

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL****JALES, A.L.R.¹, MARQUES, G.S.², SALLES, P.V.³, CASTRO, M.R.⁴, FERREIRA, T.E.D.⁵, BRAGA, F.C.S.⁶**^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Curso de Engenharia Civil

e-mail: telma.ferreira@uemg.br

RESUMO

A indústria da construção civil gera consideráveis impactos ambientais em diversas etapas do seu processo produtivo, sendo um destes a geração de resíduos de construção e demolição (RCD). Um dos processos para reduzir a quantidade de RCD descartada no meio ambiente é a reciclagem destes resíduos e sua utilização nos canteiros de obras. Quando triturados, os RCD podem ser utilizados como agregados, graúdos e/ou miúdos, constituintes de concretos ou argamassas. Este trabalho estudou a reutilização desse material em concreto, em substituições de 25 e 50% de RCD, em relação ao peso do agregado miúdo natural. De modo geral, as substituições de RCD executadas, quando comparadas com o concreto referência, apresentaram um desempenho satisfatório e passíveis de serem realizadas em concreto estrutural. Dentre as porcentagens de substituição estudadas, a que mais se destacou foi a de 25% (RCD25), visto que apresentou a menor redução de resistência à compressão aos 28 dias, em torno de 6,0%, e ainda obteve boa trabalhabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, Resíduo, Substituição, Concreto.**ABSTRACT**

The civil construction industry generates environmental impacts in several stages of its production process, such as the generation of construction and demolition waste (CDW). One of the processes to reduce the amount of CDW discarded in the environment is its recycling and use on construction sites. When crushed, the CDW can be used as aggregates, large and/or small constituents of concrete or mortars. This research studied the application of CDW in structural concrete, using 25 and 50% of replacement in relation to the weight of natural fine aggregate. In general, the CDW replacements presented a satisfactory performance when compared to the reference concrete and could be performed as structural concrete. Among the CDW replacement percentages studied, the one that stood out the most was 25% (CDW25). It showed the smallest reduction in compressive strength at 28 days, around 6.0%, and obtained good workability.

KEYWORDS: Sustainability, Residue, Replacement, Concrete.**1. INTRODUÇÃO**

A indústria da construção civil beneficia toda a sociedade através da melhoria da economia do país e, nos últimos anos, o avanço da tecnologia neste setor vem elevando a qualidade dos serviços prestados. O setor da construção civil tem contribuído para o desenvolvimento social, além de possibilitar a geração de empregos de curto a médio prazo, atendendo também às necessidades mais básicas do ser humano, reduzindo o déficit habitacional, fornecendo abrigo, infraestrutura e construção de edifícios, com o intuito de promover educação, moradia, trabalho e saúde.

Destacada por fatores positivos, essa mesma indústria é responsável pela geração de grandes prejuízos ambientais. Além de utilizar, abundantemente, matérias-primas não renováveis da natureza e consumir elevadas quantidades de energia, tanto na extração quanto no transporte e processamento dos insumos, é também um grande área com alto índice de desperdício de materiais, sendo considerada grande fonte geradora de resíduos dentro da sociedade (ROTH & GARCIA, 2009).

Com o objetivo de amenizar esse efeito, atualmente, a indústria da construção civil tem buscado formas mais sustentáveis de se desenvolver, tendo em vista mitigar os impactos causados. O chamado LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), desenvolvido nos Estados Unidos, é uma ferramenta de certificação que busca incentivar e acelerar a adoção de práticas de construção mais sustentáveis. Além disso, apoiar, ou mesmo financiar, projetos ambientais e planos de reflorestamento tem sido outra alternativa encontrada pelas construtoras para compensar seu impacto sobre o meio ambiente (SANTOS, 2015).

Os resíduos da construção civil são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições e os resultantes da preparação e escavação de terrenos (BRASIL, 2002).

Ao longo dos anos, houve um crescimento significativo de resíduos da construção civil, que nem sempre têm uma destinação correta, principalmente em cidades de pequeno porte, onde este material é destinado aos depósitos de lixo, terrenos baldios, encostas, áreas públicas, como também, às áreas de preservação ambiental.

De acordo com Scott Hood (2006), a reciclagem de resíduos tem se mostrado uma alternativa eficaz na redução dos impactos causados pelo consumo desordenado de matéria-prima e pela disposição inadequada de resíduos.

