

Avaliação experimental do impacto da utilização de agregados reciclados de resíduos da construção civil em matrizes cimentícias

Experimental evaluation of impact of using recycled aggregates from construction waste in cement matrices

Laura Viana de Melo, Engenheira Civil, UFMG.

lauravianademelo03@gmail.com

Thiago Ewerton Cobra de Castro, estudante de graduação em Engenharia Civil, UFMG.

thiagoeccastro@ufmg.br

Paulo Henrique Vaz da Silva, Mestre em Construção Civil, UFMG.

pauloh.vazs@gmail.com

Fernando do Couto Rosa Almeida, professor adjunto do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, UFMG.

fernando@demc.ufmg.br

Resumo

O desenvolvimento de materiais alternativos para construção civil que possuam um fator ecológico é fundamental para garantir a sustentabilidade do setor. A utilização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) em substituições parciais sob o agregado convencional se mostra uma alternativa para mitigar os efeitos negativos das atividades. Este estudo tem como intuito a avaliação das propriedades adquiridas por argamassas cimentícias confeccionadas com agregado miúdo reciclado oriundo de RCD, bem como os resultados obtidos pelos testes realizados com compósitos produzidos com teores de até 40% de substituição do agregado natural pelo reciclado. Apesar da leve perda de resistência à compressão e flexão, aumento da retração e da absorção de água do material endurecido, observou-se que os teores de substituição e tipo de agregados são determinantes para a melhoria das propriedades das argamassas.

Palavras-chave: agregado reciclado; resíduo de demolição; sustentabilidade.

Abstract

The development of alternative materials for civil construction that possess an ecological factor is essential to ensure the Sustainability of the sector. The use of recycled aggregates from construction demolition waste as partial replacements for conventional aggregates proves to be an alternative to mitigate the negative effects of activities. This study aims to evaluate the properties acquired by cementitious mortars made with fine recycled aggregate from CDW, as well as the results obtained from tests conducted with composites produced with levels of up to 40% substitution of natural aggregate by recycled aggregate. Despite the slight loss of compressive and flexural strength, increased shrinkage and water absorption of the hardened material, it was observed that the substitutuoin levels and type of aggregates are determining factors for the improvement of mortar properties.

Keywords: recycled aggregate; demolition waste; sustainability.

1. Introdução

A construção civil no Brasil é um dos setores mais relevantes para a economia, representando números expressivos para o desenvolvimento do país. Em 2023, foi responsável por 6,05% dos trabalhos formais [1], além do desenvolvimento da infraestrutura de cidades. Apesar dos benefícios oriundos da construção civil, suas atividades promovem impactos ambientais negativos significativos. Principalmente no que tange às matérias-primas utilizadas, em que cerca de 41% do PIB do setor é proveniente da indústria e comércio de materiais, sendo esta a maior fatia após a atividade da construção propriamente dita [1].

A extração de materiais para construção civil engloba a utilização de matérias-primas diversas, como minerais e solos [2]. No Brasil, o uso de areias, cascalhos, saibros, argilas, calcários, rochas britadas, rochas ornamentais e de revestimento podem ser utilizados para produção de cimentos, agregados, cerâmicas, dentre outros [3]. Para isso, são utilizadas quantidades significativas de energia, insumos industriais, tempo e logística, o que promove impactos ambientais relevantes, especialmente nas localidades em que estão inseridas. Além disso, a produção de concretos, o principal material de construção, demanda alta energia, danifica paisagens naturais pela exploração de agregados, e gera poluentes gasosos responsáveis pelo efeito estufa na produção do cimento Portland [4], [5] e [6].

Outra fonte de impacto ambiental ocasionado pelas atividades de construção civil é a geração de resíduos provenientes de demolições, reformas e outros. Cerca de 47 milhões de toneladas de RCD foram geradas no Brasil, 40% de todo resíduo gerado nos centros urbanos em 2021 [7].

