. Atualização do cenário da reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 2008-2020. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 3, p. 83-97, jul. 2023. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/QNNFCRvKbhfCRwx5sgNwxvM/?lang=pt>. Acesso em: 25 fev. 2024.

PEDERNEIRAS, C.M.; DURANTE, M. D. P.; AMORIM, E. F.; FERREIRA, R. L. S. Incorporation of recycled aggregates from construction and demolition waste in *paver* blocks. **Rev. Ibracon Estrut. Mater.**, vol. 13, no. 4, e13405, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952020000400005>

PEDROZO, R. F. E. **Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

POON, C. S.; KOU, S. C.; LAM, L. Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks. **Construction and Building Materials** v.16, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00019-3](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00019-3)

POON, C. S.; CHAN, D. Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick. **Construction and Building Materials** v.20, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.044>

RODRÍGUEZ, C.; PARRA, C.; CASADO, G.; MIÑANO, I.; ALBALADEJO, F.; BENITO, F.; SÁNCHEZ, I. The incorporation of construction and demolition wastes as recycled mixed aggregates in non-structural concrete precast pieces. **Journal of Cleaner Production** v.127, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.137>

SANDANAYAKE, M.; BOURAS, Y.; HAIGH, R.; VRCELJ, Z. Current Sustainable Trends of Using Waste Materials in Concrete—A Decade Review. **Sustainability** v.12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12229622>

SANTANA, I. C. **Análise dos impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos de construção e demolição em Conceição do Almeida – BA**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2016.

SANTOS, J. R. Betão com agregados grossos reciclados de betão. São Paulo, SP. **Revista Concreto**, n.38, p. 10-14. 2005. ISSN 1806-9673, IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, 2005. Disponível em: https://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/revista38.pdf
Acesso em: 28 fev. 2024.

SCHEIFER, D. M.; CALLEJAS, I. J. Caracterização física e mecânica de blocos de concreto com incorporação de areia de resíduo de construção civil. **Revista Matéria** v.26 n.04, 2021.

SCHNEIDER, D. M. **Deposições irregulares de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Paulo**. 2003. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 1. ed. São Paulo: Cortez, 2013.

SIMIELI, D.; MIZUMOTO, C.; SEGANTINI, A. A. S.; SALLES, F. M. Utilização de agregados reciclados em pavimentos intertravados. **Exacta**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 231-241, jul./dez. 2007.

Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/1171>

Acesso em: 03 agosto 2024

SOUTSOS, M. N.; TANG, K.; MILLARD, S. G. Use of recycled demolition aggregate in precast products, phase II: Concrete paving blocks. **Construction and Building Materials** v. 25, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.12.024>

SOUZA, G. S.; JUVENCIO, S. F.; NASCIMENTO, J. O.; PIRES, R. C. S. Reutilização de Resíduos de Construção e Demolição em obras de Construção Civil. **Construção Civil: Engenharia e Inovação - Vol. 5. Epitaya E-books**, v. 1, n. 32, cap. 9, p. 132-144, 2023.

SURYA, M.; VVL, K. R.; LAKSHMY, P. Recycled Aggregate Concrete for Transportation Infrastructure. **Procedia - Social and Behavioral Sciences** v.104, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.212>

TEIXEIRA, F. M. P. **Revolução Industrial**. 12. ed. São Paulo: Ática, 2012.

VALDÉS, A. J.; ROBLES, D. R.; GONZÁLEZ, J. G.; ROMERO, M. I. G.; POZO, J. M. M. Mechanical and microstructural characterization of non-structural precast concrete made with recycled mixed ceramic aggregates from construction and demolition wastes. **Journal of Cleaner Production** v.180, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.191>

VIEIRA, C. R.; ROCHA, J. H. A.; LAFAYETTE, K. P. V.; SILVA, D. M. Análise da Geração dos Resíduos da Construção e Demolição nos Canteiros de Obra da Cidade do Recife-PE. **Revista Portuguesa de Estudos Regionais, Recife**, n. 59, p. 153-169, 2021.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 47-63, 2004

DANIEL JONAS MARTINS QUEIROZ

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM *PAVERS* DE
CONCRETO: revisão literária**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Aprovado em 23 de outubro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Dannúbia Ribeiro Pires (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Flávio Eduardo Gomes Diniz (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Maria Victória Leal de Almeida Nascimento (Avaliadora)
Universidade Federal de Pernambuco