



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

Reinaldo Chaves da Costa

**USO DO AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO EM ELEMENTOS
ESTRUTURAIS: Uma revisão sistemática da literatura.**

Belém – PA
2026

Reinaldo Chaves da Costa

**USO DO AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO EM ELEMENTOS
ESTRUTURAIS: uma revisão sistemática da literatura.**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido a Faculdade de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Lima Souza.

Belém – PA

2026

Reinaldo Chaves da Costa

**USO DO AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO EM ELEMENTOS
ESTRUTURAIS: uma revisão sistemática da literatura.**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido a Faculdade de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Lima Souza.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Sergio Lima Souza
Orientador

Profa. Dra. Isaura Nazare Lobato Paes
UFPA

Profa. Dra. Luciana de Nazare Pinheiro Cordeiro
UFPA

Belém – PA
2026

Dedico este trabalho a todos que contribuíram para que eu alcançasse esta etapa da minha formação acadêmica. O apoio, o incentivo e a confiança recebidos foram fundamentais para a concretização deste objetivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais Maria e Nonato, pelos ensinamentos e pelo apoio incondicional ao longo de toda a minha trajetória.

À minha companheira Layse, pelo suporte, compreensão e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho, contribuindo de forma significativa para a superação dos desafios enfrentados nessa graduação.

Ao meu orientador, pela orientação técnica e pelas contribuições metodológicas essenciais para a elaboração e consolidação deste trabalho.

À instituição onde trabalho, pelo apoio institucional e pela flexibilidade concedida durante o período de desenvolvimento deste trabalho, possibilitando a adequada conciliação entre as atividades profissionais e acadêmicas.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente me ajudaram a chegar até aqui, registro meus sinceros agradecimentos.

Resumo: Este trabalho tem como objetivo realizar, por meio de uma revisão sistemática da literatura (RSL), um estudo sobre o uso do agregado reciclado de concreto (ARC) em elementos estruturais. Os resultados indicam que o uso do agregado reciclado (AR) é tecnicamente viável, especialmente em substituições parciais entre 10% e 50%, que mantêm desempenho estrutural semelhante ao concreto convencional. Embora possam ocorrer reduções nas propriedades mecânicas em substituições elevadas, o emprego de adições minerais, métodos adequados de dosagem e tratamentos do agregado melhora significativamente o desempenho. Além disso, o material contribui para a redução de impactos ambientais, evidenciando seu potencial como alternativa sustentável na construção civil.

Palavras-chave: Agregado reciclado de concreto. Concreto reciclado. Elementos estruturais. Revisão sistemática da literatura.

Abstract: This work aims to conduct, through a systematic literature review, a study on the use of recycled concrete aggregate in structural elements. The results indicate that the use of recycled aggregate is technically feasible, especially in partial replacements between 10% and 50%, which maintain structural performance similar to conventional concrete. Although reductions in mechanical properties may occur in high replacements, the use of mineral additions, appropriate dosage methods and aggregate treatments significantly improves performance. In addition, the material contributes to the reduction of environmental impacts, highlighting its potential as a sustainable alternative in civil construction.

Keywords: Recycled concrete aggregate. Recycled concrete. Structural elements. Systematic review of the literature.

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Estratégias de busca..... | 11 |
| Quadro 2 – Fluxograma PRISMA dos artigos selecionados..... | 12 |
| Quadro 3 – Artigos escolhidos. | 13 |
| Quadro 4 – Síntese dos artigos..... | 14 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Artigos por ano de publicação..... | 16 |
| Gráfico 2 – Artigos por abordagem principal..... | 16 |

LISTA DE ABREVIATURAS

RSL – Revisão Sistemática da Literatura

ARC – Agregado Reciclado de Concreto

AR – Agregado Reciclado

RCD – Resíduos de construção e Demolição

CR – Concreto Reciclado

AN – Agregado Natural

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. METODOLOGIA..... | 11 |
| 2.1. ESTRATÉGIAS DE BUSCA..... | 11 |
| 3. RESULTADOS E DISCURSÃO..... | 14 |
| 3.1. RESISTÊNCIA MECÂNICA | 17 |
| 3.2. CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO | 18 |
| 3.3. ADIÇÕES MINERAIS, MÉTODOS DE DOSAGEM E TRATAMENTOS..... | 18 |
| 3.4. IMPACTOS AMBIENTAIS | 19 |
| 4. CONCLUSÃO..... | 20 |
| 5. REFERÊNCIAS | 22 |

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo, a urbanização acelerada gera uma crescente demanda por concreto, o que conseqüentemente gera um alto consumo de materiais naturais como areia e cascalho e uma grande produção de resíduos de construção e demolição (RCD) [1]. Somente na China, foram produzidos cerca de 1,5 bilhões de toneladas de resíduos de construções [2].

Desta forma, é viável encontrar soluções para o reaproveitamento desses resíduos. O concreto reciclado (CR) pode trazer benefícios tanto ambientais quanto econômicos, como a redução de carbono e a diminuição nos custos de fabricação e transporte [3]. O uso do AR tem benefícios ambientais como a conservação de reservas de agregado natural e benefícios econômicos como a redução de RCD [4].