Nesse sentido, o desenvolvimento de fontes alternativas para substituir ou racionalizar o consumo de materiais convencionais por outros mais ecoeficientes se faz primordial para um impacto mais sustentável do setor. Estudos recentes têm mostrado a viabilidade técnica da utilização de resíduos de demolição de construção civil, em busca de reduzir o impacto desses materiais no meio ambiente. A produção de concretos e argamassas com esses resíduos foi avaliada em diversos estudos ([8], [9], [10]). Além disso, a normatização brasileira para o uso de resíduos de construção civil em aplicações não estruturais permite a substituição de até 20% do agregado natural pelo agregado reciclado ([11], [12]).

Diante disso, a utilização de resíduos de demolição de construção civil se mostra relevante para o equilíbrio ecológico do setor. O impacto se deve à reciclagem dos resíduos gerados nas atividades de demolição e na mitigação da degradação do meio ambiente para extrações de novas matérias-primas.

Este estudo visa avaliar as propriedades adquiridas por matrizes cimentícias com a incorporação de agregados reciclados alternativos, em substituições parciais do agregado convencional. Com isso, alguns parâmetros como resistência mecânica, retração por secagem e absorção de água são considerados para avaliação.

2. Metodologia

O presente estudo se baseou na elaboração de três traços diferentes para análise, sendo nomeados “CPV – R”, “CPV – 20” e “CPV - 40”. Foram utilizados para a pesquisa dois diferentes tipos de agregado miúdo, o natural e o reciclado. Como agregado natural foi utilizada areia quartzosa comercial, do tipo lavada com granulometria fina, e como agregado reciclado foi utilizado o material resultante da moagem de materiais cimentícios e tijolos cerâmicos, fornecido pela Superintendência de Limpeza Urbana (SLU). As proporções utilizadas estão na tabela abaixo.

Tabela 1: Quantidade de material por m³ de argamassa.

Amostra	Cimento (kg/m ³)	Areia Natural (kg/m ³)	Areia reciclada (kg/m ³)	Aditivo (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Relação água/cimento
CPV-R	579,68	1159,36	0	5,80	243,46	0,42
CPV-20	579,68	927,48	204,07	5,80	243,46	0,42
CPV-40	579,68	695,61	408,13	5,80	243,46	0,42

A moldagem dos corpos de prova seguiu a metodologia da NBR 7215 [13] e NBR 15116 [14]. Os agregados foram misturados em estado seco. Foi feito o procedimento de adensamento em mesa vibratória e a cura foi realizada em laboratório.

Para realização dos ensaios, foram moldados corpos de prova cilíndricos e prismáticos. A resistência mecânica à compressão seguiu as orientações da NBR 13279 [15], em amostras prismáticas (4 x 4 x 16 cm), para idades de 7, 28 e 91 dias.

A retração por secagem foi avaliada em amostras prismáticas (2,5 x 2,5 x 30 cm) com base na NBR 15261 [16], por um período de 120 dias. As medidas foram realizadas de modo intervalar nas idades de 1, 2, 3, 4, 7, 9, 11, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77, 84, 91 e 120 dias.

Por fim, a absorção de água foi avaliada por ascensão capilar e por imersão, sob orientações da NBR 9779 [17] e NBR 9778 [18], respectivamente. As amostras foram feitas em formas cilíndricas (Ø 5x10 cm).

Com os resultados dos ensaios, é possível avaliar as características adquiridas pelo compósito à medida em que se insere substituições parciais de agregado reciclado sob o agregado natural.

3. Resultados e discussões

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos para os ensaios experimentais das amostras.

3.1. Resistência mecânica

O comportamento da resistência mecânica à compressão e à tração são apresentados na tabela abaixo (Tabela 2). Em seguida, os gráficos para cada ensaio, Figura 1 e Figura 2, fornecem a visualização do comportamento das matrizes.

Tabela 2: Resultados para resistência à compressão e à tração e desvios.