Esta pesquisa teve como objetivo geral estudar a viabilidade do aproveitamento dos resíduos de construção civil em concretos estruturais. Para tanto, propôs fazer uma comparação dos traços fabricados com areia natural e/ou areia reciclada no concreto estrutural. Como objetivos específicos buscou fazer um comparativo do concreto estrutural simples com o concreto contendo RCD; analisar as propriedades obtidas a partir da substituição de 25 e 50% dos agregados naturais por areia reciclada nos concretos produzidos, e avaliar esta influência, apontando aquela em que a porcentagem de RCD possa ser usada de maneira mais segura e vantajosa.

Para o desenvolvimento do trabalho, foi realizada uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem quantitativa e qualitativa, e objetivos explicativos. De acordo com as técnicas utilizadas, caracteriza-se por ser uma pesquisa experimental, considerando que foram produzidas três dosagens de concreto estrutural, uma de concreto simples e duas com substituição da areia natural pela areia reciclada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para esta pesquisa, contou-se com o apoio da empresa CONCRETMAIS, localizada no município de João Monlevade, que forneceu a areia natural, brita 0, brita 1, cimento, plastificante e também o traço usado pela concreteira. A areia reciclada foi produzida pelos autores deste trabalho.

Os resíduos de construção foram adquiridos em uma obra residencial que estava em demolição, na cidade de João Monlevade, Minas Gerais. A quantidade de amostra coletada foi determinada de acordo com a quantidade de areia reciclada, suficiente para realização

deste trabalho. Após o processo de separação e caracterização desse material, este passou por um processo de secagem e resfriamento para ser passado pelo processo de moagem, no qual foi usado o Moinho de Mandíbulas e o Moinho de Bond. Em seguida, o material foi peneirado em peneirador mecânico, e posteriormente foi reunido todo o material passante na peneira de 4,75 mm, sendo classificado como agregado miúdo.

Tendo como base as normas técnicas da ABNT, foram realizados ensaios para determinar as características do concreto.

2.1 Caracterização do cimento

O aglomerante utilizado na pesquisa foi o Cimento Portland composto com escória CP-II-32. Esse aglomerante possui adição de escória granulada de alto-forno – composição intermediária entre o cimento Portland comum e o cimento Portland com adições (alto-forno e pozolânico). Esse cimento combina resultados de baixo calor de hidratação com o aumento de resistência (CP II E, 2010).

2.2 Descrição do aditivo plastificante

O aditivo utilizado foi o POLI-BR 86, plastificante polifuncional para concreto com areia artificial - Redutor de água tipo 1, da marca Aditivos para concretos e auxiliares para construção civil (ADITIBRAS). Esse aditivo é de caráter polifuncional e foi desenvolvido para viabilizar o uso de areia artificial em todos os tipos de concreto (ADITIBRAS, 2021).

A quantidade de aditivo utilizada variou conforme a porcentagem de substituição de agregado miúdo reciclado. Essa variação ocorreu para melhorar a trabalhabilidade no teor de substituição de 50%, pois quanto maior a quantidade de areia reciclada menor ficava a trabalhabilidade.

2.3 Metodologia de confecção dos corpos-de-prova

2.3.1 Traços do concreto

O traço utilizado foi disponibilizado pela concreteira, sendo que o concreto foi dosado para resistência à compressão de 25 MPa, indicado normalmente para laje que terá um segundo pavimento (cômodo) construído sobre a mesma, também pode ser usado em pisos, colunas, baldrame, sapatas e radier, uma vez que, de acordo com a ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014) um concreto com fck de 25 MPa, pode ser utilizado como concreto estrutural. Esse traço foi feito com base na norma NBR 12655 (ABNT, 2015).

A Tabela 1 exibe a quantidade de aditivo utilizado para cada moldagem, a Tabela 2 mostra o traço em estudo, e a Tabela 3 mostra a dosagem para cada moldagem. As siglas dos concretos fabricados utilizadas nos textos correspondem a: concreto simples referência (R1), concreto com 25% de RCD (RCD 25), e concreto com 50% de RCD (RCD 50).

Tabela 1 - Quantidade de aditivo para cada porcentagem de RCD

Traço Fabricado	% de aditivo
Concreto Referência	0,63%
Concreto com 25% de RCD	0,56%
Concreto com 50% de RCD	1,06%

Fonte: Os autores (2021).

