



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

MELQUISEDEQUE DO NASCIMENTO BRITO

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM ARGAMASSAS
DE CIMENTO PORTLAND: revisão de literatura**

Caruaru

2025

MELQUISEDEQUE DO NASCIMENTO BRITO

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM ARGAMASSAS
DE CIMENTO PORTLAND: revisão de literatura**

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

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me permitir trilhar a vida ao lado de pessoas que me apoiaram e incentivaram diretamente e indiretamente. Agradeço por ter me concedido capacidade em todos os aspectos de forma a possibilitar alcançar esse objetivo. Agradeço por ouvir minhas orações, por me confortar nos meus lamentos e me dar grandes motivos para não desistir.

Agradeço ao meu irmão Keveny Eduardo, pelo seu amor, ensinamentos, apoio e incentivo. Minha lembrança nítida do seu olhar, seu sorriso e sua fala “Quando eu crescer vou ser engenheiro civil” foram essenciais para esse objetivo. Realizar em minha vida o seu desejo é o mínimo que eu posso fazer para honrar suas lembranças.

Agradeço ao meu tio José Jairo por ter sido meu segundo pai, por constantemente estar em contato comigo para me auxiliar com o que fosse necessário. Agradeço por toda ajuda, conselho, amor, carinho, incentivo e proteção. Sua vida em nossa família foi essencial para que minha mãe e irmãos pudessem ter um grande suporte e conseqüentemente eu pudesse estar focado somente na graduação. Em sua lembrança, não terei medo de qualquer obstáculo.

À minha mãe Jaciana Maria pela resiliência mesmo com as piores adversidades da vida, pelo seu infinito amor, carinho, incentivo e apoio. Ser quem sou e busco ser é reflexo do que sua vida me inspira. Não terei motivos para desistir se até hoje você não desistiu.

Ao meu pai Cicero Givanildo pela sua resiliência, objetividade, firmeza e disposição. Sua vida é exemplo de fortaleza, de quem não foge da luta. Ser firme nas minhas escolhas é a reprodução da sua paternidade.

Aos meus irmãos Robson Jackson, Ranniellyson Cicero e Raynara Eduarda por todo momento de apoio mútuo, amor e respeito. Vocês transmitem diferentes e bons incentivos para minha vida. Alcançaremos nossos objetivos ao lado da nossa família.

À minha noiva Juliana Carolaine por compartilharmos todos os bons e ruins momentos das nossas vidas, encorajando-me a enfrentar as adversidades propostas pela vida. Seus conselhos, carinhos, puxões de orelha, amor e incentivos são cruciais nos meus dias de luta. Suas comemorações nas minhas vitórias me fazem buscar sempre mais. Sua maneira de encarar e tratar a vida me motivam a ser melhor profissionalmente, mas também generoso, empático, cauteloso, proativo, grato, dedicado e temente a Deus. Essa graduação com toda certeza foi melhor por ter sua presença durante a formação acadêmica. Obrigado.

Aos meus animais de estimação Luck, Amora e Kyara pois nos momentos difíceis escutaram meus lamentos e acolheram meu choro, e nos momentos relaxantes me trouxeram paz e amor.

Aos meus sobrinhos Ravi Pietro e Zayan Nascimento, afilhadas Mayra Isis e Ayla Luna por me incentivarem a ter grandes títulos para que possa servir de exemplo de dedicação aos mesmos futuramente.

Aos meus amigos Stephane Bianca, Ayrton Victor, Maria Renata, Deyvison Guilherme, Monique Almeida e Anderson Arruda por compartilharem de momentos de boas conversas e risadas que serviram de conforto diante das dificuldades. Agradeço pelas suas vidas que transmitiram bons incentivos em suas diferentes personalidades e trajetórias.

Aos meus amigos que consegui em virtude da graduação, Daysa Barbosa, Daniel Barbosa, Carolinne Tabosa, João Pedro, Gleyce Nair, Paulo Mergulhão, Carina Lessa, Letícia Ramos e Geiseane Duarte por todo momento de companheirismo.

Agradeço aos professores da graduação pelo empenho e disponibilidade que foram essenciais para aquisição de conhecimento. Em especial agradeço à professora Jocilene Otília por ter sido minha primeira orientadora dentro da universidade e ter me ensinado com tanto empenho e cuidado os primeiros passos de uma pesquisa científica; aos professores Eduardo Azevedo e Cléssio Leão por serem meus orientadores de monitoria, atividade que me fez desenvolver anseio pela docência.

Agradeço à professora e orientadora Dannúbia Ribeiro Pires por toda e imensa paciência, dedicação, conselhos, incentivo, conversas, apoio, persistência, expertise e inspiração. Diante das adversidades na elaboração deste trabalho, ficou nítido sua grandeza em caráter profissional e pessoal. Sempre terei sentimentos de carinho, gratidão e inspiração ao me lembrar de você.

Às professoras Martina Tamires Lins Cezano e Maria Victória Leal de Almeida Nascimento por se disponibilizarem a participar como banca avaliadora deste meu trabalho, complementando esta última honrosa e prestigiosa etapa da minha graduação.

Aos demais familiares e amigos de trabalho ou graduação, que participaram da minha formação, de maneira direta ou indiretamente.

Incorporação de resíduos da construção civil em argamassas de cimento Portland: revisão de literatura

Incorporation of construction waste into Portland cement mortars: literature review

Melquisedeque do Nascimento Brito¹

RESUMO

O depósito inadequado de resíduos da construção civil traz grandes problemas em vários âmbitos da sociedade, principalmente em cidades com crescimento urbano acelerado. Neste sentido, o presente trabalho tem o intuito de apresentar um panorama da literatura acadêmica acerca da incorporação de Resíduos da Construção Civil (RCC) em argamassas cimentícias. Dessa forma, pretende-se contribuir para a prática de reuso destes resíduos em detrimento do consumo de um elemento natural, possibilitando redução na quantidade destes resíduos em meios urbanos, sendo eles agentes causadores de problemas urbanos e de saúde humana. Neste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica de vinte artigos dos últimos dez anos, em revistas Qualis A1, que tratam da aplicação de RCC em substituição ao agregado miúdo em argamassa de cimento Portland. Os resultados dos estudos indicam que o estado endurecido domina a maior quantidade de análises, sendo a resistência à compressão, flexão e adesão os parâmetros mais presentes nas pesquisas, seguidas da porosidade e absorção capilar. O efeito *filler* e as propriedades intrínsecas da origem do resíduo inclinam a performance das misturas no estado fresco e endurecido. Dentre todos os resultados verificados, índices de incorporação de até 20% são os mais interessantes para o melhor desempenho das argamassas, seguindo os critérios estabelecidos por normas técnicas regulamentadoras. Taxas maiores de substituição proporcionam reduções de desempenho nas argamassas cimentícias, como aumento da porosidade a partir de 25% de resíduos e possuem módulo de elasticidade dinâmico fora de norma, com exceção das argamassas com 25% e 75% de agregados reciclados em sua composição que se mantêm dentro de requisitos impostos pela NBR 13281-1 (ABNT, 2023).

Palavras-chave: argamassas cimentícias; efeito *filler*; agregados reciclados.

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

ABSTRACT

The inadequate disposal of construction waste causes major problems in various areas of society, especially in cities with accelerated urban growth. In this sense, this study aims to present an overview of the academic literature on the incorporation of Construction Waste (CW) in cement mortars. In this way, it is intended to contribute to the practice of reusing this waste instead of consuming a natural element, enabling a reduction in the amount of this waste in urban environments, which are agents that cause urban problems and human health. In this study, a bibliographic review of twenty articles from the last ten years was carried out in Qualis A1 journals, which deal with the application of CW as a replacement for fine aggregate in Portland cement mortar. The results of the studies indicate that the hardened state dominates the largest number of analyses, with compressive strength, flexural strength and adhesion being the most present parameters in the research, followed by porosity and capillary absorption. The *filler* effect and the intrinsic properties of the origin of the waste influence the performance of the mixtures in the fresh and hardened state. Among all the results verified, incorporation rates of up to 20% are the most interesting for the best performance of mortars, following the criteria established by regulatory technical standards. Higher replacement rates provide performance reductions in cement mortars, such as increased porosity from 25% of waste and have a dynamic elasticity modulus outside the standard, with the exception of mortars with 25% and 75% of recycled aggregates in their composition, which remain within the requirements imposed by NBR 13281-1 (ABNT, 2023).

Keywords: cement mortars; *filler* effect; recycled aggregates.

DATA DE APROVAÇÃO: 14 de abril de 2025.

1 INTRODUÇÃO

Resíduos da Construção Civil (RCC) ou Resíduos da Construção e Demolição (RCD), de acordo com a resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), são detritos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil. Como exemplo desses materiais, temos os tijolos, rochas, gesso, telhas, tubulações, etc, que são geralmente chamados de entulhos ou metralhas.

No Brasil, a construção civil gera um alto quantitativo de RCC, podendo até ser entendido como um indicador de desperdício de materiais. Esses entulhos têm potencial de até 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos (Mesquita, 2012). De acordo com a pesquisa setorial mais recente da Associação Brasileira para Reciclagem de RCC (ABRECON, 2020), a geração média de RCC por habitante nos municípios brasileiros é de 500 quilogramas por habitante anualmente. Dessa forma, a quantidade populacional é um indicador direto sobre tais resíduos gerados no local.

Embora a maioria dos RCC não apresente reações na presença de água, estes ainda podem contaminar o solo ou água submersa naquela região em virtude da sua composição nociva como amianto, poluentes orgânicos e metais pesados. No caso desta última substância citada, pode acontecer a lixiviação deste grupo de elementos químicos comprometendo a saúde do terreno (Duan; Li, 2016).

O acúmulo destes resíduos oferece riscos à sociedade sobre a saúde da comunidade local com proliferações de doenças (Santana, 2016), danos ao sistema de drenagem urbano considerando sua obstrução e causando enchentes (Mesquita, 2012), e comprometendo a qualidade da água e do solo que são meios essenciais para as atividades agrícolas (ABRECON, 2021).

A indústria da construção civil apresenta alto potencial para solucionar o problema do descarte inadequados dos RCC, pois apresenta grande viabilidade de incorporação desses resíduos nos materiais de construção civil (Borja; Mendes, 2007). No Brasil, sendo destinados corretamente para aterros sanitários apenas um terço do quantitativo de RCC, utilizá-los em reciclagem possibilita benefícios na redução do consumo de recursos naturais não renováveis e redução de impactos causados pelo descarte inadequado destes resíduos (Callejas; Scheife, 2021). Nesse sentido, Callejas e Scheife (2021) consideram a reutilização dos RCC como substituição dos agregados naturais em obras de pavimentação, nas argamassas, sistemas de drenagem, etc.

