ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO CELULAR ESPUMOSO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Study of the properties of foamed cellular concrete with construction and demolition waste

Caio Nogueira Pedrosa dos Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, MG | caiopedrosa2007@gmail.com

André Barroso Mourão
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, MG I andrebmourao@cefetmg.br

Ivan Batista Morais
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, MG I ivan@cefetmg.br

Lucas Thadeu da Silva Ramos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, MG I lucas.ramos@cefetmg.br

Júnia Nunes de Paula
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, MG I juniapaula@cefetmg.br

Resumo

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são constituídos em sua maior parte por resíduos de concreto, argamassa e materiais cerâmicos e representam cerca de 50% do volume total de resíduos gerados nos grandes centros urbanos. Os produtos cimentícios representam os materiais de construção mais usados no mundo, o que gera grande volume de extração dos recursos naturais. Dessa forma, a produção de RCD e a demanda por recursos não renováveis constituem problemas ambientais mundiais e exigem soluções urgentes. Logo, este estudo objetivou avaliar a influência do RCD como agregado miúdo sobre as propriedades do concreto celular espumoso (CCE). Foram produzidos CCE com 0%, 50% e 100% de RCD para realização dos ensaios de compressão aos 7, 21 e 28 dias de idade e ensaios de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica. O desempenho do CCE com RCD permite o seu uso como parede de concreto celular estrutural.

Palavras-chave: Resíduo de construção e demolição; Agregados; Concreto celular espumoso; Sustentabilidade ambiental;

ABSTRACT

Construction and demolition waste (CDW) is mostly made up of concrete, mortar and ceramic materials and represents around 50% of the total volume of waste generated in large urban centers. Cement products are the most widely used building materials in the world, which generates a large amount of extraction of natural resources. As such, the production of CDW and the demand for non-renewable resources are global environmental problems and require urgent solutions. Therefore, this study aimed to evaluate the influence of CDW as a fine aggregate on the properties of foam cellular concrete (FCC). FCC with 0%, 50% and 100% CDW was produced for compression tests at 7, 21 and 28 days of age, as well as immersion absorption, void index and specific mass tests. The performance of FCC with CDW allows it to be used as a structural cellular concrete wall.

Keywords: Construction and demolition waste; Aggregates; Foamed cellular concrete; Environmental sustainability;

1 INTRODUÇÃO

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são constituídos em sua maior parte por resíduos de concreto, argamassa e materiais cerâmicos, principalmente de alvenarias e revestimentos (Salles *et al*., 2021). Estima-se que a geração de RCD está entre 0,05 e 0,15 ton/m^2 oriundos de novas construções e cerca de 0,470 ton/m^2 originados de reformas e demolições (Azevedo *et al*, 2020). Nesse contexto, os RCD correspondem a cerca de 50% do volume total de resíduos gerados nos grandes centros urbanos (Duan *et al*.,2020; Ryou; Lee, 2014; Xiao *et al*., 2018a; Zhang *et al*., 2015).

Os produtos cimentícios representam os materiais de construção civil mais usados no mundo, o que resulta na grande extração e uso crescente dos recursos naturais, contribuindo para sua escassez (Salles *et al*., 2021; Pedro; De Brito; Evangelista, 2014; Prošek *et al*., 2019; SHI *et al*., 2015). Logo, diante do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, a produção de RCD e a crescente demanda por recursos não renováveis constituem problemas mundiais e exigem soluções urgentes (XIao *et al*., 2018b).

A ausência de gestão ou gestão ineficaz do destino final do RCD é causa de diversos impactos ambientais significativos como: disposição a céu aberto, transformação de terrenos baldios em lixões, aumento da proliferação de insetos, obstrução dos sistemas de drenagem das ruas (SINDUSCON-MG, 2018), inundações devido a obstrução de galerias, assoreamento de canais, proliferação de patologias e poluição (Neto; Leite, 2018). Dessa forma, o reuso e a reciclagem dos RCD contribuem para a redução dos impactos da construção civil no meio ambiente, bem como para o aumento da vida útil dos aterros, redução do volume de disposições inadequadas, minimização da demanda por recursos naturais não renováveis e criação de novas cadeias produtivas (Corinaldesi; Moriconi, 2009; Brito; Domingues De Figueiredo; John, 2020).