Tabela 2 - Traço do concreto em estudo

	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 0 (kg)	Brita 1 (kg)	Água (l)
Traço	1	2,98	1,45	1,86	0,74

Fonte: Os autores (2021).

Tabela 3 - Dosagem de materiais para cada moldagem realizada

	Água (l)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 0 (kg)	Brita 1 (kg)	RCD (kg)
R1	0,74	1	2,98	1,45	1,86	-
RCD 25	0,74	1	2,23	1,45	1,86	0,75
RCD 50	0,74	1	1,49	1,45	1,86	1,49

Fonte: Os autores (2021).

Com a finalidade de analisar as propriedades obtidas a partir da alteração do uso da areia natural (AN) pelos agregados de RCD nos concretos, foram feitas substituições de 25 e 50% da areia natural pela reciclada de RCD, sendo que estas substituições ocorreram em peso.

2.3.2 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

As moldagens dos corpos-de-prova seguiram as prescrições da NBR 5738 (ABNT, 2015): Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Foi utilizada a betoneira CS 130L disponível na concreteira CONCRETMAIS para a moldagem. Para essa moldagem, foram utilizados moldes cilíndricos de 20 centímetros de altura e 10 centímetros de diâmetro.

No processo de confecção do concreto, foi utilizado o Método de Mistura Dupla. De acordo com Otsuki *et al.* (2003), os agregados devem ser adicionados primeiro à betoneira; após 30 segundos de mistura, adiciona-se parte da água de amassamento. No início do primeiro minuto da mistura, adiciona-se o cimento; após dois minutos de funcionamento, a betoneira é desligada por um minuto, quando é realizada limpeza e mistura manual. No religamento do equipamento, acrescenta-se o restante da água e, neste momento, na presente pesquisa, foi adicionado também o aditivo plastificante (Aditibras), e misturado por mais dois minutos.

Seguindo a NBR 5738 (ABNT, 2015), para o adensamento do concreto, foi utilizado método manual em que os moldes cilíndricos foram previamente lubrificadas e preenchidos com o concreto fresco em 2 camadas, realizando o adensamento, efetuando 12 golpes por

camada e, por fim, fazendo o rasamento da superfície com a borda do molde, sendo em seguida identificados.

Após 24h, os corpos-de-prova foram desmoldados, depois foram imersos em solução saturada de hidróxido de cálcio, para a realização da cura. Após o período de cura, realizou-se a regularização da superfície para a distribuição igualitária da carga a qual foram submetidos.

2.4 Metodologia de caracterização do concreto

2.4.1 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de compressão foi realizado segundo a NBR 5739 (ABNT, 2018). Os corpos de prova, depois de retirados da cura e retificados, foram rompidos aos 28 dias. Para a realização do ensaio, utilizou-se a prensa marca EMIC/INSTRON, disponível na concreteira Concretmais.

2.4.2 Determinação da absorção de água por imersão

O ensaio foi realizado de acordo com o preconizado na norma NBR 9778 (ABNT, 2005), que prescreve o método para a determinação da absorção de água por imersão. Para a obtenção da absorção (Equação 1), realizou-se a pesagem dos corpos de prova em estado seco (m_s) e posteriormente saturado (m_{sat}), como pode ser visto na Figura 1.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

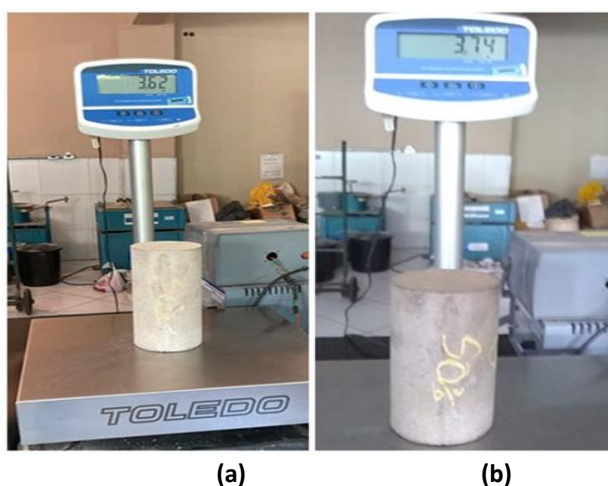


Figura 1- Pesagem corpo de prova (a) estado seco, (b) estado saturado
Fonte: Os autores (2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão para os corpos de prova do concreto com adição de RCD, no período de 28 dias, podem ser vistos na Figura 2.