Além dos benefícios ambientais e econômicos, o CR tem ótimas características mecânicas. A substituição de agregados naturais (AN) por AR em determinado percentual, pode atender os requisitos de resistência à compressão e resulta em resistência à tração semelhante [5,6]. Além disso, a incorporação de uma mistura mineral ou o uso de agregado reciclado originário de concreto de maior resistência pode minimizar o problema de durabilidade no concreto com agregado reciclado [7].

Apesar dos benefícios, desafios técnicos ainda precisam ser superados para a adoção ampla do CR. A alta variabilidade na qualidade dos agregados pode afetar a qualidade do concreto produzido [8]. A utilização de materiais reciclados, devido a sua maior absorção, tende a gerar um aumento na relação água-cimento para atender ao abatimento necessário, o que pode afetar diretamente a resistência e a durabilidade do concreto [9].

Este trabalho tem como principal objetivo, fazer uma RSL sobre o uso do concreto reciclado em elementos estruturais. Essa revisão busca filtrar artigos que sintetizem os pontos positivos e negativos do potencial uso do CR em peças que exigem resistência, com o intuito de sintetizar o conhecimento atual sobre este tema na construção civil.

2. METODOLOGIA

Este artigo utilizou o método de RSL, que se baseia em uma pesquisa ampla em bases de dados confiáveis por artigos que tratem de um tema pré-determinado e apresentar as bases de dados escolhidas, os critérios de busca, a eliminação e exclusão de artigos e realize uma análise criteriosa dos dados encontrados [10].

Uma revisão sistemática precisa seguir uma sequência de passos, de acordo com um protocolo inicialmente desenvolvido [11].

2.1. Estratégias de busca

A estratégia de busca realizada foi determinar os termos de busca com palavras que estejam ligadas ao tema do trabalho, para a definição de uma string de busca e utilizá-la nas bases de dados de pesquisa escolhidas com filtros que retornassem uma seleção mais adequada de artigos, para que depois seja realizada a aplicação dos critérios de seleção e de exclusão dos artigos [12].

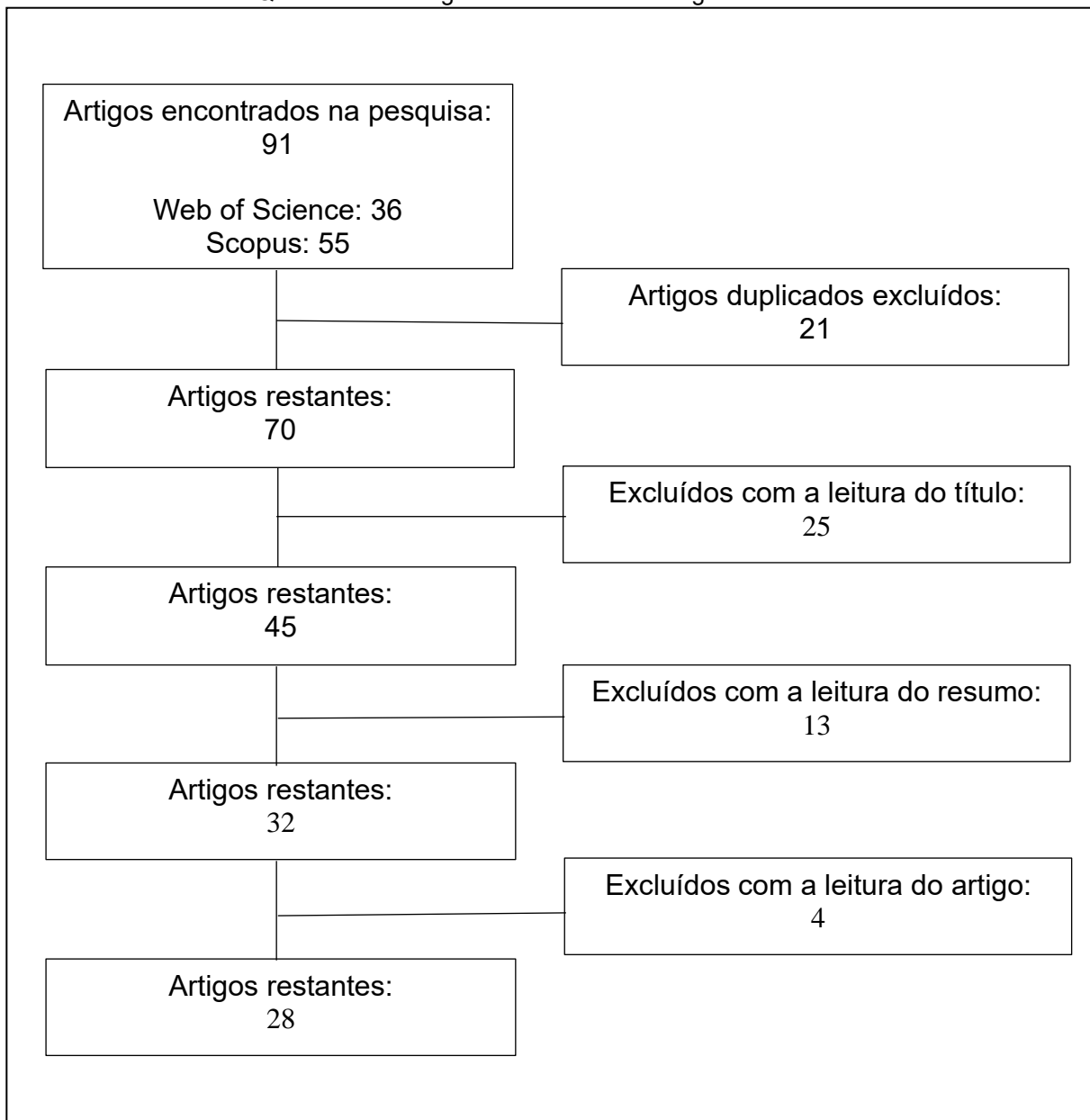
Quadro 1 – Estratégias de busca.