Os resíduos de blocos cerâmicos, concretos em geral, telhas e revestimentos argamassados, como o chapisco, emboço ou reboco são resíduos reutilizáveis como agregados, e que podem ser empregados em obras de infraestrutura, edificações e canteiros de obra (Gomes Júnior, 2022).

Outras aplicações de reuso de RCC em materiais úteis para o mesmo ambiente, são os agregados para pavimentação formados a partir de entulhos de concreto, blocos produzidos *in loco* gerados por areia descartada e produção de tijolos ecológicos por meio de sacos de cimento (Ribeiro; Santos, 2018).

O uso de RCC mostra-se benéfico também em adição ou substituição ao cimento, para uso em argamassas ou concretos, pois apresenta ganhos ambientais, em propriedades mecânicas e aumento de sua durabilidade (Barboza *et al.*, 2020). Para aplicação dos RCC como adição em argamassas cimentícias, observou-se, como principal característica, ganhos em resistência contra agentes agressivos, melhorando sua durabilidade e resistência mecânica (Lopes; Silva, 2021).

Como resultado ao meio ambiente, o reuso de RCC oferece grandes benefícios à sociedade, como redução do consumo de recursos naturais, minimização dos impactos ambientais, promoção da reciclagem, reutilização e ganho ambiental, pois possibilita uma busca menor pela extração da matéria prima natural (Silva, 2017).

Neste estudo, será apresentado o cenário acadêmico recente sobre as técnicas, procedimentos e resultados obtidos quando se realiza a incorporação de RCC em argamassas cimentícias, a fim de contribuir com uma indicação precisa de índices de aplicação destes resíduos de modo que se mantenha as características necessárias para sua utilização.

1.1 Resíduos da construção civil

Para as classificações realizadas pelo CONAMA, conforme a Figura 1, resíduos de classe A representam até 90% dos RCC e podem ser utilizados como agregados, ou camadas de sub-base para pavimentação, como podemos citar os resíduos argamassados, resíduos de concreto, cerâmicos ou de escavação. Os resíduos de classe B são para reutilização ou reciclagem para destinações específicas, como os resíduos de plástico, gesso, papelão, metais, madeiras, etc. Os resíduos de classe C são aqueles que não dispõem de tecnologia para sua reutilização, como os resíduos de massa corrida, massa de vidro ou lixas. Por fim, os de classe D, que têm o aterro de resíduos perigosos como alternativa de reuso, como por exemplo as tintas, solventes, óleos, telhas de amianto e materiais radiológicos (Lima, 2020).

Figura 1 - Classes dos resíduos de construção civil



Fonte: BVResíduos (2023).

Há uma relevante quantidade de RCC sem o devido reaproveitamento, retornando inadequadamente à natureza. Contudo, a construção civil dispõe de práticas sustentáveis para reuso destes resíduos, como fins para blocos cerâmicos, agregados para pavimentação, componente para argamassas, que podem ser confeccionados em pequenas oficinas de canteiro de obras ou em empresas especializadas nessa função (Ribeiro; Santos, 2018).

Utilizar RCC ainda é uma incitação do setor de construção civil e especificamente da indústria do cimento, tendo em vista que os materiais cimentícios são os mais utilizados em escala global na produção de obras (Belie *et al.*, 2024). Nesse sentido, a reciclagem destes resíduos caracteriza ações prósperas à sustentabilidade e à construção civil ao aderir valor a materiais frequentemente tratados como desvalorizados (Brito *et al.*, 2016).

Segundo Duan *et al.* (2020) e Li *et al.* (2020), a utilização de agregados reciclados busca soluções sobre os descartes inadequados de RCC, mas também reduzir a busca expressiva por recursos naturais que são finitos e pode causar danos irreversíveis ao ecossistema. Kaid *et al.* (2023) e Jagadesh *et al.* (2024), por exemplo, destacaram a reutilização do concreto como agregado reciclado e que essa prática foi capaz de substituir de maneira satisfatória elementos provenientes da natureza, prolongando o ciclo de vida e melhorando o desempenho dos materiais da construção civil.

Além de evitar os danos causados pelo acúmulo de RCC no meio ambiente e a extração de elementos finitos, a reutilização destes resíduos pode beneficiar a natureza minimizando a emissão de dióxido de carbono uma vez que a produção de cimento é uma das maiores transmissoras em nível global deste poluente atmosférico (Naghizadeh; Ohameng, 2023; Acordi *et al.*, 2020). A redução do dióxido de carbono na atmosfera e desenvolvimento ecológico são vantagens imprescindíveis ao tratar RCC e sustentabilidade (Culcu *et al.*, 2024; Patel *et al.*, 2020).

1.2 RCC incorporados em argamassas

Diversos autores realizaram estudos com o intuito de verificar a influência de RCC que antes eram descartados na natureza como incorporantes em materiais cimentícios, como argamassas ou mesmo concreto, substituindo-os em agregados miúdos ou graúdos.

Em relação aos resíduos cerâmicos ou cimentícios, também é possível fazer reutilização em substituição ou adição em argamassas ou concretos. Assunção, Barata e Carvalho (2007) utilizaram RCC incorporado em até 50% de substituição na argamassa por meio do agregado miúdo, chegando em resultados que quanto maior se deu a aplicação de tais resíduos, maiores

foram a necessidade de água para manter a consistência e a resistência à compressão axial e diametral. Cioffi e Colangelo (2017) utilizaram-no em taxas de até 100% de substituição do agregado miúdo e também observaram a maior necessidade do fator água/cimento para que seja mantida a trabalhabilidade da argamassa, causando menores intensidades para o módulo de elasticidade.

Pereira e Santana (2020) com a finalidade de avaliar a substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado nas propriedades das argamassas estabilizadas de revestimento, utilizaram RCC em taxas de até 100% do agregado miúdo e notaram redução gradativa da resistência à tração na flexão e à compressão com o aumento dos teores de substituição das areias. Os autores concluíram que a taxa de substituição de 25% mostrou-se mais viável levando em conta também outros parâmetros como índice de consistência, módulo de elasticidade, coeficiente de capilaridade, etc.

No estudo elaborado por Bai *et al.* (2014), as taxas de 15% e 45% substituição de RCC no agregado miúdo resultaram, respectivamente, em aumento da resistência à compressão e diminuição desta propriedade em até 42%. Andrade *et al.* (2018) obtiveram a mesma conclusão ao aumentar o índice de incorporação destes resíduos na argamassa cimentícia em suas taxas de 25%, 50%, 75% e 100%. Higashiyama *et al.* (2012) por sua vez, observaram não só aumento na resistência à compressão, mas também à penetração de íons cloretos na incorporação de resíduos cerâmicos em até 20% de substituição ao cimento.

Aguiar *et al.* (2023) observaram que a lavagem do material a ser reciclado e incorporado em argamassa cimentícia é um processo de baixo custo e que possibilita melhoras nas propriedades do material final. Nesse sentido, constatou-se que a utilização do processo de lavagem resultou em redução da absorção de água devido à presença de um menor teor de partículas finas. Anjos *et al.* (2019) perceberam o surgimento excessivo de microfissuras nos revestimentos, concluindo que o uso de RCC incorporados em argamassas cimentícias é benéfico, principalmente quando o material reutilizado é isento de pó.

Jagadesh *et al.* (2024) encontraram uma taxa ótima de 25% de substituição de pó de concreto reciclado no cimento Portland na argamassa em custo benefício. Esse fator foi estabelecido uma vez que o custo foi inversamente proporcional à taxa de substituição do agregado reciclado, enquanto que a resistência à compressão da argamassa declina a partir de índices superiores a 25% de incorporação. Já Li *et al.* (2020) utilizando RCC de concreto e argila como substituto ao aglomerante, conseguiram melhorar a resistência à compressão aplicando uma taxa de 10% de incorporação.

Tratando de resíduos não cerâmicos ou cimentícios nas argamassas, Patel *et al.* (2020) utilizaram pó de vidro como substituto ao aglomerante em seus estudos com taxa de até 20% e seus resultados indicaram resistência à compressão superior que a argamassa de controle e que a durabilidade do produto final está dentro dos limites de segurança. Acordi *et al.* (2020) trabalharam o reuso da madeira e destacaram que seu uso como substituto no cimento diminui a resistência à compressão, mas quando aplicado ao agregado miúdo tem resultado oposto, enquanto a trabalhabilidade nos dois casos comportou-se de maneira oposta à resistência.

Dessa forma, considerando a diversidade de autores que abordam a reutilização de RCC em argamassas com resultados satisfatórios, nota-se que o reaproveitamento destes resíduos além de aderir melhorias nas características mecânicas das argamassas, é sustentável uma vez que diminui a busca por recursos naturais e dá uso ao material que é descartado de forma inapropriada e nociva ao meio ambiente e social.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Para este trabalho, busca-se apresentar um panorama da literatura acadêmica recente sobre a caracterização dos resíduos e as propriedades nos estados fresco e endurecido das argamassas cimentícias com as incorporações de RCC.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos, a fim de colaborar com o objetivo geral, estão listados a seguir:

- Buscar informações sobre os procedimentos de ensaios utilizados na literatura revisada;
- Apresentar os resultados sobre a caracterização dos resíduos e as taxas de incorporação de RCC nas argamassas;
- Avaliar a correlação entre os resultados das propriedades físicas das argamassas em seus estados fresco e endurecido.

2 METODOLOGIA

Uma pesquisa de caráter bibliográfico busca reunir conhecimento científico já publicado e realizar análise das principais teorias referentes ao tema da obra (Rodrigues, 2007; Botelho; Cruz, 2013). Nesse sentido, o presente trabalho caracteriza-se como de natureza bibliográfica uma vez que busca informações em estudos para avaliar relações entre os resultados obtidos a partir das suas condições iniciais.

Além disso, Rodrigues (2007), Botelho e Cruz (2013) definem uma pesquisa como qualitativa quando esta visa entendimento profundo de um fenômeno para lhe atribuir significados em detrimento de quantificação das informações obtidas. Dessa forma, este estudo retrata uma obra qualitativa dado que investiga os diferentes resultados nas propriedades mecânicas das argamassas modificadas compreendendo as suas circunstâncias de traços e taxas de aplicação de RCC, para que se possa analisar possíveis influências entre seus dados iniciais e finais.

O presente trabalho iniciou com a definição da linha de pesquisa, em que foi trabalhada sobre a escolha do tema e concentração do estudo a ser desenvolvido. Neste caso, a incorporação de RCC em argamassas cimentícias com substituição parcial ou total no agregado miúdo. Em seguida, realizou-se a fase de levantamento bibliográfico buscando identificar autores que dispõem conteúdo sobre o assunto em questão.