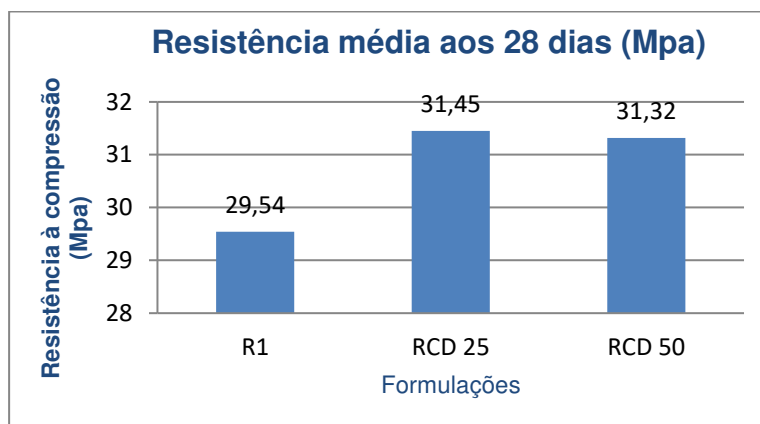


Figura 2- Resistência do concreto aos 28 dias

Fonte: Os autores (2021).

Aos 28 dias, levando em conta os pequenos desvios de 1,91 MPa e 1,78 MPa para os traços RCD25 e RCD50, respectivamente, os corpos de prova apresentaram resultados superiores ao traço de referência. Diante desse cenário, infere-se que os resultados de resistência à compressão são satisfatórios, tendo em vista os resultados obtidos.

Leite (2001) explica que os agregados naturais apresentam uma menor influência sobre a resistência à compressão do concreto convencional, devido ao fato da maior resistência e maior densidade, uma vez que a sua resistência supera a resistência da matriz. O oposto ocorre com o uso do agregado reciclado, há diminuição do fator A/C efetivo, causada pela absorção dos agregados de RCD de parte da água de amassamento, compensando a fragilidade dos RCD e aumentando sua resistência à compressão, como demonstrado na Figura 2 (SALLES *et al.*, 2021). Apesar disso, problemas de trabalhabilidade podem ocorrer e devem ser contornados com uso de aditivos.

Os resultados encontrados demonstram que a porcentagem 50% de substituição de agregado miúdo pelo RCD obteve ganho de resistência comparado ao concreto de referência. Outra justificativa para esse fato, segundo Castro (2018), pode ter acontecido pela presença de finos junto ao resíduo, que pela diferente granulometria, ajudam a preencher melhor os vazios junto com a areia presente no concreto, gerando efeito fíler.

3.2 Absorção de água por imersão

Os resultados obtidos no ensaio de absorção da água por imersão dos corpos-de-prova estão expostos na Figura 3.

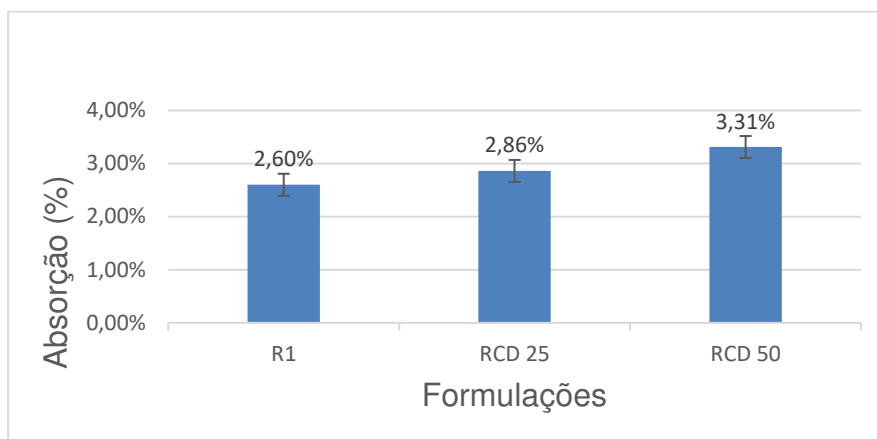


Figura 3 - Absorção de água média aos 28 dias (%)

Fonte: Os autores (2021).