Dentre os vários tipos de concreto, tem-se o concreto leve que se distingue do convencional principalmente por apresentar menor massa específica e propriedades térmicas e acústicas diferentes (Melo, 2009). A redução da massa específica do concreto leve é resultado da substituição parcial dos materiais sólidos por ar (Rossignolo, 2009) e apresenta uma massa específica entre 300 kg/m³ e 2000 kg/m³ (Maycá, Cremonini E Recena, 2008). O concreto celular ou aerado, uma subdivisão do concreto leve, é fabricado a partir da adição de gás ou de espuma na pasta de cimento, que reagem produzindo gases e bolhas (Maycá, Cremonini, Recena, 2008).

Diante do exposto, a presente pesquisa estudou os efeitos da substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado (AR) de RCD sobre as propriedades mecânicas e de absorção do concreto celular espumoso (CCE).

2 METODOLOGIA

Este trabalho desenvolveu uma Pesquisa Exploratória, na qual a natureza é de uma Pesquisa Aplicada. A Abordagem do Problema foi realizada de forma Quantitativa e os procedimentos técnicos envolvem Pesquisa Bibliográfica e Pesquisa Experimental (SILVA; MENEZES, 2005).

2.1 MATERIAIS

Os seguintes materiais foram utilizados: cimento Portland CP V ARI, areia natural, RCD, detergente concentrado para produção da espuma e água. O RCD usado é cimentício, oriundo da britagem de blocos de pavers e enquadra-se na classe A, conforme a NBR 15114 (ABNT, 2004)

Conforme Gomes, os agregados de RCD (Figura 1) foram obtidos a partir de britagem de blocos intertravados de concreto (GOMES, 2024). Os pavers foram britados e segregados em granulometria miúda, produzindo-se agregados reciclados que foram classificados como ARCO (Agregado Reciclado de Resíduos de Concreto) (NBR 15116, ABNT, 2021).

Para a mistura mecânica da espuma e do CCE, os mesmos equipamentos usados e validados por Abdala *et al.* (2024) foram utilizados, conforme Figura 2. Para produção da espuma foi adicionada uma palha de aço na ponta da hélice do agitador, de forma a se gerar mais bolhas.

Figura 1: Agregado reciclado



Fonte: GOMES, 2024.

Figura 2: Equipamentos para agitação mecânica



Fonte: autores, 2025.

2.2 MÉTODOS

A caracterização do agregado natural e do agregado reciclado dividiu-se em: determinação da distribuição granulométrica, conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022), e determinação da massa específica, usando-se o frasco de Chapman. Três dosagens de concreto celular espumoso (CCE) foram produzidas: A100%, com areia natural; RCD, contendo 50% de agregado de RCD; e RCD100%, com 100% de agregado de RCD, conforme Quadro 1.

Quadro 1: Traços de CCE

CCE	Cimento (kg)	Areia natural (kg)	Areia RCD (Kg)	Água (L)	Espuma (L)
A100%	9,55	20	0	6,30	10
RCD50%		10	10		
RCD100%		0	20		

Fonte: autores, 2025.

As amostras de CCE receberam quantidade de espuma específica que possibilitou alcançar uma densidade de 1600 kg/m^3, medida no estado fresco. Este valor de densidade foi selecionado, pois mantém as características do concreto leve e permite o alcance de uma boa resistência mecânica. O valor de densidade foi mantido próximo de 1600 kg/m^3, de forma a se comparar a influência da introdução do RCD sobre as propriedades do CCE da maneira mais isolada possível.

A confecção do CCE dividiu-se nas seguintes etapas: a) inicialmente, misturou-se o cimento e a areia; b) em seguida, adicionou-se água aos materiais secos e foi feita agitação mecânica, produzindo-se a argamassa; c) em outro recipiente, a espuma foi produzida por meio de agitação mecânica (Figura 3) com a proporção 60 ml/L de detergente concentrado para água, durante 40 segundos; d) em seguida, adicionou-se 10 litros de espuma ao recipiente com argamassa; e) misturou-se mecanicamente a argamassa com a espuma, produzindo-se o CCE (Figura 3) e sua massa específica foi averiguada periodicamente, de forma que a agitação foi encerrada quando o CCE atingiu 1600 kg/m^3; f) Foram produzidos corpos de prova conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Figura 3: Produção da espuma e do CCE