Amostra	Idade	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)
CPV-R	7	53,14±2,34	5,87±0,78
CPV-20	7	48,80±2,40	5,78±0,12
CPV-40	7	52,89±0,40	5,50±0,21
CPV-R	28	55,02±5,26	8,87±0,21
CPV-20	28	54,96±5,45	8,05±0,40
CPV-40	28	55,95±1,99	8,45±0,58
CPV-R	91	54,65±1,50	8,07±0,33
CPV-20	91	55,73±5,97	7,15±0,91
CPV-40	91	52,71±4,77	8,10±0,17

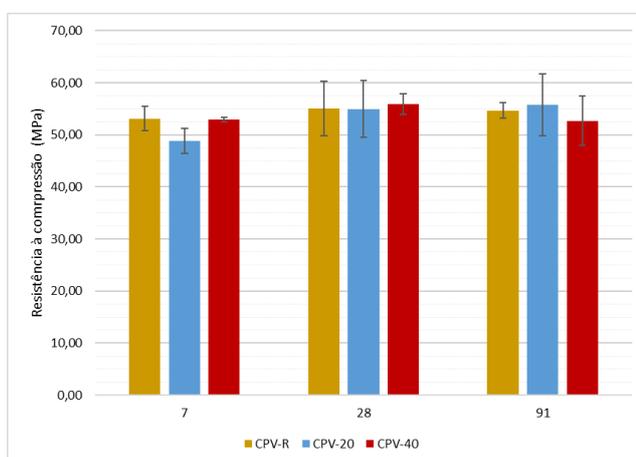


Figura 1: Resistência à compressão (MPa) em 7, 28 e 91 dias. Fonte: elaborado pelos autores.

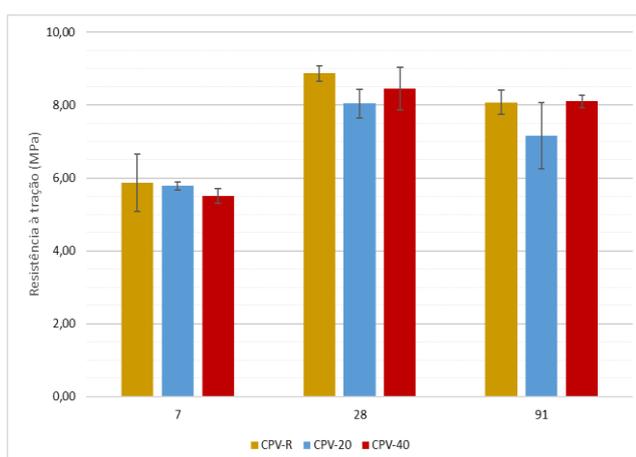


Figura 2: Resistência à tração (MPa) em 7, 28 e 91 dias. Fonte: elaborado pelos autores.

A utilização de RCC como agregado reciclado fino promoveu baixa influência no comportamento mecânico dos compósitos quando se compara a evolução das idades de 7, 28 e 91 dias. Tal fato se deve à utilização do cimento Portland de alta resistência inicial (CPV) usado neste programa experimental.

Quando se avalia a idade de 7 dias, o melhor desempenho foi para o traço "CPV-R", que obteve 53,14 MPa (resistência à compressão) e 5,87 MPa (resistência à flexão). Para os 28 dias, o "CPV-40" mostrou a maior resistência à compressão (55,95 MPa), enquanto o "CPV-R" alcançou a maior resistência à flexão (8,87 MPa). Para a idade mais avançada, ao fim do teste, aos 91 dias, a maior resistência à compressão foi de 55,73 MPa, para a amostra "CPV-20" e 8,10 MPa para a flexão na amostra "CPV-40".

As variações observadas dentro da mesma idade não são representativas uma vez que o intervalo máximo de resistência à compressão entre as amostras foi de 6%, 2% e 3%, respectivamente, para 7, 28 e 91 dias de cura, sendo que todos os valores estão dentro do desvio padrão. Isso mostra que as argamassas com e sem incorporação de RCC têm comportamento semelhante, independentemente da idade do teste.

No ensaio de resistência à flexão, ocorreu a redução dos valores obtidos para a substituição de 20% de agregado. Para as amostras com 0% e 40%, um comportamento semelhante foi identificado. A variação máxima dos resultados experimentais foi registrada em 6%, 9% e 11% para 7, 28 e 91 dias, respectivamente.

É válido ressaltar que os diferentes traços utilizaram a mesma relação água/cimento. Tal fato indica que a maior porosidade do agregado não foi capaz de alterar o comportamento de hidratação da pasta, tendo em vista a baixa alteração entre os resultados obtidos.