À procura de trabalhos acadêmicos com conteúdo sobre incorporação de RCC em argamassas cimentícias, suas propriedades mecânicas e de melhor reconhecimento, foi escolhida a *Science Direct* como base de dados para a obtenção dos artigos cujas informações serão exploradas na elaboração das análises deste estudo. Dentro da plataforma, foram necessários alguns filtros de informações para uma busca mais rápida e assertiva, que estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Filtros aplicados ao *Science Direct*

Natureza	Descrição
Áreas temáticas	Materiais de construção civil e Ciência e engenharia dos materiais
Palavras-chave	<i>Construction waste in mortar</i>
Título de publicação	Artigos de Qualis A1
Período de tempo	10 anos (2014 a 2024)

Fonte: Autor (2025)

Dessas seleções impostas ao banco de dados, o título de publicação foi aplicado às revistas específicas com qualificação A1.

Ao realizar a busca, foram encontrados 6.020 resultados dispersos de estudos baseados nas palavras-chave e filtros inseridos. Dessa forma, com as informações pretendidas para o tema

desta pesquisa tornou-se imprescindível a triagem dos estudos de acordo com as informações que estes disponibilizaram no seu estudo. Esta apuração foi baseada em aspectos técnicos com a função de aproximar os tipos de dados utilizados inicialmente e os parâmetros de resultado, conforme ilustrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Informações pretendidas nas pesquisas

Natureza	Descrição
Resíduo	RCC
Incorporação	Substituição
Material substituído	Agregado miúdo
Produto final	Argamassa de Cimento Portland
Parâmetros de entrada	Traço da argamassa
	Taxa de incorporação do RCC
Ensaio no estado fresco e endurecido das argamassas	Ensaio de propriedades mecânicas das argamassas

Fonte: Autor (2025)

Baseando-se nas informações limitantes contidas no Quadro 2, foram analisadas pesquisas suficientes para obtenção dos 20 primeiros artigos que se adequaram nestes filtros, tomando-os como quantidade satisfatória para análise do tema.

Em seguida, a próxima etapa desta obra é a coleta e apresentação do conteúdo obtido dos artigos sobre os índices para a preparação das argamassas de referência e modificadas, e suas propriedades mecânicas no estado fresco e endurecido. Integrando todas estas informações, a fase seguinte baseia-se em interpretar os resultados dos autores aproximando-os às similaridades dos seus dados iniciais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão dispostas informações acerca dos 20 estudos analisados, através dos seus dados gerais e características observadas nas argamassas de estudo de acordo com suas circunstâncias de mistura. Adiante, serão apresentados os principais ensaios em comum entre os autores para que, em seguida, sejam realizadas correlações entre os resultados, as taxas de incorporações e análises de acordo com normalização brasileira.

3.1 Informações gerais

Em função da melhor credibilidade de informações entre estudos da literatura acadêmica, foram selecionadas revistas de Qualis A1 no cenário mundial. Dessa forma, a revista *Construction and Building Materials* tem presença majoritária neste trabalho uma vez que representa 14 dos 20 estudos analisados. Essa predominância que indica maior acessibilidade dos seus artigos sobre os filtros aplicados conforme o Quadro 1 é justificada pelo fato de que esta revista tem a maior quantidade de publicações exclusivas da área da engenharia civil e estrutural, construção e edificação e ciência geral dos materiais.

Além disso, adere relevância a este estudo o intervalo temporal em que as pesquisas foram publicadas. Tais informações estão contidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Intervalo temporal dos artigos

Ano de publicação	Quantidade de estudos
2015	3
2016	1
2017	1
2018	1
2019	2
2020	0
2021	3
2022	3
2023	5
2024	1

Fonte: Autor (2025)

Na Tabela 1, observamos que mais da metade dos dados coletados (12) são de publicações dos últimos 4 anos analisados. Nesse sentido, ressalta-se tanto a aproximação temporal da revisão da literatura e os esforços atuais para obter informações melhores diante da busca pela sustentabilidade, quanto a precisão dos resultados obtidos diante dos métodos de ensaios atualizados.

Pela Tabela 2 tem-se a quantidade de estudos de acordo com o seu local de publicação. Essa informação é fundamental considerando as relações entre desenvolvimento, população e sustentabilidade.

Tabela 2 – Distribuição espacial dos artigos

País de publicação	Quantidade de estudos
Argélia	2
Brasil	6
China	3
Espanha	1
França	1
Índia	2
Itália	3
Portugal	1
Turquia	1

Fonte: Autor (2025)

O Brasil, país com maior número de artigos selecionados, possui produção de RCC próxima a 100 milhões de toneladas por ano. Mais especificamente, Rio de Janeiro, Recife e Porto Alegre, cidade com maior quantidade de estudos, têm gerações destes resíduos de 4,625, 0,981 e 1,165 milhões de toneladas ao ano respectivamente (ABRECON, 2020). Por sua vez, Itália e China são os países com mais estudos analisados nesta pesquisa após o Brasil, sendo a China responsável pela produção de 200 milhões de toneladas de RCC ao ano (Lukiantchuki; Souza, 2019). Logo, nota-se a importância do desenvolvimento destes estudos em locais de expressivos volumes de RCC.

3.2 Caracterização e taxas de incorporação dos RCC

Neste tópico serão apresentadas informações sobre as características dos agregados miúdos naturais e reciclados, além das taxas de substituição entre os agregados. Faz-se necessário o conhecimento destes dados uma vez que se deve ter ciência das propriedades físicas do material utilizado pois estão diretamente relacionadas aos resultados.

O conhecimento sobre a origem do RCC torna-se importante uma vez que pode aderir diferentes valores em suas propriedades físicas quanto agregado miúdo e argamassa. Por consequência, suas taxas de incorporações são importantes indicadores dos resultados já que determina o grau de predominância dos agregados reciclados e naturais. Estas informações estão relacionadas com seus respectivos autores no Quadro 3.

Quadro 3 – Composição e taxas de incorporações dos RCC

Autores	Origem do RCC	Taxa de incorporação
Abdelouahed <i>et al.</i> (2022)	Resíduos de mármore, ladrilhos e blocos de concreto	5, 10, 15 e 20%
Alexandre <i>et al.</i> (2023)	Resíduos cerâmicos vermelhos	10, 20 e 30%
Andrade <i>et al.</i> (2018)	Resíduos cerâmicos, de argamassa e de concreto	25, 50, 75 e 100%
Andrade <i>et al.</i> (2023)	argamassa, cerâmica, agregado basáltico	25, 50, 75 e 100%
Anjos <i>et al.</i> (2019)	Agregado reciclado misto	25, 50, 75 e 100%
Anjos <i>et al.</i> (2021)	Concreto, rochas, materiais cerâmicos e menos de 10% de gesso, isopor, madeira...	100%
Ayuso <i>et al.</i> (2015)	Resíduos de alvenaria	25, 50, 75 e 100%
Azevedo <i>et al.</i> (2022)	Argamassa, concreto, material cerâmico ou rochas	30%
Brito <i>et al.</i> (2019)	Concreto, argamassa, cerâmica, plástico, vidro, metais, gesso e madeira.	10, 15 e 20%
Cioffi e Colangelo (2017)	Concreto, Tijolos e Resíduos mistos	30, 50, 70 e 100%
Cui <i>et al.</i> (2022)	Concreto aerado autoclavado	10, 30 e 50%
Damidot <i>et al.</i> (2015)	Concreto	10, 20, 30, 50 e 100%
Derogarc <i>et al.</i> (2021)	Resíduos de madeira	1, 2, 3, 4 e 5%
Ferro <i>et al.</i> (2015)	Não especificado	25, 50 e 75%
Ferro <i>et al.</i> (2016)	Não especificado	25, 50 e 75%
Garg e Shrivastava (2023)	Concreto reciclado	25, 50, 75 e 100%
Gehlot e Shrivastava (2024)	Granito	10, 20, 30, 40 e 50%
Hu <i>et al.</i> (2023)	Concreto e Tijolo	5, 10, 20 e 30%
Huang <i>et al.</i> (2021)	Tijolos de argila	25, 50, 75 e 100%
Kaid <i>et al.</i> (2015)	Concreto reciclado	50 e 100%

Fonte: Autor (2025)

De acordo com o Quadro 3, há a predominância dos resíduos de classe A estabelecida pelo CONAMA. Dentre os autores, Ferro *et al.* (2015) e Ferro *et al.* (2016) não especificaram a origem do agregado reciclado utilizado. No entanto, observa-se a majoritária presença de análises em argamassas com resíduos cerâmicos ou cimentícios.

Em função da variação de origens, as análises não tomaram em consideração suas distinções, mas os estudos sobre os diferentes materiais podem ser atribuídos ao desejo de conhecimento sobre resultados obtidos para uma dada circunstância mais específica. Um determinado material pode aderir uma previsão de comportamento na sua incorporação, como Hu *et al.* (2023)

observaram que ao substituir agregado natural por resíduo de concreto ou resíduo cerâmico, a resistência à compressão aumenta até 35% e 48,6%, respectivamente, sob incorporações de 30%; enquanto Kaid *et al.* (2015) encontraram maior porosidade em até aproximadamente 6% na incorporação integral do resíduo de concreto à areia natural.

De forma análoga, os índices de incorporações foram utilizados para observar fenômenos causados pela proporção de agregados naturais e de um dado resíduo, bem como Garg e Shrivastava (2023) analisaram que conforme a porcentagem de substituição de agregado de concreto aumentou, a absorção de água por imersão na argamassa endurecida também aumentou. Os resultados alcançados pelos autores geralmente convergem quando as circunstâncias iniciais de composições e taxas de substituições se assemelham, contudo, seus objetivos são singulares na busca pelo conhecimento de características da argamassa.

Nesse sentido, Brito *et al.* (2019) avaliaram o comportamento de rebocos cimentícios com incorporação de resíduos do processo construção civil e serviços de demolição, enquanto Kaid *et al.* (2015) buscaram melhorar as propriedades físicas e mecânicas de argamassas baseadas em agregados de areia de concreto reciclado e, assim, promover o uso eficiente desses resíduos. Logo, as informações semelhantes no Quadro 3 justifica-se pelas buscas de distintas finalidades.