| | |
|-----------------------------|---|
| Termos de busca | recycled concrete Aggregate, beam, Pillar, slab, foundation, structural concrete, performance e resistance. |
| String de busca | "recycled concrete Aggregate" and ("beam" or "Pillar" or "slab" or "foundation" or "structural concrete") and ("performance" or "resistance") |
| Bases de dados | Web of science e Scopus |
| Critérios de seleção | Aderência ao tema “uso do agregado reciclado de concreto em elementos estruturais” |

Fonte: Autor, 2026.

A exclusão dos artigos foi realizada inicialmente por meio da remoção de duplicatas. Em seguida, procedeu-se à verificação da aderência ao tema proposto, eliminando trabalhos que abordavam outros tipos de AR que não o concreto e estudos que não tratavam de elementos estruturais. Esse processo ocorreu de forma sequencial, utilizando o fluxograma PRISMA, iniciando pela leitura dos títulos, seguido da análise dos resumos e, por fim, pela leitura integral dos artigos selecionados [11, 13].

Quadro 2 – Fluxograma PRISMA dos artigos selecionados.



Fonte: Autor, 2026.

Os artigos restantes foram escolhidos para a revisão sistemas e estão listados no quadro 3 a seguir:

Quadro 3 – Artigos escolhidos.

| Título | Ano | Autoria |
|---|------|---------------------|
| Experimental investigation of the flexural performance of continuous self-compacting concrete beams with natural and recycled aggregates | 2026 | Petrovic et al. |
| Towards sustainable building materials: an experimental investigation into the effect of recycled construction waste aggregate on the properties of high-performance concrete | 2025 | Gandel et al. |
| Utilization of recycled concrete materials in concrete production: methodology, characterization, and performance evaluation | 2025 | Baldania et al. |
| Structural and service performance of composite slabs with high recycled aggregate concrete contents | 2024 | Kefyalew et al. |
| Biaxial shear behavior of recycled concrete aggregate reinforced concrete beams | 2023 | Aldmour et al. |
| Mechanical and gwp assessment of concrete using blast furnace slag, silica fume and recycled aggregate | 2023 | Shamass et al. |
| Effect of replacement ratio on torsional behaviour of recycled aggregate concrete beams | 2023 | Masne e suryawanchi |
| Flexural strength of concrete beams made of recycled aggregates: an experimental and soft computing-based study | 2022 | Momeni et al. |
| A study of the structural behavior of recycled-concrete haunched beams with web opening | 2022 | Mosa e abbas |
| Experimental analysis of recycled aggregate concrete beams and correction formulas for the crack resistance calculation | 2022 | Chen et al. |
| Shear performance of concrete beams with a maximum size of recycled concrete aggregate | 2022 | Odero et al. |
| Performance assessment of recycled concrete aggregate from a 60-year-old stadium: a comparative study with laboratory-produced aggregate | 2025 | Cordeiro et al. |
| Shear and flexural performance of reinforced concrete beams with recycled concrete aggregates | 2025 | Özkiliç et al. |
| The influence of recycled concrete aggregate on crack development and bending capacity of a reinforced concrete beam | 2025 | Nir e leibovich |
| The effect of utilizing concrete waste as coarse and fine aggregate on the concrete properties | 2025 | Falah et al. |
| Effect of coarse recycled concrete aggregate on the properties of a self-compacting concrete | 2024 | Kumar et al. |
| Enhancing the engineering characteristics of sustainable recycled aggregate concrete using fly ash, metakaolin and silica fume | 2024 | Alamri et al. |
| Characteristics of non-steady-state chloride migration of self-compacting concrete containing recycled concrete aggregate made of fly ash and silica fume | 2024 | Sua-iam e makul |
| Effect of silica fume on the microstructural and mechanical properties of concrete made with 100% recycled aggregates | 2024 | Nadim et al. |
| Bacterial treatment of recycled concrete aggregate | 2023 | Rowell et al. |
| A green way of producing high strength concrete utilizing recycled concrete | 2023 | Shaaban et al. |
| Finite element modelling of laboratory tests on reinforced concrete beams containing recycled aggregate concrete | 2023 | Pawal et al. |
| Environmental impact of concrete slab made of recycled aggregate concrete based on limit states of load-bearing capacity and serviceability-lca case study | 2023 | Pavlu et al. |
| Design of performance-based concrete using sand reclaimed from construction and demolition waste-comparative study of czechia and india | 2022 | Pavlu et al. |
| Punching shear capacity of recycled aggregate concrete slabs | 2022 | Leelatanon et al. |
| Flexure fatigue strength and failure probability of self compacting concrete made with rca and blended cements | 2022 | Saini e singh |
| Environmental performance of deconstructable concrete beams made with recycled aggregates | 2022 | Manegatti et al. |
| Influence of the mix proportion and aggregate features on the performance of eco-efficient fine recycled concrete aggregate mixtures | 2022 | De souza et al. |