3.2. Retração

O comportamento da retração por secagem das amostras é demonstrado no gráfico da Figura 3.

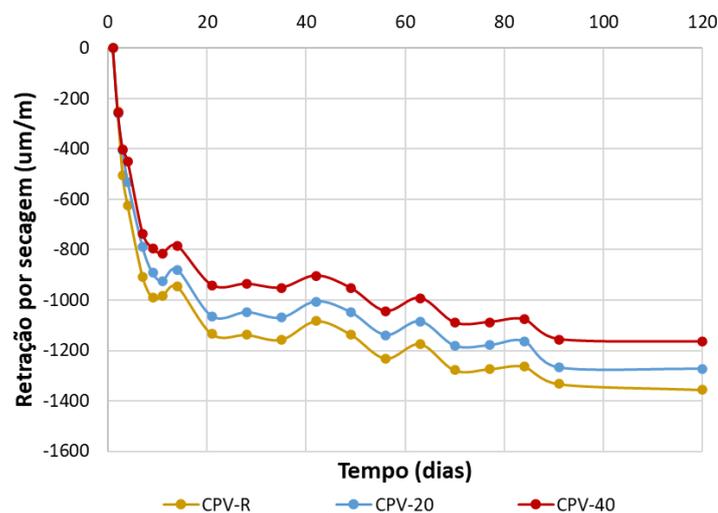


Figura 3: Retração por secagem em até 120 dias. Fonte: elaborado pelos autores.

Diante do observado, à medida em que se aumenta a idade analisada, a retração das matrizes aumenta. Há uma tendência de estabilização da curva por volta dos 100 dias de medição. Este fato está relacionado com a evaporação da água para o ambiente externo, que aumenta ao longo do tempo, levando à redução no volume total das amostras.

Tendo em vista o impacto do aumento da incorporação dos resíduos, quanto maior o nível de substituição menor a retração das amostras. No final do teste (aos 120 dias), os valores mais

altos foram registrados para a amostra "CPV-R" (1355 $\mu\text{m/m}$), seguidos pela amostra "CPV-20" (1273 $\mu\text{m/m}$), e então "CPV-40" (1165 $\mu\text{m/m}$).

3.3. Absorção de água

A evolução da absorção de água por capilaridade e por imersão está descrita na Tabela 3, respectivamente em g/cm^2 e %.

Tabela 3: Resultados para resistência à compressão e à tração e desvios.

Amostra	Absorção por capilaridade 28 dias (g/cm^2)	Absorção por capilaridade 91 dias (g/cm^2)	Absorção por imersão 28 dias (%)	Absorção por imersão 91 dias (%)
CPV-R	0,153 \pm 0,06	0,145 \pm 0,015	4,93 \pm 0,20	5,41 \pm 0,16
CPV-20	0,147 \pm 0,07	0,133 \pm 0,011	4,98 \pm 0,09	5,83 \pm 0,16
CPV-40	0,162 \pm 0,03	0,147 \pm 0,003	5,01 \pm 0,17	5,45 \pm 0,15

Para os resultados da absorção de água por capilaridade, observa-se que, à medida que o tempo de cura aumenta, ocorre redução nesse fenômeno. Em comparação, as variações negativas correspondem a 5% para a amostra "CPV-R" e 9% para "CPV-20" e "CPV-40". Isso está relacionado ao maior tempo de cura, que favorece a hidratação da pasta cimentícia. Além disso, as pressões internas são menores em caso de espaços disponíveis no interior da amostra, o que facilita a absorção de água.

Para os ensaios de absorção por imersão, os resultados mostram que há um aumento desse teor. Tal fato possui relação com os efeitos da retração por secagem, conforme demonstrado na Figura 3, em que ocorre o surgimento de microfissuras e porosidade das matrizes. Observa-se que a incorporação de 20% e 40% de agregado reciclado leva a uma redução e aumento da absorção de água capilar, respectivamente (para ambas as idades).