Sabendo sua origem e suas taxas de incorporações, é imprescindível conhecer as características físicas dos agregados. Entre os autores, as propriedades físicas do estado de caracterização dos agregados mais buscadas estão contidas na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades físicas do estado de caracterização

Parâmetros analisados	Quantidade de estudos
Absorção de água	12
Densidade aparente	16
Diâmetro máximo	16
Módulo de finura	8

Fonte: Autor (2025)

Diante das informações da Tabela 3, observa-se a busca do conhecimento sobre a densidade, granulometria e absorção de água dos agregados antes da mistura. As propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido contêm relações entre si envolvendo inicialmente as características dos grãos utilizados. Andrade *et al.* (2018) observaram que as argamassas de agregado reciclado misto de concreto e alvenaria exibiram valores mais altos de porosidade e absorção de água de aproximadamente 13% e 18% em média, respectivamente, enquanto Andrade *et al.* (2023) constataram a sua perda de densidade aparente no aumento do resíduo porque é mais leve que a areia natural. Dessa forma, têm-se a importância dos aspectos dos

grãos nas performances no produto final e quais características são mais estudadas entre os autores como agentes diretos nas alterações observadas.

Os agregados reaproveitados apresentam maior absorção de água com média de 6,27% enquanto a areia natural tem média de 0,98% entre os estudos dos autores. Anjos *et al.* (2019) e Anjos *et al.* (2021) aderem respectivamente esse comportamento à maior presença de partículas finas e maior textura porosa das partículas. Além disso, é possível identificar que esse desempenho também se atribui à origem do agregado como característica intrínseca (Huang *et al.*, 2021; Brito *et al.*, 2019).

Em relação à densidade das partículas, a areia natural propende a ser mais densa que a residual com médias de 1,82 e 1,64g/cm³ respectivamente, comportamento atestado nos estudos de Anjos *et al.* (2021) e Andrade *et al.* (2018). Um dos fatores que colaboram com essa inclinação do RCC ser mais leve é a característica própria do material quanto à maior absorção de água, fazendo com que a água, material com densidade próxima a 1g/cm³, ocupe mais espaço.

Essa diferença de densidade pode aderir benefícios práticos na execução de serviços da construção civil uma vez que a argamassa é mais leve mantendo a mesma quantidade a ser aplicada ao substrato. Entretanto, Gehlot e Shrivastava (2024) alertam que na argamassa fresca, as moléculas de água ocuparam o espaço e durante o processo de endurecimento, a água escapou deixando volumes porosos. Esses vazios são nocivos uma vez que possibilitam uma maior infiltração por capilaridade e diminuem a resistência mecânica das argamassas.

No que se refere ao diâmetro máximo dos grãos, todos os estudos se basearam em agregados miúdos como caracteriza a NBR 7211 (ABNT, 2005) e em média, as areias naturais e recicladas apresentaram dimensões máximas de 2,94mm e 3,24mm, respectivamente, concordando com os resultados de Andrade *et al.* (2019). Essa disposição da matéria provoca alterações no desempenho da argamassa uma vez que os elementos pulverulentos preenchem os vazios e têm áreas superficiais superiores ao agregado natural, tendo uma relação diretamente proporcional com a retenção de água na mistura (Anjos *et al.*, 2019). Brito *et al.* (2019) e Anjos *et al.* (2021) observaram maior teor de finos aos resíduos com destaque aos mistos em relação aos de concreto e aos agregados naturais.

As partículas maiores propriamente induzem maior infiltração por capilaridade em virtude das suas formas que podem causar maior índice de vazios, no entanto pode ser minimizado pelo preenchimento dos vazios através do material fino presente na mistura, denominado efeito *filler* (Alexandre *et al.*, 2023; Brito *et al.*, 2019; Anjos *et al.*, 2019; Machado, 2013).

Ao módulo de finura, em média os agregados naturais e artificiais são 2,22 e 2,53 respectivamente e de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005) caracterizam a zona ótima, ou seja, areia média, em concordância com os estudos de Anjos *et al.* (2019) e Anjos *et al.* (2021).

Essa distribuição das partículas pode divergir na literatura em virtude da origem do material uma vez que Derogarc *et al.* (2021) afirmam que a distribuição de partículas é menor para o resíduo de madeira, enquanto Anjos *et al.* (2019) observaram que a inclusão de grãos de composição cerâmica e cimentícia proporcionam melhoria neste parâmetro, aderindo uma microestrutura mais densa para a argamassa, resultando em ganhos nas propriedades mecânicas e permeáveis (Andrade *et al.*, 2023; Anjos *et al.*, 2021).

3.3 Traços e ensaios realizados nas argamassas

Todos os artigos analisados dispuseram de traços em massa ou volume para controle das preparações das argamassas em que houveram distinções não só nos índices de agregado miúdo ou fator de água/cimento, mas na utilização de cal. Após as misturas, foram submetidos ensaios no estado fresco e endurecido para coleta de resultados acerca das propriedades físicas de desempenho da argamassa.

Referindo-se aos componentes utilizados, as informações acerca dos índices e tipos de traço utilizados por cada autor estão dispostas no Quadro 4.

Seguindo, tem-se a composição das argamassas e a maneira como foram separadas as proporções. Mesmo sendo pesquisas de caráter qualitativos, temos autores baseando-se em disposições dos materiais em volume, aderindo mais praticidade contudo menos precisão.

Quadro 4 – Traços das argamassas

Autores	Traços	Tipo de traço
Abdelouahed <i>et al.</i> (2022)	1:1,5:0,56 (Cimento: Agregado miúdo: A/C)	Massa
Alexandre <i>et al.</i> (2023)	1:6 (Cimento: Agregado miúdo)	Massa
Andrade <i>et al.</i> (2018)	1:5 (Cimento: Agregado miúdo)	Massa
Andrade <i>et al.</i> (2023)	1:1:6:1,3 (Cimento: Cal: Agregado miúdo: A/C)	Volume
Anjos <i>et al.</i> (2019)	1:0,4:6,5 (Cimento: Cal: Agregado miúdo)	Volume
Anjos <i>et al.</i> (2021)	1:1:6 (Cimento: Cal: Agregado miúdo)	Volume
	1:1:7 (Cimento: Cal: Agregado miúdo)	
	1:2:9 (Cimento: Cal: Agregado miúdo)	
Ayuso <i>et al.</i> (2015)	1:5 (Cimento: Agregado miúdo)	Massa
Azevedo <i>et al.</i> (2022)	1:0,98:8,08 (Cimento: Cal: Agregado miúdo)	Massa
Brito <i>et al.</i> (2019)	1:5,72:1,12 (Cimento: Agregado miúdo: A/C)	Volume
Cioffi e Colangelo (2017)	1:2,7 (Cimento: Agregado miúdo)	Volume
Cui <i>et al.</i> (2022)	1:3:0,5 (Cimento: Agregado miúdo: A/C)	Massa
Damidot <i>et al.</i> (2015)	1:3:0,5 (Cimento: Agregado miúdo: A/C)	Massa
	1:3:0,6 (Cimento: Agregado miúdo: A/C)	
Derogarc <i>et al.</i> (2021)	1:1,4 (Cimento: Agregado miúdo)	Volume
Ferro <i>et al.</i> (2015)	1:3:0,5 (Cimento: Agregado miúdo: A/C)	Massa
Ferro <i>et al.</i> (2016)	1:3:0,5 (Cimento: Agregado miúdo: A/C)	Massa
Garg e Shrivastava (2023)	1:3 (Cimento: Agregado miúdo)	Volume
Gehlot e Shrivastava (2024)	1:3 (Cimento: Agregado miúdo)	Massa
Hu <i>et al.</i> (2023)	1:2:0,5 (Cimento: Agregado miúdo: A/C)	Massa
Huang <i>et al.</i> (2021)	1:3:0,6 (Cimento: Agregado miúdo: A/C)	Massa
Kaid <i>et al.</i> (2015)	1:3:0,5 (Cimento: Agregado miúdo: A/C)	Massa

Fonte: Autor (2025)

Dentre os traços observados no Quadro 4, alguns autores utilizaram água na argamassa, mas não especificaram sua proporção utilizada na mistura, e por isso a ausência da informação para alguns autores. Além disso, alguns autores variaram o fator A/C para obter um valor fixo para a consistência, como foi o caso dos estudos de Kaid *et al.* (2015), Gehlot e Shrivastava (2024) e Brito *et al.* (2019) por exemplo. Anjos *et al.* (2019) utilizaram o processo de lavagem dos grãos para estudar a incorporação de resíduos com baixa presença de teor de finos, que contribuiu para uma diminuição do fator a/c na mistura.

Portanto, as variações nas proporções de água na argamassa são de caráter intencional para melhor análise uma vez que já se sabe da característica intrínseca dos resíduos de maior absorção hídrica. Além disso, pode-se notar que a quantidade de agregado miúdo em geral é de 3 vezes a cada quantidade de cimento, e que quando essa proporção aumenta tem a tendência

do aumento na quantidade de água, como nos estudos de Andrade *et al.* (2023) e Brito *et al.* (2019), concordando com o fato de que os resíduos irão impor maior consumo.

Após a preparação das argamassas, foram realizados ensaios para conhecimento dos seus desempenhos diante das incorporações aplicadas. Na Tabela 4 estão ilustrados os ensaios mais utilizados pelos autores de acordo com seu estado de análise.

Tabela 4 – Ensaio mais utilizados no estado fresco e endurecido

Estado	Ensaio	Quantidade de estudos
Fresco	Ar incorporado	2
	Consistência	7
	Densidade aparente	4
	Absorção de água por imersão	7
	Coefficiente de capilaridade	5
	Densidade aparente	6
Endurecido	Módulo de elasticidade dinâmico	4
	Porosidade	7
	Resistência à adesão	7
	Resistência à compressão	19
	Resistência à flexão	13

Fonte: Autor (2025)

De acordo com a Tabela 4, a maior concentração dos estudos é nas propriedades das argamassas no estado endurecido, e suas análises visam o conhecimento nas suas performances mecânicas, de absorção de água e densidades. Essas buscas são justificadas pelos objetivos dos autores e pelas características impostas por normalização. No entanto, tem-se que a resistência à compressão é basicamente unânime em qualquer estudo, seguido do ensaio de resistência à tração na flexão

Contudo, a variabilidade dos ensaios realizados entre os autores é baseada no propósito do trabalho. Andrade *et al.* (2018) não avaliaram a resistência à adesão uma vez que buscaram comparar as profundidades de carbonatação de argamassas com resíduos cerâmicos ou mistos, utilizando ensaios singulares como fluorescência de raios X, força de ligação ou carbonatação. No entanto, Gehlot e Shrivastava (2024) examinaram a influência do tamanho dos agregados na substituição agregados naturais por residuais em níveis de substituição de parciais e integrais, aplicando ensaios de termogravimetria, microtomografia de raios X, Carbonatação acelerada, além de alguns citados na Tabela 4.