Fonte: Autor, 2026.

3. RESULTADOS E DISCURSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados e a discussão dos artigos selecionados para este estudo. Os artigos analisados evidenciam diversas abordagens referente ao uso do ARC em elementos estruturais como impactos na resistência mecânica, características, adições minerais, métodos de dosagem, tratamentos e impacto ambiental.

Quadro 4 – Síntese dos artigos.

| Autor | Ano | ARC | Abordagem | Resultados |
|---------------------|------|-------------------------|--------------------------|--|
| Falah et al. | 2025 | 0%, 50%, 100% | Resistência à compressão | Semelhante com até 50% de ARC, ligeira redução em altos níveis de substituição |
| Pavlu et al. | 2022 | 0%, 25%, 50%, 75%, 100% | | |
| Baldania et al. | 2025 | 0%, 25%, 50%, 75%, 100% | | |
| Cordeiro et al. | 2025 | 0%, 25%, 50% | | |
| Mosa e Abbas | 2022 | 0%, 50%, 100% | | |
| Gandel et al. | 2025 | 0%, 25%, 50%, 75%, 100% | | |
| Shaaban et al. | 2023 | 0%, 50%, 100% | Resistência à tração | Reduções significantes |
| Nir e Leibovich | 2025 | 0%, 50%, 100% | | |
| Momeni et al. | 2022 | 0%, 100% | Flexão | Redução de 10% |
| Petrovic et al. | 2026 | 0%, 50%, 100% | | Semelhante com até 50% de ARC |
| Aldmour et al. | 2023 | 0%, 60%, 100% | Cisalhamento | Semelhante |
| Özkiliç et al. | 2025 | 0%, 30%, 70%, 100% | | |
| Leelatanon et al. | 2022 | 0%, 25%, 50%, 75%, 100% | Punção | Menos de 10% de redução |
| Masne e Suryawanchi | 2023 | 0%, 50%, 100% | Fissuração | Mesmo padrão de fissuras, maiores aberturas e mais precoces. |
| Pawal et al. | 2023 | 0%, 50%, 100% | | |
| Chen et al. | 2022 | 0%, 50%, 100% | | |
| Kefyalew et al. | 2024 | 0%, 25%, 50%, 75%, 100% | Fissuração, abatimento | Mesmo padrão de fissuras, maiores aberturas e mais precoces, menor abatimento |

| | | | | |
|------------------|------|----------------------------|---|--|
| Nadim et al. | 2024 | 0%, 25%, 50%, 75%, 100% | Adição de SA | Resistência a tração e compressão até 11% maiores. |
| Shamass et al. | 2023 | 0%, 50%, 100% | Adição de SA e EGAF | Resistência à compressão e flexão igual ou maior. |
| Saini e Singh | 2022 | 0%, 50%, 100% | Adição de SA e MC | |
| Alamri et al. | 2024 | 0%, 25%, 50%, 75% | Adição de CV e MC | Compressão e tração semelhante, redução de absorção, maior resistência a sulfatos. |
| Sua-iam e makul | 2024 | 0%, 20%, 50%, 100% | Adição de SA e CV | Maior resistência a cloretos |
| Kumar et al. | 2024 | 0%, 25%, 50%, 75%, 100% | Método de dosagem do volume equivalente | Com até 50% de ARC - resistência à compressão, tração e flexão igual ou maior, maior abatimento. |
| De souza et al. | 2022 | 0%, 25%, 45% | | |
| Rowell et al. | 2023 | 100% | Tratamento | Remoção parcial da argamassa aderida. |
| Odero et al. | 2022 | 0%, 50%, 100% | Tratamento, cisalhamento. | Leve melhora |
| Pavlu et al. | 2023 | 0%, 25%, 50%, 75%, 100% | Impactos ambientais | Até 40% de redução de impactos ambientais. |
| Manegatti et al. | 2022 | 0%, 50%, 100% | | |

Fonte: Autor, 2026.

A RSL retornou 28 artigos publicados entre o ano de 2022 a 2026 que atendem aos critérios de pesquisa, o gráfico 1 a seguir mostra a quantidade de artigos publicados por ano. O gráfico apresentou uma boa distribuição, tendo pelo menos 5 artigos publicados por ano, com exceção do ano 2026 que teve apenas 1 artigo até o momento desta pesquisa.