A análise dos resultados desses ensaios revela uma tendência de aumento da absorção de água por imersão nos corpos-de-prova com agregados reciclados. Quanto maior a quantidade de RCD no concreto, maior é a absorção, devido ao fato de os agregados reciclados serem mais porosos e absorventes que os agregados naturais. Tal resultado pode ser confirmado no trabalho de Salles (2021), que obteve a mesma conclusão em suas pesquisas. Segundo Salles (2021), os concretos reciclados, em sua maioria, são mais absorventes.

Confirma-se essa tendência no trabalho de Pelissar *et al.* (2020), que obtiveram a mesma conclusão em suas pesquisas. Segundo eles, os agregados reciclados, em geral, possuem uma capacidade de absorção de água superior àquela apresentada por agregados naturais. Tal porosidade é herdada pelos concretos fabricados com RCD.

Apesar disso, segundo a norma NBR 9778 (ABNT, 1987), o teor de absorção de todos os corpos-de-prova ficou entre $4,2\% \leq a \leq 6,2\%$. Sendo assim, classifica-se esses concretos como convencionais.

4. CONCLUSÕES

A partir dos experimentos realizados, é possível concluir que:

1. Todos os concretos atingiram o seu FCK estimado de 25 MPa aos 28 dias. No que diz respeito à resistência à compressão, o concreto atingiu sua máxima resistência com substituição de 50%, aos 28 dias. Isso deve-se ao fato do agregado miúdo reciclado ser mais absorvente, retirando a água do traço na hora da moldagem, o que diminui o fator A/C efetivo da mistura de concreto. Com isso, houve o aumento da resistência.
2. Nos ensaios referentes à absorção de água por imersão, evidenciou-se uma propensão de aumento da absorção à medida que foi aumentada a porcentagem de substituição de RCD no concreto. Esse fato já era esperado, uma vez que os agregados reciclados possuem uma maior porosidade e, conseqüentemente, absorvem mais água.

Assim, pode-se concluir que os resíduos oriundos da construção/demolição demonstram viabilidade para serem considerados materiais alternativos à substituição parcial da areia natural na fabricação de concretos estruturais.

5. AGRADECIMENTOS

À empresa Concretmais, que forneceu boa parte dos materiais e o laboratório para realização de alguns ensaios. Em especial, ao Rafael Fonseca, que contribuiu grandemente na realização dos ensaios com seus conhecimentos técnicos e práticos. Ao laboratório Cetec da UEMG - Unidade João Monlevade, principalmente aos estagiários e funcionárias, que sempre estiveram disponíveis a nos ajudar.

6. REFERÊNCIAS

- ADITIBRAS. Plastificantes Polifuncionais. Disponível em: <https://aditibras.com.br/plastificantes-polifuncionais/>.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9776: Agregados Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
- CASTRO, R. H. Estudo da adição de resíduos de construção e demolição em concreto não estrutural. Lajeado, 2018.
- CP II E – Cimento Portland composto com escória. Cimento.org. [Internet] 2010. Disponível em: <<https://cimento.org/cp-ii-e-32-cimento-portland-composto-com-escoria/>>.
- LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.
- OTSUKI, N.; MIYAZATO, S.; YODSUDJAI, W. Influence of Recycled Aggregate on Interfacial Transition Zone, Strength, Chloride Penetration and Carbonation of Concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 15, n. 5, p. 443–451, 2003.
- PELLISSARI, V.; MATOSKI, A.; ALBERTI, M. E.; MEDEIROS, A. Absorção de amassamento em concreto de água. Brazilian Applied Science Review, vol 4, n. 1, 2020.
- ROTH, Caroline das Graças; GARCAS, Carlos Mello. Construção Civil e a Degradação Ambiental. Desenvolvimento em Questão. [Internet] 2009. Editora Unijai, ano 7, n. 13, p. 111-128, jan./jun., 2009.
- SALLES, P. V.; GOMES, C. L.; POGGIALI, F. S. J.; RODRIGUES, C. de S. A importância da segregação do agregado reciclado na resistência e na durabilidade do concreto estrutural. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21,

*XXIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa
Armação dos Búzios-RJ, 25 a 28 de Setembro de 2022*

n. 3, p. 177-196, jul./set. 2021.

SANTOS, I. R. Medidas para a redução de impactos ambientais gerados pela construção civil. [Internet] 2015. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014319.pdf>.

SCOTT HOOD, R. S. Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação. [Dissertação de Mestrado] - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre; 2006. 150 p.