Além disso, a NBR 13281-1 (ABNT, 2023) estabelece critérios classificatórios e informativos através de intervalos de valores dos parâmetros de desempenho da argamassa de revestimento. Critérios classificatórios estabelecem limites mínimos e máximos a serem

obtidos, além de categorização sob intervalos de valores das propriedades para seu determinado uso, como resistência à adesão e módulo de elasticidade dinâmico. Já os critérios informativos não têm limites de valores das propriedades, mas classificam a argamassa para diferentes usos de acordo com suas características de performance como densidade de massa no estado fresco e endurecido, teor de ar incorporado, resistência à tração na flexão ou coeficiente de absorção capilar.

Portanto, os indicadores de qualidade das argamassas presentes na Tabela 4 são justificados pelas imposições normativas e busca pelo conhecimento do comportamento das misturas em objetivos específicos ou comuns sob incorporação de RCC.

3.4 Análise das argamassas

Neste tópico serão apresentados os resultados dos ensaios das argamassas relacionados com as taxas de incorporações de RCC em detrimento ao agregado miúdo natural. Estas informações baseiam-se em intensidades e taxas de variações médias em relação a uma respectiva taxa de incorporação de resíduos.

Vale ressaltar que cada estudo variou a origem do resíduo, granulometria ou traço para as suas argamassas de análises. Dessa forma, um único trabalho forneceu mais de um resultado para uma dada taxa de incorporação e por isso o número de investigações não corresponde à quantidade de artigos verificados. Essa conduta foi considerada nas tabelas deste tópico como quantidade de casos. Além disso, serão apresentados em tabela os valores médios dos parâmetros a serem analisados como uma intensidade de base para realização de análises das características em pauta.

Tendo ciência deste procedimento e da variabilidade de circunstâncias, a taxa média de variação foi calculada considerando todos os resultados fornecidos pelos autores para uma mesma taxa de incorporação. Mesmo que um único artigo apresentasse mais de um resultado para um determinado índice de RCC na argamassa, o cálculo da taxa média de variação levou em conta todos os resultados disponíveis para essa taxa de substituição de resíduos entre os 20 artigos relacionados, e não apenas os dados isolados de um único estudo. Sua relevância está atrelada à variação da intensidade de determinadas propriedades físicas das argamassas entre os autores, tornando necessário o conhecimento da variação percebida pelos autores.

3.4.1 Análise do estado fresco

Em relação ao desempenho das argamassas no estado fresco da matéria, a Tabela 5 corresponde aos resultados obtidos nas análises de taxa de ar incorporado.

Tabela 5 – Taxa de ar incorporado nas argamassas

Índice de incorporação (%)	Taxa média de ar incorporado (%)	Taxa média de variação (%)	Quantidade de casos
0,00	7,85	0,00	5
5,00	5,13	-14,44	3
10,00	6,20	-9,33	4
15,00	7,67	+18,67	4
20,00	6,42	-6,56	5
25,00	7,68	+16,48	4
30,00	4,20	-58,00	1
50,00	6,03	-10,74	4
75,00	5,65	-14,84	4
100,00	2,91	-59,01	4

Fonte: Autor (2025)

Sobre a Tabela 5, tem-se que o teor médio de ar incluso nas argamassas sofre redução quando incorporadas de agregados artificiais, no entanto há uma tendência oposta nos índices de 15% e 25% de resíduos. Este comportamento foi semelhante ao encontrado nos estudos de Alexandre *et al.* (2023) que justificaram a diminuição de ar incluso através do efeito *filler* ao acrescentar resíduos cerâmicos. Além disso, a propensão na incorporação de 15% também foi observada nos estudos de Brito *et al.* (2019), atribuindo o acontecimento ao formato dos grãos.

Abdelouahed *et al.* (2022) também observaram que argamassas naturais têm mais conteúdo de ar incluso, pois os resíduos de mármore têm mais aderência entre os componentes em virtude da sua capacidade plastificante. No entanto, grãos de ladrilho ainda que desempenhem menores índices de ar em relação à mistura de referência, apresentam tendência de aumento com maiores taxas de incorporações. Já Anjos *et al.* (2019) encontraram redução na quantidade de ar incluso nas argamassas com a substituição por agregados residuais mistos.

Nesse sentido, a incorporação de agregados artificiais nas amostras de argamassa de forma geral causa declínio na quantidade de ar incluso na argamassa durante o estado fresco, devido à forma dos grãos ou sua origem. Por consequência, pode-se ter argamassas com maiores trabalhabilidades e menores densidade aparentes, conforme avaliado por Brito *et al.* (2019).

Além disso, essa minimização no índice de vazios pode aderir ganhos ao estado endurecido da matéria, como menor volume de poros, menores absorções por capilaridades e aumento no desempenho mecânico da argamassa.

Considerando a trabalhabilidade fator fundamental nas argamassas, tem-se na Tabela 6 as consistências médias avaliadas nas argamassas cimentícias.

Tabela 6 – Índices de consistência das argamassas

Índice de incorporação (%)	Consistência média (mm)	Taxa média de variação (%)	Quantidade de casos
0	182,54	0,00	8
1	124,50	-0,40	2
2	124,00	-0,80	2
3	124,13	-0,70	2
4	123,38	-1,30	2
5	143,15	-6,97	5
10	178,92	-2,79	6
15	166,70	-1,21	5
20	184,33	+0,40	6
25	186,50	-6,50	4
30	247,33	+0,69	3
50	185,80	-9,25	4
75	182,38	-15,01	4
100	178,88	-18,47	4

Fonte: Autor (2025)

Pela Tabela 6, tem-se concordância nos valores e variações médias na redução da consistência com incorporação parcial e total de resíduos nas argamassas, com exceção na substituição de 20% e 30%. No caso da aplicação de 20% de agregados artificiais, a distorção à tendência é mínima, enquanto que na taxa de 30% a justificativa baseia-se nos resultados dos estudos de Alexandre *et al.* (2023) uma vez que as consistências variaram de 257mm a 263mm. Neste trabalho de fato não houve redução na consistência, no entanto o aumento máximo foi de 6mm, 2,33% maior que a argamassa natural.

Derogarc *et al.* (2021), Huang *et al.* (2021) também encontraram menor consistência no aumento da substituição dos agregados residuais de madeira e de tijolo cerâmico em detrimento dos naturais, atribuindo o acontecimento à presença dos materiais finos que possuem maior área de superfície e, portanto, demandam maior quantidade de água, mas que não causou danos significativos na trabalhabilidade. No entanto, Abdelouahed *et al.* (2022) atestaram que resíduos de ladrilhos e blocos de concreto em incorporação de até 20% aumentam a consistência da argamassa em virtude do efeito *filler* que libera água retida nos grãos maiores.

Brito *et al.* (2019) estudaram taxas de incorporações de resíduos de até 20% e, fixando a consistência, observaram decréscimo no fator a/c devido ao efeito de preenchimento dos vazios

pelos grãos finos, enquanto Garg e Shrivastava (2023) e Anjos *et al.* (2019) observaram maior solitação de água para um mesmo aspecto da mistura.

Dessa forma, os índices de consistência das argamassas podem ser levemente afetados de maneira a não causar grandes danos na sua trabalhabilidade. Os grãos finos são os principais agentes que influenciam na variação deste parâmetro uma vez que podem aumentar solitação de água em virtude da sua maior área específica, mas também podem reduzir este fator ao expulsar a água contida nos poros dos grãos maiores através do efeito *filler*.

Quanto à densidade aparente, na Tabela 7 são apresentados os valores obtidos pelos autores em suas obras.

Tabela 7 – Densidade aparente das argamassas frescas

Índice de incorporação (%)	Densidade aparente média (g/cm³)	Taxa média de variação (%)	Quantidade de casos
0	2,02	0,00	9
5	2,34	+9,45	3
10	2,09	+2,96	9
15	2,16	+4,34	5
20	2,09	+2,85	9
25	2,02	-1,63	5
30	1,95	-1,41	4
40	1,35	-1,17	1
50	1,96	-3,68	8
75	1,96	-4,17	5
100	2,01	-5,49	7

Fonte: Autor (2025)

Diante do exposto, tem-se maior densidade das argamassas recicladas até a taxa de incorporação de 20%, revertendo o quadro para índices superiores de substituição como aconteceu com Anjos *et al.* (2021) com o índice de 100% de aplicação. Esse comportamento pode ser explicado pela relação de densidade aparente entre os grãos naturais e artificiais. Abdelouahed *et al.* (2022) atestam aumento máximo na taxa de 20% de substituição do agregado de mármore e justificam devido à maior densidade absoluta deste material. No entanto, Ayuso *et al.* (2015) utilizaram resíduos cerâmicos e observaram diminuição da densidade da argamassa uma vez que estes são mais leves que a areia natural.

Brito *et al.* (2019) explicam que além da relação da densidade dos grãos, o efeito *filler* pode ser outro fator influenciador. O efeito de preenchimento dos poros pelas partículas finas de concreto sobrepôs a situação de maior densidade do agregado natural. Anjos *et al.* (2019) ao

diminuírem a presença dos finos na mistura, encontraram menor densidade da argamassa devido à redução da compactação da mistura e ao aumento da quantidade de vazios.

Portanto, o comportamento observado na Tabela 7 aconteceu pela presença do conteúdo pulverulento e pela densidade das partículas. Até a taxa de 20%, o aumento da densidade da argamassa foi causado pelo preenchimento dos vazios mesmo que os resíduos sejam mais leves que a areia natural, no entanto a densidade dos grãos sobrepõe o efeito *filler* para índices superiores de incorporações de RCC.

Com isso, foi observado que a origem e forma do agregado reciclado interferem na taxa de ar incluso na argamassa cimentícia, mas que a densidade dos grãos e principalmente o efeito *filler* são os agentes incisivos nos índices de consistência e na densidade aparente das misturas. A presença de material fino proporciona maior necessidade de água, uma vez que sua área de superfície é maior e também expulsam água presente nos poros dos grãos.

3.4.2 Análise do estado endurecido

No que concerne análises sobre o estado endurecido das argamassas cimentícias com índices de RCC em sua composição, serão apresentados neste tópico os resultados dos ensaios mais utilizados entre os autores de acordo com seus índices de substituições.

Quanto ao coeficiente de capilaridade das amostras de estudo, observa-se na Tabela 8 os valores médios das suas intensidades.