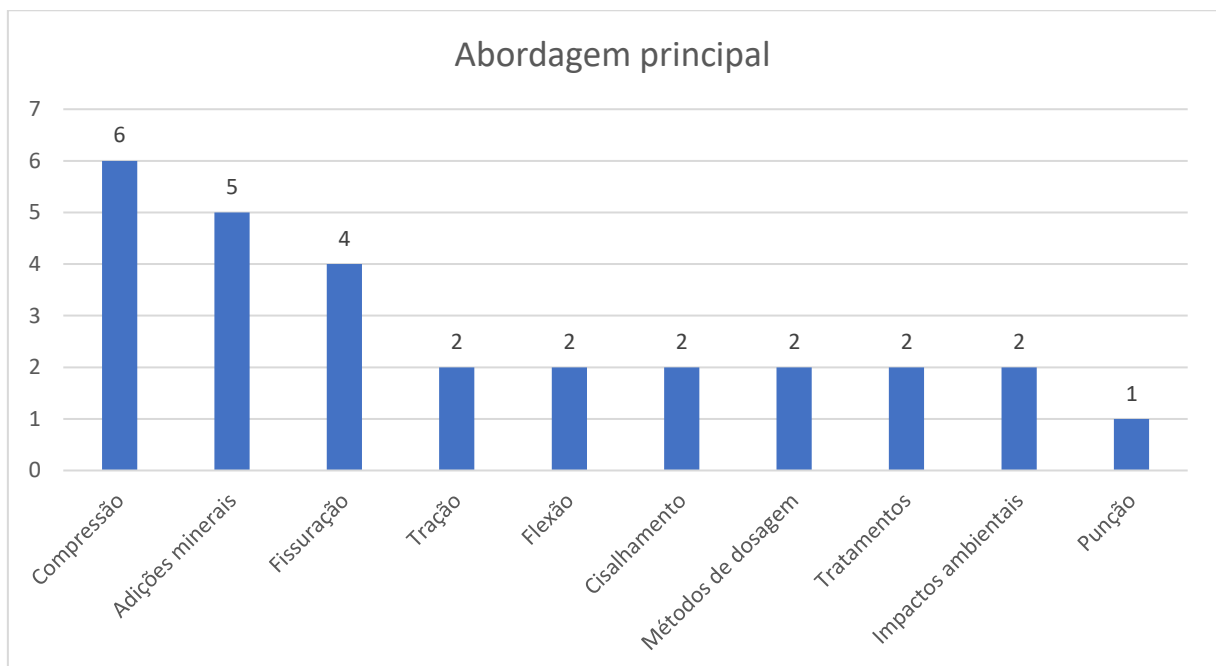
Gráfico 1 – Artigos por ano de publicação.



Fonte: Autor, 2026.

O gráfico 2 a seguir apresenta a quantidade de artigos organizados pela principal abordagem apresentada. A resistência a compressão foi o assunto principal mais abordado nos artigos, seguido por adições minerais e fissuração, outras abordagens foram resistência à tração, à flexão, ao cisalhamento e à punção, métodos de dosagem, tratamentos e impactos ambientais.

Gráfico 2 – Artigos por abordagem principal.



Fonte: Autor, 2026.

3.1. Resistência mecânica

A utilização de agregado reciclado tende a reduzir a resistência à compressão do concreto, especialmente em substituições superiores a 50% [14, 15, 16]. No entanto, substituições entre 10% a 50% não apresentam impacto significativo na resistência à compressão, mantendo desempenho estrutural adequado [17, 18, 19].

A resistência à tração do concreto com AR em comparação com o concreto convencional tende a apresentar reduções significativas com taxas de substituição elevadas. Isso ocorre devido a maior fragilidade da argamassa aderida do AR, o que favorece a formação de microfissuras [20, 21]. Da mesma forma, o módulo de elasticidade do concreto com agregado reciclado apresenta uma tendência de redução proporcional ao aumento da taxa de substituição, refletindo a maior deformabilidade do material [15].

Em relação a flexão em elementos estruturais, a substituição de até 50% de AR apresenta comportamento semelhante ao concreto de referência e reduções mínimas com 100% de AR, apresentando pequenas reduções na resistência última e maior deformabilidade em serviço, e as reduções tendem a diminuir com taxas de armadura maiores, tornando-se desprezíveis [22, 23].

Quanto à resistência ao cisalhamento, o concreto com ARC apresenta uma leve redução em taxas de substituição elevadas, fator que está associado à sua menor rigidez e maior porosidade [24]. Em substituições de até 60% e substituições de 100% com tratamento do agregado, a resistência ao cisalhamento foi semelhante ou levemente maior que a do concreto convencional [25, 26].

A resistência à punção em lajes com agregado reciclado apresenta reduções inferiores a 10% mesmo em substituições elevadas, o que pode ser compensado pelo aumento da taxa de armadura ou pelo ajuste das dimensões do elemento, o que garante a possibilidade da utilização do agregado reciclado em elementos estruturais sem prejuízos significativos à segurança quanto a punção [27].