Em ambos os teores analisados, a absorção de água por imersão foi aumentada pelo agregado reciclado fino. Tal fato indica que o surgimento de porosidade no compósito está diretamente relacionado à presença de agregados porosos dos resíduos de construção e demolição. Isso está corretamente relacionado às propriedades dos agregados, que modificam a microestrutura do material de argamassa endurecido.

4. Conclusão

Com o desenvolvimento desta pesquisa, foi possível avaliar as propriedades adquiridas em matrizes cimentícias com a incorporação progressiva de agregados reciclados provenientes de resíduos de demolição da construção civil. Esta pesquisa se mostra relevante em um contexto em que a construção civil promove grandes impactos ambientais, tanto na produção de matéria-prima para agregados quanto na geração de resíduos de construção.

A utilização de agregados reciclados promoveu resultados de resistência à compressão da matriz cimentícia semelhantes aos obtidos na mistura com agregados convencionais. O maior resultado obtido foi de 55,95 MPa para a mistura "V-40-1", após 28 dias de cura. Isto é semelhante ao obtido na revisão da literatura.

Em relação à absorção de água, o agregado reciclado, em particular, apresenta maior percentual, o que está relacionado à sua estrutura porosa. Contudo, os níveis obtidos são aceitáveis aos limites normativos e obtêm correlações com outros estudos.

Quando incorporado à matriz, este material tem pouca influência, pois gera resultados semelhantes, para os testes realizados, entre os diferentes níveis de substituição de agregados aplicados. Em relação à argamassa fresca, sua consistência aumenta, o que pode impactar na sua trabalhabilidade.

Nesse sentido, a incorporação de resíduos de construção em matrizes cimentícias promove resultados semelhantes aos obtidos na referência aos materiais naturais. Portanto, a utilização deste material é viável e proporciona características e propriedades semelhantes aos compostos produzidos com agregado convencional.

Diante dos resultados da pesquisa, existe um gargalo promissor para a utilização de resíduos de construção civil em substituição aos agregados convencionais utilizados em matrizes cimentícias. Este é um avanço relevante, pois promove maior sustentabilidade para a construção civil, ao reduzir a extração de matérias-primas naturais e destinar adequadamente parte dos resíduos gerados em atividades como demolições, retrofits e reformas.

Referências

- [1] Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). Disponível em: <https://cbic.org.br/construcao-revisa-projecao-de-crescimento-e-deve-fechar-2023-com-queda-de-05/>. Acesso em: 28/03/2024.
- [2] CRISTAL MINERAÇÃO. Mineração na construção civil. Disponível em: <https://cristaljr.com/mineracao-na-construcao-civil/>. Acesso em 16/03/2023.
- [3] LEI FEDERAL Nº 16567-1978. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16567.htm. Acesso em 16/03/2023.
- [4] RODRIGUES F.A., JOEKES, I. Cement industry: Sustainability, challenges and perspectives. *Environmental Chemistry Letters*, v 9, p.151–166, 2011 63
- [5] SCRIVENER, K. et al. Eco-efficient cements: potential economically viable solutions for a lowCO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, v. 114, p. 2- 26, 2018.
- [6] HABERT, G. ET AL. Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. *Nature Reviews Earth & Environment*, v.1, p. 559–573, 2020.
- [7] ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2021. São Paulo. [s.n.], 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>
- [8] JIMÉNEZ, J. R.; AYUSO, J.; LÓPEZ, M.; FERNÁNDEZ, J. M.; BRITO, J. Use of Fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. *Construction and Building Materials*, v. 40, p. 679-690, Março 2013.
- [9] SANTOS, D. V.; CABRAL, A. E. B. Análise técnica da reciclagem de resíduos de construção em canteiro de obras. *Ambiente Construído*, v. 20, n. 3, p. 363–383, 2020. Acesso em: 25 mar. 2024.
- [10] SILVA, R.B., ANGULO, S.C., PILEGGI, R.G., and SILVA, C.O. Concretos secos produzidos com agregados de RCD separados por densidade. *Ambiente Construído*, v.15, n.4, p.335–349. 2015.

- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland — Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021.
- [12] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA N° 307, de 5 de julho de 2002.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 7215: Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15116: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em concreto com cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13279: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 15261: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005c.