Tabela 8 – Coeficiente médio de capilaridade das argamassas

Índice de incorporação (%)	Coeficiente médio de capilaridade (g/(cm ² *((min) ^{0,5})))	Taxa média de variação (%)	Quantidade de casos
0,00	0,05	0,00	5
10,00	0,02	-37,82	3
15,00	0,01	-38,89	2
20,00	0,03	-31,72	3
25,00	0,09	+3,00	5
30,00	0,09	-7,07	1
50,00	0,08	-5,41	5
75,00	0,06	-6,18	5
100,00	0,08	-5,96	8

Fonte: Autor (2025)

Em relação ao conteúdo da Tabela 8, tem-se melhorias nas infiltrações por capilaridade nas argamassas endurecidas para incorporações inferiores a 20% de RCC, indicando retardamento na velocidade de absorção de água. Alexandre *et al.* (2023) e Brito *et al.* (2019) obtiveram

situação semelhantes em seus trabalhos, em que o motivo atribuído foi o efeito *filler*, mesmo que o agregado misto seja menos impactante que o resíduo de concreto. A remoção do material pulverulento tem efeito significativo pois a absorção capilar atua inversamente proporcional à quantidade de pós na mistura, o que pode ser atribuído ao preenchimento dos microporos existentes nas argamassas.

Entretanto, Ayuso *et al.* (2015) ao obtiverem aumento de até 91% de absorção capilar com substituição integral de resíduos mistos, alertaram que possíveis consequências podem promover patologias derivadas do acúmulo de água em argamassa.

As variações observadas na Tabela 8 assemelham-se ao conteúdo da Tabela 7. De fato, o efeito *filler* proporciona argamassas mais compactas, com menor índice de vazios, maior densidade e menores volumes de poros interconectados que permitam a passagem de água por capilaridade. Todavia, esse prodígio é sobreposto pelos maiores índices de vazios nas argamassas com taxas de incorporações de RCC superiores a 20%, oferecendo riscos à argamassa.

Através da Tabela 9 tem-se os valores alcançados nos ensaios de absorção de água por imersão.

Tabela 9 – Absorções médias de água por imersão

Índice de incorporação (%)	Absorção média (%)	Taxa média de variação (%)	Quantidade de casos
0,00	11,20	0,00	11
5,00	9,28	-9,87	3
10,00	9,71	+3,01	7
15,00	9,75	-5,34	3
20,00	9,69	-5,51	4
25,00	13,80	+6,37	8
40,00	10,55	+4,04	1
50,00	14,78	+35,59	12
75,00	16,75	+35,58	8
100,00	17,93	+46,08	8

Fonte: Autor (2025)

Conforme a Tabela 9, observa-se melhoria nos desempenhos das argamassas em índices de substituições de até 20% da areia natural por artificial. Anjos *et al.* (2019) e Abdelouahed *et al.* (2022) justificaram essas reduções pela presença de partículas finas contribuindo com estruturas menos porosas. Nesse mesmo sentido, Hu *et al.* (2023) observaram que ao reutilizar resíduos de concreto ou de tijolo cerâmico, a absorção de água diminui uma vez que a estrutura dos poros é refinada.

Entretanto, ao aumentar a quantidade de resíduos, a absorção de água aumenta em virtude do acréscimo de material rugoso, do maior índice de poros pela menor proporção de finos e da característica própria dos grãos pulverulentos de maior absorção hídrica (Ayuso *et al.*, 2015; Cui *et al.*, 2022; Garg e Shrivastava, 2023; Azevedo *et al.*, 2022). Dessa forma, esses dois fatores se sobrepõem ao efeito *filler* e causam aumento da absorção de água para índices de RCC superiores a 20% na argamassa.

Outra característica física importante é a densidade aparente seca, pois está vinculada à resistência mecânica e porosidade. Observa-se na Tabela 10 os resultados desta propriedade em seu estado endurecido.

Tabela 10 – Densidade média aparente seca

Índice de incorporação (%)	Densidade aparente média (g/cm ³)	Taxa média de variação (%)	Quantidade de casos
0,00	1,87	0,00	8
10,00	1,93	+1,45	4
15,00	1,86	+0,27	2
20,00	1,91	+0,33	4
25,00	1,84	-0,61	6
30,00	1,93	-2,04	2
40,00	2,21	+1,30	1
50,00	1,80	-5,19	7
75,00	1,68	-9,21	6
100,00	1,62	-12,52	6

Fonte: Autor (2025)

Através da Tabela 10, percentuais de substituições de agregado residual em detrimento do natural em até 20% demonstram crescimento da densidade aparente seca em relação à argamassa. A diminuição na densidade aparente da argamassa endurecida está vinculada à massa específica dos grãos. À medida que aumenta o teor de resíduos mais leves que a areia natural, a argamassa tende a ser mais leve (Ayuso *et al.*, 2015; Andrade *et al.*, 2023; Alexandre *et al.*, 2023; Cui *et al.*, 2022; Andrade *et al.*, 2018; Brito *et al.*, 2019).

Contudo, conforme observado nas Tabelas 6 e 7, as argamassas com teores de RCC maiores que 25% tendem a absorver mais água que a argamassa natural e, por isso, inclinam a ter densidade aparente menor tanto pela água ser mais leve que o resíduo quanto pelo processo de secagem das amostras no seu endurecimento.

Através da Tabela 11 observa-se informações sobre valores médios do módulo de elasticidade das amostras em pauta.

Tabela 11 – Módulo de elasticidade médio das argamassas

Índice de incorporação (%)	Módulo de elasticidade médio (GPa)	Taxa média de variação (%)	Quantidade de casos
0,00	16,04	0,00	5
10,00	12,10	+16,35	2
15,00	13,00	+25,00	2
20,00	12,55	+20,68	2
25,00	10,83	-13,33	3
30,00	34,33	-11,96	3
50,00	18,92	-16,17	7
70,00	30,00	-9,40	3
75,00	8,59	-18,81	4
100,00	14,24	-22,86	9

Fonte: Autor (2025)

Através das informações expostas acerca do módulo de elasticidade, tem-se que os estudos demonstraram melhorias entre si em taxas inferiores a 20% de RCC nas argamassas. Nesse sentido, Brito *et al.* (2019) explicam esse comportamento da Tabela 11 em virtude do efeito *filler* que proporcionam argamassas mais compactas. Entretanto, como visto na Tabela 10, argamassas com índices de incorporações de resíduos superiores a 25% são menos densas e consequentemente menos compactas pela diminuição da proporção de material pulverulento na mistura. Essa redução na proporção de grãos finos na argamassa proporciona maior índice de vazios, diminuindo a elasticidade do material em análise.

Segundo Anjos *et al.* (2019), o pó residual ocupa os vazios da mistura, resultando em argamassas mais compactas e consequentemente mais resistentes e rígidas. Contudo, essa maior rigidez causa em média maior tensão interna, menor deformação e maior risco de ruptura (Anjos *et al.*, 2021; Azevedo *et al.*, 2022).

A NBR 13281-1 (ABNT, 2023) limita os módulos de elasticidade em valores até 14 GPa, havendo classes dentro de valores intermediários desse intervalo. Desse modo, apenas as amostras com agregados artificiais em índices de 10% a 20% são aceitos por norma, somadas ao produto com 75% de incorporação.

Pela Tabela 12 tem-se o desempenho das amostras em pauta no que diz respeito à porosidade, uma das características mais utilizadas como justificativa dos parâmetros de qualidade do estudo.

Tabela 12 – Porosidade das argamassas

Índice de incorporação (%)	Porosidade média (%)	Taxa média de variação (%)	Quantidade de casos
0,00	21,77	0,00	9
10,00	19,85	+1,63	6
15,00	21,45	-2,94	2
20,00	20,14	-1,77	3
25,00	25,90	+3,84	8
30,00	23,58	+19,34	4
40,00	18,38	+4,97	1
50,00	27,59	+23,29	13
75,00	30,69	+27,92	8
100,00	32,19	+24,58	12

Fonte: Autor (2025)

À vista do exposto na Tabela 12, incorporações de RCC até 20% indicam ganhos nos índices de porosidade das argamassas, compactuando com os trabalhos Brito *et al.* (2019) que observaram diminuição da porosidade nas substituições de até 20% de agregados naturais por resíduos de concreto ou mistos devido ao efeito *filler*. A substituição de areia natural por artificial diminui o diâmetro médio dos poros e também a porosidade da argamassa em virtude do teor de finos residuais que preenchem os poros na pasta, contribuindo para uma melhoria da estrutura dos poros e uma microestrutura mais densa (Hu *et al.*, 2023; Derogarc *et al.*; 2021).

Além disso, algumas propriedades físicas importantes da argamassa dependem do desempenho da porosidade (Cui *et al.*, 2022), como pode-se observar na Tabela 8 em que o coeficiente de capilaridade apresenta comportamento idêntico ao de porosidade visto que o maior volume de poros principalmente interligar proporcionam maior facilidade de absorção capilar da água.

A densidade aparente das argamassas frescas, de acordo com a Tabela 10, mostrou redução em incorporações de RCC superior à taxa de 25% em que o efeito *filler* perde atuação na mistura. A água presente nos vazios das argamassas frescas desaparece no processo de secagem da mistura, deixando mais vazios na mistura (Anjos *et al.*, 2019; Kaid *et al.*, 2023).

Tratando das resistências à adesão, tem-se pela Tabela 13 as médias dos resultados obtidos pelos autores.

Tabela 13 – Resistência à adesão das argamassas

Índice de incorporação (%)	Resistência média à adesão (MPa)	Taxa média de variação (%)	Quantidade de casos
0,00	0,49	0,00	7
10,00	0,65	+12,07	1
15,00	0,64	+16,36	1
20,00	0,72	+27,24	2
25,00	0,29	-8,11	4
30,00	0,75	+5,45	3
40,00	0,73	+25,86	1
50,00	0,36	-7,49	8
75,00	0,29	-15,97	7
100,00	0,28	-19,33	10

Fonte: Autor (2025)

De acordo com a Tabela 13, as argamassas artificiais tendem melhorias na resistência à adesão com índices de incorporação de RCC de até 40%. Brito *et al.* (2019), Azevedo *et al.* (2022) e Anjos *et al.* (2019) concordam que a presença de materiais finos proporciona melhorias para a resistência à adesão das argamassas por fornecer uma interface mais forte entre o substrato e o revestimento cimentício.

No entanto, para altas taxas de substituição há uma tendência de redução da resistência à adesão da mistura devido à textura áspera do material (Andrade *et al.*, 2018).

Além disso, Gehlot e Shrivastava (2024) e Andrade *et al.* (2018) atribuem performance na resistência à adesão das argamassas residuais sobre a origem do agregado reciclado. O agregado de granito e material cerâmico proporcionam maior resistência à adesão em virtude da melhor ligação de partículas finas.

Com a Tabela 14, por sua vez, visualiza-se os valores obtidos para a resistência à compressão, propriedade da argamassa mais estudada entre os autores.