As fissuras tendem a aparecer mais precocemente e com maiores aberturas em elementos com AR, em razão da sua menor resistência à tração e maior deformabilidade [28, 29, 30, 31]. Entretanto, o padrão de fissuração e os modos de ruptura permanecem semelhantes, indicando que o comportamento global das estruturas não é substancialmente afetado.

3.2. Características do agregado

Os AR apresentam características físicas distintas dos AN, isso ocorre principalmente devido a presença de argamassa aderida à sua superfície. O agregado reciclado apresenta maior porosidade, menor massa específica e elevada absorção de água quando comparado ao AN, essas características tendem a reduzir a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, especialmente em substituições elevadas, o que gera a necessidade de aumentar a relação a/c ou o uso de aditivos plastificantes ou superplastificantes para manter o abatimento [28].

3.3. Adições minerais, métodos de dosagem e tratamentos

A incorporação de adições minerais no concreto com ARC é uma estratégia eficaz para melhorar suas propriedades mecânicas e microestruturais. Materiais pozolânicos, como sílica ativa, escória granulada de alto-forno, metacaulim e cinzas volantes, promovem a densificação da matriz cimentícia e da zona de transição interfacial por meio da reação secundária do Ca(OH)_2 e do refinamento dos poros, o que gera resistências a compressão e flexão iguais ou superiores ao concreto convencional, mesmo com a substituição total [32, 33, 34]. Além disso, com densificação da matriz causada pela incorporação de sílica ativa, Metacaulim e cinza volante a mistura com ARC, o concreto tende a ter resistência à ação de cloretos e sulfatos até mesmo melhor que o concreto convencional [35, 36].

Métodos avançados de dosagem e empacotamento de partículas têm sido utilizados para otimizar a distribuição granulométrica e reduzir vazios no concreto com AR. O método da densidade aparente ou volume equivalente, que consiste na obtenção de concreto com maior densidade aparente e menor teor de vazios, por meio de um alto consumo de finos e aditivos superplastificantes, proporcionou ao concreto com substituição de até 45% de ARC resistência à compressão, à tração e a flexão maiores que a do concreto de referência, além de manter o mesmo abatimento [37, 38].

Tratamentos aplicados diretamente ao AR, como a modificação ou remoção da argamassa aderida, também têm demonstrado potencial para melhorar a qualidade do concreto produzido com ARC. O tratamento do ARC com pasta de cimento e cinza de casca de arroz fortalece a argamassa aderida, resultando em um agregado mais denso e compacto, o que pode melhorar a resistência ao cisalhamento em cerca de 2,2% em vigas com ARC, favorecendo a sua aplicação estrutural [24]. Além disso, o

tratamento do ARC por meio de bactérias solubilizadoras de silicato se demonstrou capaz de remover parcialmente a argamassa aderida a superfície do agregado, que é a sua principal causa de perda de trabalhabilidade e resistência mecânica [39].

3.4. Impactos ambientais

A utilização de ARC no concreto contribui para a redução do consumo de recursos naturais e para a diminuição do volume de RCD destinados a aterros. O uso de AR, mesmo quando se tem a necessidade de aumentar o consumo de cimento e armadura para suprir as reduções de resistências mecânicas, pode reduzir emissões de CO₂ e outros impactos ambientais associados à produção de concreto em até 40%, especialmente quando se tem uma baixa necessidade de transporte [40, 41].

4. CONCLUSÃO

A revisão sistemática da literatura realizada retornou 28 artigos publicados que tratam do tema uso do ARC em elementos estruturais. Com a análise dos artigos selecionados pode-se observar que, mesmo causando impactos negativos nas características do concreto no estado fresco e endurecido, o uso de ARC em elementos estruturais é tecnicamente viável, desde que com percentual de substituição limitado ou que seja realizado o uso de adições minerais, métodos de dosagem ou tratamentos no agregado. As principais conclusões desse estudo foram:

- A incorporação do ARC tende a provocar reduções nas resistências mecânicas como compressão, tração, flexão, cisalhamento, punção e fissuração e no módulo de elasticidade, sobretudo em substituições superiores a 50%. Porém, substituições entre 10% e 50%, apresentam desempenho estrutural semelhante ao concreto convencional, mantendo níveis adequados de resistências mecânicas.
- As características físicas do ARC, como maior porosidade, menor massa específica e maior absorção de água, influenciam diretamente o comportamento do concreto no estado fresco e endurecido. Essas propriedades exigem ajustes de dosagem, como o aumento da relação a/c e uso de aditivos plastificantes, para manter a trabalhabilidade adequada e o desempenho mecânico satisfatório.
- A utilização de adições minerais pozolânicas como sílica ativa, escória de alto-forno, metacaulim e cinzas volantes, métodos de dosagem baseados no empacotamento de partículas e tratamentos do agregado como a remoção ou modificação da argamassa aderida, mostraram-se bastante eficazes para a melhoria da microestrutura do concreto com ARC, promovendo a obtenção de resistências mecânicas e durabilidade iguais ou superiores às do concreto de referência.
- O uso do ARC apresenta contribuições significativas para a redução das emissões de CO₂ associadas à produção de concreto, para a diminuição do consumo de agregados naturais e do volume de resíduos de concreto destinados a aterros. O concreto com ARC pode reduzir os impactos ambientais globais, mesmo com a necessidade de maior consumo de cimento ou armadura em alguns casos, especialmente quando se tem menor necessidade de transporte.