Tabela 14 – Resistência à compressão das argamassas

Índice de incorporação (%)	Resistência média à compressão (MPa)	Taxa média de variação (%)	Quantidade de casos
0,00	25,08	0,00	24
1,00	45,25	-1,63	2
2,00	45,50	-1,09	2
3,00	45,00	-2,18	2
4,00	44,50	-3,26	2
5,00	43,24	+6,43	7
10,00	32,87	+0,90	14
15,00	28,12	+0,29	5
20,00	33,46	+4,00	11
25,00	14,00	-0,07	12
30,00	40,96	+5,81	14
40,00	7,97	+57,20	1
50,00	28,99	-0,67	23
70,00	65,50	-0,06	3
75,00	14,66	-0,07	12
100,00	24,85	-0,15	20

Fonte: Autor (2025)

Os ganhos no desempenhos à compressão das argamassas podem estar vinculados à origem do resíduo, como observado por Brito *et al.* (2019), em que observa-se melhorias nas taxas de até 20% com agregados mistos ou de concreto, enquanto Gehlot e Shrivastava (2024), Hu *et al.* (2023), Abdelouahed *et al.* (2022), Cui *et al.* (2022) e Cioffi e Colangelo (2017) afirmam que os resíduos de granito e de tijolos cerâmicos, exceto no caso de substituição integral, aderem valores maiores de resistência à compressão para a argamassa devido ao efeito *filler* que provoca microestruturas mais densas e com menos vazios. Entretanto, Ayuso *et al.* (2015) e Andrade *et al.* (2018) atestam que o aumento na incorporação de resíduos de alvenaria cerâmica reduz a resistência à compressão.

De fato, pela Tabela 12 observa-se que o incremento de resíduos na argamassa após índice de 20% caracteriza misturas com maior quantidade de vazios. Essas amostras consequentemente apresentam redução quanto à resistência à compressão. Este comportamento também é observado na Tabela 7 sobre densidade aparente da argamassa fresca uma vez que seus menores resultados podem estar vinculados ao maior número de poros.

Além disso, tem-se a resistência à tração na flexão, exibindo sua performance na Tabela 15.

Tabela 15 – Resistência à flexão das argamassas

Índice de incorporação (%)	Resistência média à flexão (MPa)	Taxa média de variação (%)	Quantidade de casos
0,00	4,15	0,00	22
1,00	4,20	-8,70	2
2,00	3,95	-14,13	2
3,00	3,65	-20,65	2
4,00	3,30	-28,26	2
5,00	5,34	-5,94	5
10,00	6,22	+10,68	12
15,00	4,60	+9,18	5
20,00	5,94	+16,00	9
25,00	3,20	-2,11	12
30,00	5,59	-2,88	9
40,00	2,73	+17,17	1
50,00	4,20	-10,89	19
75,00	3,11	-0,06	13
100,00	3,23	-0,15	15

Fonte: Autor (2025)

Referente à Tabela 15, tem-se ganhos significativos em taxas de incorporação entre 5% e 30%, em concordância com alguns autores. Brito *et al.* (2019), Abdelouahed *et al.* (2022), Azevedo *et al.* (2022) e Alexandre *et al.* (2023) observaram que a utilização de agregados reciclados em incorporações parciais adere ganhos na resistência à flexão da argamassa em virtude do efeito *filler* e da melhor adesão entre os agregados residuais. Em contrapartida, Anjos *et al.* (2019) atestaram que a remoção do pó de agregados residuais mistos não teve efeitos significativos na resistência à flexão uma vez que o fator determinante na obtenção dos resultados foi o formato irregular dos grãos.

Sob grandes índices de incorporação de resíduos, Andrade *et al.* (2023) e Ayuso *et al.* (2015) encontraram redução de desempenho mecânico nas argamassas com o aumento dos resíduos na mistura.

Dessa forma, tem-se que a forma dos grãos e principalmente os preenchimentos dos poros pelas partículas finas aderem melhorias em relação à resistência mecânica em função de uma microestrutura mais compacta. Entretanto, como já observado em outras características, o efeito *filler* não é fator determinante quando a taxa de resíduos aumenta tornando o material mais poroso e com menor desempenho mecânico.

Com isso, tem-se que o efeito *filler* em incorporações de até 20% de resíduos nas argamassas cimentícias é o fator predominante para os ganhos de desempenho, uma vez que promovendo o preenchimento dos microporos torna o produto final com estrutura dos poros mais refinada e consequentemente mais compacta. Nas taxas de incorporação residual das argamassas de

cimento Portland, acima de 25%, o efeito *filler* é sobreposto pelas características intrínsecas dos grãos artificiais, como sua estrutura mais rugosa e mais leve que a areia natural. Esses comportamentos refletem em variações nos desempenhos em diferentes parâmetros que se relacionam entre si, como o aumento da densidade e da resistência à compressão em exemplo.

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a incorporação de RCC em argamassas cimentícias. Com a coleta de 20 artigos de Qualis A1, foram obtidos os resultados dos parâmetros das argamassas analisados pelos autores em seus procedimentos de ensaios. Essas informações mostraram-se relacionadas, considerando o estado de caracterização dos resíduos e os estados fresco e endurecido das argamassas.

Em relação à caracterização dos grãos, o agregado artificial apresenta características que irão interferir diretamente nos comportamentos das argamassas cimentícias em seus estados frescos e endurecidos. Sua menor densidade, maior área específica e maior presença de finos são fatores incisivos uma vez que promovem alterações significativas e alternam os desempenhos dependendo da relação entre areia natural e residual na argamassa cimentícia.

Ao analisar os resultados obtidos no estado fresco, observa-se que a reestruturação das argamassas a partir da presença dos finos em taxas de até 20% de substituição proporcionam indicativos de ganhos em seu desempenho final, como reduções de 6,56% na taxa de ar incorporado no estado fresco, 31,72% no coeficiente de capilaridade, 5,51% na absorção por imersão e 1,77% de porosidade no estado endurecido, e aumentos de 27,24%, 4% e 16% nas resistências à adesão, compressão e flexão respectivamente. A diminuição parcial de taxa de ar incluso na argamassa no estado fresco indica uma possível argamassa endurecida mais densa e, portanto, mais compacta e rígida.

No estado endurecido, as análises de desempenho das argamassas cimentícias tornam evidente a correlação entre os desempenhos nos parâmetros da matéria em questão. As variações estudadas na absorção por capilaridade e taxas de porosidade relacionam-se harmonicamente uma vez que são grandezas diretamente proporcionais como visto nos ensaios. Além disso, a densidade, módulo de elasticidade e resistência à compressão também são exemplos de parâmetro físicos das argamassas de grandezas diretamente proporcionais e que os resultados dos ensaios foram condizentes com isso.

Melhores resultados técnicos estão vinculados à incorporação de até 20% de RCC à argamassa, levando em consideração os ganhos em coeficiente de capilaridade, absorção de

água por imersão, módulo de elasticidade, porosidade ou resistência à adesão, compressão e flexão (Abdelouahed *et al.*, 2022; Hu *et al.*, 2023; Alexandre *et al.*, 2023; Brito *et al.*, 2019; Andrade *et al.*, 2023).

Entretanto, ainda dentro dos limites das normas técnicas brasileiras regulamentadoras, é possível verificar ganhos para taxas de 75% de substituição de grão natural por residual em coeficiente de capilaridade (Anjos *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2021), mas apresentam déficit em módulo de elasticidade, absorção de água por imersão, porosidade, resistência à adesão, compressão e flexão (Ayuso *et al.*, 2015; Andrade *et al.*, 2023; Garg; Shrivastava, 2023; Andrade *et al.*, 2018; Anjos *et al.*, 2019; Ferro *et al.*, 2016). Logo, para circunstâncias menos criteriosas pode haver o uso de RCC em argamassa cimentícia para tal índice de incorporação.

Dessa forma, tendo em vista os resultados coletados entre os estudos revisados, é recomendável que seja utilizada incorporação de RCC como substituto do agregado miúdo em argamassas cimentícias com taxas de até 20%. Nessa circunstância, será promovida a reciclagem de resíduos nocivos à sociedade, redução da busca por areia natural e ganhos nos desempenhos das argamassas nos estados frescos e endurecidos, além de atender requisitos necessários para estar em conformidade com a norma NBR 13281-1 (ABNT, 2023).

As características dos grãos e das argamassas apresentam tendências conforme origem do resíduo utilizado. Dessa forma, faz-se imprescindível o conhecimento do comportamento característico esperado para as argamassas de acordo com sua composição para que se obtenham os resultados desejados para um determinado objetivo.

Para futuras revisões bibliográficas, torna-se aconselhável fazer análises em função da origem do resíduo uma vez que esta característica adere tendências nas propriedades físicas das argamassas. Além disso, restringir o intervalo de taxas de incorporação, intervalo de traço ou a granulometria das partículas promoverá melhores resultados pois essas variáveis afetam o desempenho do produto. Tais práticas contribuem para análises mais precisas e conclusões mais consistentes entre os resultados obtidos pelos autores.

REFERÊNCIAS

ABDELOUAHED, A.; BOUGHAMSSA, W.; KHERRAF, L. **Comparative study on the performance of sand-based mortars from marble, floor tile and cinder block waste.** Journal of Building Engineering, Skikda, v. 45, 2022.

ACORDI, J.; FABRIS, D.; MONTEDO, O.; NONI JUNIOR, A.; PEREIRA, F. R. **New waste-based supplementary cementitious materials: Mortars and concrete formulations.** Construction and Building Materials, Florianópolis, v. 240, 2020.

AGUIAR, J. B.; CASTRO, F.; COSTA, D.; SANDRA C. **Mortars with the incorporation of treated ceramic molds shells wastes**. Construction and Building Materials, Lisboa, v. 105, 2023.

ALEXANDRE, J.; AZVEDO, A. R. G.; BARROSO, L. S.; CHERENE, M. G. P.; MONTEIRO, S. N.; OLIVEIRA, J. **Technological and microstructural perspective of the use of ceramic waste in cement-based mortars**. Construction and Building Materials, Rio de Janeiro, v. 367, 2023.

ANDRADE, J. J. O.; ORTOLAN, T. L. P.; POSSAN, E.; SQUIAVON, J. Z. **Evaluation of mechanical properties and carbonation of mortars produced with construction and demolition waste**. Construction and Building Materials, Porto Alegre, v. 161, 2018.

ANDRADE, J. J. O.; BORGES, P. M.; NEVES JUNIOR, A.; POSSAN, E.; RIGO, E.; SCHIAVON, J. Z.; SILVA, S. R. **Mortars with recycled aggregate of construction and demolition waste: Mechanical properties and carbon uptake**. Construction and Building Materials, Porto Alegre, v. 387, 2023.

ANJOS, M. A.; FERREIRA, R. L.; LEDESMA, E.; NÓBREGA, A. K.; PEREIRA, J. E. **The role of powder content of the recycled aggregates of CDW in the behaviour of rendering mortars**. Construction and Building Materials, Natal, v. 208, 2019.

ANJOS, M. A. S.; AZEVEDO, A. R. G.; BRITO, J.; FERREIRA, R. L. S.; MAIA, C.; PINTO, L. **Long-term analysis of the physical properties of the mixed recycled aggregate and their effect on the properties of mortars**. Construction and Building Materials, Santa Maria, v. 274, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13281-1**: Argamassas inorgânicas - Requisitos e métodos de ensaios. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSUNÇÃO, L. T.; BARATA, M. S.; CARVALHO, G. F. **Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e de demolição como agregado**. Exacta, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 223-230, dez. 2007.

AYUSO, J.; BRITO, J. FERNÁNDEZ, J. M.; JIMÉNEZ, J. R.; LEDESMA, E. F. **Maximum feasible use of recycled sand from construction and demolition waste for eco-mortar production – Part-I: ceramic masonry waste**. Journal of Cleaner Production, Córdoba, v. 87, 2015.

AZEVEDO, A. R. G.; GASTALDINI, A. L. G.; MATOS, P. R.; PELISSER, F.; RUVIARO, A. S. **Long-term effect of recycled aggregate on microstructure, mechanical properties, and CO₂ sequestration of rendering mortars**. Construction and Building Materials, Santa Maria, v. 321, 2022.

- BAI, T.; BAI, Y.; CHEN, K.; CHENG, S.; LIU, Q.; SINGH, A.; SUN, C. **Effects of varied building solid wastes, particle sizes and substitution ratios on the performance and impedance spectrum of recycled fine aggregate mortar and the feasibility of developing a prediction method.** Journal of Building Engineering, Pequim, v. 83, 2024.
- BARBOZA, L. S.; BATISTA, V. M.; NEVES, K. V.; SANTOS, R. S. **Estudo da viabilidade da utilização de cerâmica para fabricação de argamassa.** Revista Matéria, v. 25, n. 4, Engenheiro Coelho, 2020.
- BELIE, N.; BOSQUE, S. S.; MEDINA C.; ROJAS, M. S.; VELARDO, P. **Effect of incorporating biomass bottom ash and construction and demolition waste powder on the physical-mechanical properties and micro-structure of ternary-blended mortars.** Construction and Building Materials, Cáceres, v. 432, 2024.
- BORJA, E. V.; MENDES, B. S. **Estudo experimental das propriedades físicas de argamassas com adição de resíduos de cerâmicas vermelhas recicladas.** HOLOS, Rio Grande do Norte, vol. 3, 2007.
- BOTELHO, J. M.; CRUZ, V. A. G. **Metodologia Científica.** UNOPAR, São Paulo, 2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 307, de 05 de julho de 2002, n. 136, de 17 de julho de 2002, p. 95-96.**
- BRITO, J.; DHIR, R. K.; SILVA, R. V. **Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes.** Construction and Building Materials, Lisboa, v. 105, 2016.
- BRITO, J.; FARINHA, C. B.; JESUS, S.; MAIA, C.; VEIGA, R. **Rendering mortars with incorporation of very fine aggregates from construction and demolition waste.** Construction and Building Materials, Lisboa, v. 229, 2019.
- CALLEJAS, I. J. A.; SCHEIFER, D. M. **Caracterização física e mecânica de blocos de concreto com incorporação de areia de resíduo de construção civil.** Revista Matéria, v.26, n. 4, Rio de Janeiro, 2021.
- CIOFFI, R.; COLANGELO, F. **Mechanical properties and durability of mortar containing fine fraction of demolition wastes produced by selective demolition in South Italy.** Construction and Building Materials, Nápoles, v. 115, 2017.
- CUI, W.; GUO, Y.; QUE, C.; ZHANG, S.; ZOU, D. **Feasibility of recycling autoclaved aerated concrete waste for partial sand replacement in mortar.** Journal of Building Engineering, Skikda, v. 45, 2022.
- CULCU, M. B.; ULAS, M. A.; ULUCAN, M. **Valorization of recycled aggregates to eco-efficient lightweight self-compacting mortars: Studies on microstructure, mechanical, durability, environmental, and economic properties.** Construction and Building Materials, Elazig, v. 419, 2024.

- DAMIDOT, D.; REMOND, S.; XU, W.; ZHAO, Z. **Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars**. Construction and Building Materials, Lille, v. 81, 2015.
- DEROGARC, S.; INCE, C.; TAYANÇLI, S. **Recycling waste wood in cement mortars towards the regeneration of sustainable environment**. Construction and Building Materials, Mersin, v. 299, 2021.
- DUAN, H.; LI, J. **Construction and demolition waste management: China's lessons**. Waste Management & Research, Shenzhen, v. 34, 2016.
- DUAN, Z.; HOU, S.; SINGH, A.; XIAO, J. **Rheological properties of mortar containing recycled powders from construction and demolition wastes**. Construction and Building Materials, Shanghai, v. 237, 2020.
- FERRO, G. A.; RESTUCCIA, L.; SPOTO, C.; TULLIANI, J. M. **Mortar Made of Recycled Sand from C&D**. Procedia Engineering, Torino, v. 109, 2015.
- FERRO, G. A.; RESTUCCIA, L.; SPOTO, C.; TULLIANI, J. M. **Recycled Mortars with C&D Waste**. Procedia Engineering, Torino, v. 2, 2016.
- GARG, N.; SHRIVASTAVA, S. **Mechanical, durability and sustainability assessment of rendering mortar with synergistic utilisation of recycled concrete and ceramic insulator fine aggregates**. Journal of Building Engineering, Jaipur, v. 76, 2023.
- GEHLOT, M. R.; SHRIVASTAVA, S. **Development of rendering mortar from granite cutting waste and impact of accelerated aging environment on its adhesive strength**. Construction and Building Materials, Jaipur, v. 411, 2024.
- GOMES JÚNIOR, E. **Diagnóstico da gestão e impactos ambientais dos resíduos da construção e demolição**. Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Caruaru, 2022.
- HIGASHIYAMA, H.; SANO, M.; TAKAHASHI, O.; YAGISHITA, F. **Compressive strength and resistance to chloride penetration of mortars using ceramic waste as fine aggregate**. Construction and Building Materials, Osaka, v. 26, 2012.
- HU, Q.; MA, Z.; WU, H.; YANG, D. **Micro-macro characterizations of mortar containing construction waste fines as replacement of cement and sand: A comparative study**. Construction and Building Materials, Yangzhou, v. 383, 2023.
- HUANG, Q.; LIU, D.; WANG, C.; XIONG, G.; ZHAO, L.; ZHU, X. **Recycling of crushed waste clay brick as aggregates in cement mortars: An approach from macro- and micro-scale investigation**. Construction and Building Materials, Chongqing, v. 274, 2021.
- JAGADESH, P.; MUTHU, A. H.; MYDIN, M. A. O.; OYEBISI, S.; RELAXADO, V. V.; SARULATHA, A.; SOR, N. A.; SUPIKSHAA, K. **Recycled concrete powder on cement mortar: Physico-mechanical effects and lifecycle assessments**. Journal of Building Engineering, Tamil Nadu, v. 86, 2024.

KAID, N.; KERDAL, D. E.; KHELAFI, A.; KHELAFI, H.; SOLTANI, R. **Elaboration of recycled concrete sand aggregates-based mortars: An alternative recycling process.** Construction and Building Materials, Oran, v. 398, 2023.

LI, B.; LIU, Q.; SINGH, A.; XIAO, J. **Utilization potential of aerated concrete block powder and clay brick powder from C&D waste.** Construction and Building Materials, Shanghai, v. 238, 2020.

LIMA, R. A. **Identificação dos locais de descarte inadequado de resíduos da construção civil na área urbana do município de Campina Grande - PB.** Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Campina Grande, 2020.

LOPES, D. F.; SILVA, S. N. **Avaliação das propriedades de argamassas cimentícias com adição de resíduos da geração termoeleétrica.** Revista Matéria, v.26, n. 4, Bagé, 2021. Materials, Lisboa, v. 105, 2016.

LUKIANCHUKI, J. A.; SOUZA, J. M. **Resíduos de construção civil: Geração, gestão e uso para fins de pavimentação.** Encontro Internacional de Produção Científica - EPCC, Maringá, 2019.

MACHADO, F. C. **Reutilização da casca cerâmica do processo de fundição por cera perdida, como adição em matrizes cimentícias.** Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MESQUITA, A. S. G. **Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí.** HOLOS, Natal, vol. 2, 2012.

NAGHIZADEH, A.; OHEMENG, E. A. **Alternative cleaner production of masonry mortar from fly ash and waste concrete powder.** Construction and Building Materials, Johannesburg, v. 374, 2023.

PATEL, D.; SHRIVASTAVA, R.; TIWARI, R.; YADAV, R. **Properties of cement mortar in substitution with waste fine glass powder and environmental impact study.** Journal of Building Engineering, Jabalpur, v. 27, 2020.

PEREIRA, C. H. A. F.; SANTANA, T. S. **Avaliação da influência da utilização de agregado miúdo reciclado em argamassas estabilizadas.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 305-318, jul./set. 2020.

PESQUISA SETORIAL ABRECON 2020: **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil** / organizadores S. C. Angulo; L. S. Oliveira, L. Machado – São Paulo: Epusp, 2022. 104 p.

RIBEIRO, G. M. A.; SANTOS, F. R. A. **A importância da gestão de resíduos na construção civil: Estudo de caso.** Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia - SENAI CIMATEC, Salvador, 2018.

RODRIGUES, W. C. **Metodologia Científica.** FAETEC/IST, Paracambi, 2007.

SANTANA, I. C. Análise dos impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos de construção e demolição em Conceição do Almeida - BA. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas, 2016.

SILVA, N. R. Diagnóstico ambiental dos resíduos de construção e demolição depositados de forma inadequada em Caruaru/PE. Centro Universitário Tabosa de Almeida - ASCES/UNITA, Caruaru, 2017.

MELQUISEDEQUE DO NASCIMENTO BRITO

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM ARGAMASSAS
DE CIMENTO PORTLAND: revisão de literatura**

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 14 de abril de 2025.

BANCA EXAMINADORA

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

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

Profa. Ma. Martina Tamires Lins Cezano (Avaliadora)
Universidade Federal de Pernambuco