Com isso, conclui-se que o ARC possui elevado potencial para aplicação em elementos estruturais. A ampliação de estudos experimentais e a consolidação de

normas técnicas são fundamentais para ampliar a confiabilidade e a utilização desse material na construção civil. A adoção do concreto com ARC representa, portanto, uma alternativa promissora para a promoção da sustentabilidade no setor, combinando desempenho estrutural satisfatório à redução de impactos ambientais.

Para pesquisas futuras, o autor recomenda a realização de estudos que avaliem a redução do impacto ambiental associada ao uso do ARC, considerando misturas que apresentem desempenho mecânico equivalente ao concreto convencional, por meio da utilização de métodos de dosagem, incorporação de adições minerais e a aplicação de tratamentos no AR, com o objetivo de mitigar as perdas de desempenho e otimizar as propriedades no estado fresco e endurecido.

5. REFERÊNCIAS

- [1] HU, Q. et al. **Study on the impermeability of recycled aggregate thermal insulation concrete**. Journal of Building Engineering, v. 77, p. 107400, 15 out. 2023.
- [2] MENG, T. et al. **Effect of Mixed Recycled Aggregate on the Mechanical Strength and Microstructure of Concrete under Different Water Cement Ratios**. Materials, v. 14, n. 10, p. 2631, 18 maio 2021.
- [3] RODRIGUES, E. A. et al. **A concurrent multiscale approach for modeling recycled aggregate concrete**. Construction and Building Materials, v. 267, p. 121040, jan. 2021.
- [4] DACIĆ, A.; FENYVESI, O.; ABED, M. **An Innovative Approach for Evaluating the Quality of Recycled Concrete Aggregate Mixes**. Buildings, v. 14, n. 2, p. 471, 8 fev. 2024.
- [5] BRAVO-GERMAN, A. M. et al. **Mechanical Properties of Concrete Using Recycled Aggregates Obtained from Old Paving Stones**. Sustainability, v. 13, n. 6, p. 3044, 10 mar. 2021.
- [6] MCNEIL, K.; KANG, T. H. K. **Recycled Concrete Aggregates: A Review**. International Journal of Concrete Structures and Materials. Korea Concrete Institute, 1 mar. 2013.
- [7] CHEN, B. et al. **Mechanical properties, durability, and microstructures of multi-generation recycled aggregate concrete enhanced by magnesium phosphate cement**. Construction and Building Materials, v. 470, p. 140417, abr. 2025.
- [8] ALIBEIGIBENI, A.; STOCHINO, F.; ZUCCA, M.; LÓPEZ GAYARRE, F. **Enhancing concrete sustainability: A critical review of the performance of recycled concrete aggregates (RCAs) in structural concrete**. Buildings, v. 15, n. 8, p. 1361, 2025.
- [9] DING, Y.; SHE, A.; YAO, W. **Investigation of water absorption behavior of recycled aggregates and its effect on concrete strength**. Materials, v. 16, n. 13, p. 4505, 2023.
- [10] PAGE, Matthew J.; MCKENZIE, Joanne E.; BOSSUYT, Patrick M.; BOUTRON, Isabelle; HOFFMANN, Tammy C.; MULROW, Cynthia D.; SHAMSEER, Larissa; TETZLAFF, Jennifer M.; AKL, Elie A.; BRENNAN, Sue E.; CHOU, Roger; GLANVILLE, Julie; GRIMSHAW, Jeremy M.; HRÓBJARTSSON, Asbjørn; LALONDE, Martin; LI, Tianjing; LO, Esther; MAYO-WILSON, Evan; MCDONALD, Steve; MCGUINNESS, Luke A.; STEWART, Lesley A.; THOMAS, James; TRICCO, Andrea C.; WELCH, Vivian A.; WHITING, Penny; MOHER, David. **A declaração PRISMA 2020: uma**

- diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas.** BMJ , Londres, v. 372, p. n71, 2021.
- [11] BIOLCHINI, J. et al. **Systematic review in software engineering.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2005. Relatório Técnico Programa de Engenharia de Sistemas e Computação.
- [12] KITCHENHAM, Barbara. **Procedures for performing systematic reviews.** Keele: Keele University, 2004. Technical Report.
- [13] RETHLEFSEN, M. L. et al. **PRISMA-S: an extension to the PRISMA Statement for reporting literature searches in systematic reviews.** Systematic Reviews, v. 10, art. 39, 2021.
- [14] FALAH, M. et al. **The Effect of Utilizing Concrete Waste as Coarse and Fine Aggregate on the Concrete Properties.** *Journal of Building Engineering*, 2025.
- [15] PAVLU, T. et al. **Design of Performance-Based Concrete Using Sand Reclaimed from Construction and Demolition Waste: Comparative Study of Czechia and India.** *Journal of Cleaner Production*, 2022.
- [16] MOSA, F.; ABBAS, N. **A Study of the Structural Behavior of Recycled-Concrete Haunched Beams with Web Opening.** *Structures*, 2022.
- [17] BALDANIA, H. et al. **Utilization of Recycled Concrete Materials in Concrete Production: Methodology, Characterization, and Performance Evaluation.** *International Journal of Engineering*, 2025.
- [18] CORDEIRO, L. et al. **Performance assessment of recycled concrete aggregate from a 60-year-old stadium: A comparative study with laboratory-produced aggregate.** *Construction and Building Materials*, 2025.
- [19] GANDEL, N. et al. **Towards Sustainable Building Materials: An Experimental Investigation into the Effect of Recycled Construction Waste Aggregate on the Properties of High-Performance Concrete.** *Buildings*, 2025.
- [20] SHAABAN, I. et al. **A Green Way of Producing High Strength Concrete Utilizing Recycled Concrete.** *Materials*, 2023.
- [21] NIR, Y.; LEIBOVICH, O. **The Influence of Recycled Concrete Aggregate on Crack Development and Bending Capacity of a Reinforced Concrete Beam.** *Materials*, 2025.
- [22] PETROVIĆ, M. et al. **Experimental Investigation of the Flexural Performance of Continuous Self-Compacting Concrete Beams with Natural and Recycled Aggregates.** *Materials*, 2026.

- [23] MOMENI, H. et al. **Flexural Strength of Concrete Beams Made of Recycled Aggregates: An Experimental and Soft Computing-Based Study.** *Engineering Structures*, 2022.
- [24] ODERO, S. et al. **Shear Performance of Concrete Beams with a Maximum Size of Recycled Concrete Aggregate.** *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022.
- [25] ÖZKILIÇ, Y. et al. **Shear and flexural performance of reinforced concrete beams with recycled concrete aggregates.** *Reviews on Advanced Materials Science*, 2025.
- [26] ALDMOUR, R. et al. **Biaxial shear behavior of recycled concrete aggregate reinforced concrete beams.** *Case Studies in Construction Materials*, 2023.
- [27] LEELATANON, S. et al. **Punching Shear Capacity of Recycled Aggregate Concrete Slabs.** *Engineering Structures*, 2022.
- [28] KEFYALEW, G. et al. **Structural and Service Performance of Composite Slabs with High Recycled Aggregate Concrete Contents.** *Engineering Structures*, 2024.
- [29] MASNE, S.; SURYAWANCHI, P. **Effect of replacement ratio on torsional behaviour of recycled aggregate concrete beams.** *International Journal of Engineering*, 2023.
- [30] PAWAR, P. et al. **Finite Element Modelling of Laboratory Tests on Reinforced Concrete Beams Containing Recycled Aggregate Concrete.** *Structures*, 2023.
- [31] CHEN, X. et al. **Experimental Analysis of Recycled Aggregate Concrete Beams and Correction Formulas for the Crack Resistance Calculation.** *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022.
- [32] NADIM, W. et al. **Effect of silica fume on the microstructural and mechanical properties of concrete made with 100% recycled aggregates.** *Materials*, 2024.
- [33] SHAMASS, R. et al. **Mechanical and GWP assessment of concrete using Blast Furnace Slag, Silica Fume and recycled aggregate.** *Journal of Building Engineering*, 2023.
- [34] SAINI, B.; SINGH, B. **Flexure fatigue strength and failure probability of self compacting concrete made with RCA and blended cements.** *Construction and Building Materials*, 2022.
- [35] ALAMRI, Y. et al. **Enhancing the engineering characteristics of sustainable recycled aggregate concrete using fly ash, metakaolin and silica fume.** *Sustainability*, 2024.

- [36] SUA-IAM, G.; MAKUL, N. **Characteristics of non-steady-state chloride migration of self-compacting concrete containing recycled concrete aggregate made of fly ash and silica fume.** *Materials*, 2024.
- [37] KUMAR, D. et al. **Effect of coarse recycled concrete aggregate on the properties of a self-compacting concrete.** *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 2024.
- [38] DE SOUZA, L. et al. **Influence of the Mix Proportion and Aggregate Features on the Performance of Eco-Efficient Fine Recycled Concrete Aggregate Mixtures.** *Materials*, 2022.
- [39] ROWELL, C. et al. **Bacterial Treatment of Recycled Concrete Aggregate.** *Recycling*, 2023.
- [40] PAVLU, T. et al. **Environmental Impact of Concrete Slab Made of Recycled Aggregate Concrete Based on Limit States of Load-Bearing Capacity and Serviceability: LCA Case Study.** *Sustainability*, 2023.
- [41] MENEGATTI, R. et al. **Environmental Performance of Deconstructable Concrete Beams Made with Recycled Aggregates.** *Sustainability*, 2022.