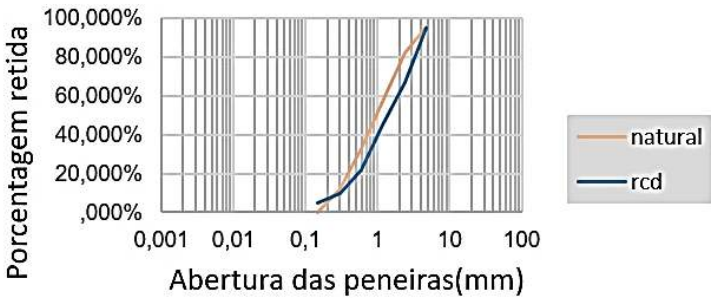
Fonte: autores, 2025.

As amostras foram submetidas aos ensaios de compressão axial de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018) após 7, 21 e 28 dias, bem como ao ensaio de absorção por imersão após 28 dias, seguindo-se a NBR 9778 (ABNT, 2005).

3 RESULTADOS E ANÁLISES

A areia natural apresentou média de valor da massa específica de 2,56 g/cm^3 e a areia de RCD obteve valor igual a 2,50 g/cm^3, com variação de apenas 2,40% em relação ao agregado natural. Nota-se que a areia de RCD detém uma parcela de grãos maiores se comparada à areia natural.

Figura 4: Curva granulométrica dos agregados



Fonte: autores, 2025.

O Quadro 2 apresenta os resultados de resistência à compressão. Nota-se que todos os traços de CCE apresentaram resistência superior a 5 MPa e, de acordo com NBR 17071 (ABNT, 2022), podem ser usados como parede de concreto celular estrutural. Todas as amostras apresentaram melhoria da resistência mecânica com o decorrer do tempo, o que evidencia a relevância e o impacto de uma cura adequada do concreto leve. O CCE com areia natural apresentou os melhores resultados para compressão e as dosagens com RCD exibiram valores muito acima do mínimo estabelecido pela Norma para seu uso como parede de CCE estrutural, principalmente após 28 dias.

O Quadro 3 exibe os resultados registrados no ensaio de absorção. Nota-se que a introdução do RCD praticamente não alterou a massa específica real do CCE, com aumento de apenas 2,49% e 3,53% dessa propriedade do RCD50% e RCD100%, respectivamente, em relação a A100%. Os concretos RCD50% e RCD100% apresentaram, respectivamente, aumentos de apenas 0,98% e 1,83% no índice de absorção quando comparados a AR100%. Embora a areia natural e o RCD tenham apresentado massas específicas com diferença de apenas 2,4%, acredita-se que essa discreta variação na massa específica e índice de vazios do CCE esteja relacionada com a maior porosidade do RCD.

Quadro 2: Resultados de resistência à compressão

CCE	Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)			Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)	Percentual em relação à AR100%
		CP 1	CP 2	CP 3				
AR100%	7	6,15	6,16	6,15	6,15	0,0057	0,09%	100,00%
	21	9,37	8,15	7,74	8,42	0,6758	8,02%	100,00%
	28	10,07	9,80	9,01	9,62	0,4498	4,67%	100,00%
RCD50%	7	5,49	5,45	5,75	5,56	0,1330	2,39%	90,40%
	21	7,41	7,43	7,48	7,44	0,0294	0,40%	88,36%
	28	7,85	7,44	8,11	7,80	0,2758	3,54%	81,08%
RCD100%	7	5,59	5,71	5,78	5,69	0,0785	1,38%	92,52%
	21	7,41	4,51	6,77	6,23	1,2778	20,51%	73,99%
	28	7,96	8,20	8,43	8,20	0,1919	2,34%	85,24%

Fonte: autores, 2025.

Quadro 3: Resultados do ensaio de absorção

CCE	Índice de absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Massa específica da amostra seca (kg/m3)	Massa específica da amostra saturada (kg/m3)	Massa específica da amostra real (kg/m3)
A100%	14,45%	19,17%	1.327	1.519	1.642
RCD50%	14,49%	20,15%	1.344	1.545	1.683
RCD100%	15,63%	21,00%	1.344	1.553	1.700

Fonte: autores, 2025.

4 CONCLUSÕES

Todas as dosagens de CCE apresentaram desempenho mecânico que permite seu uso como parede de concreto celular estrutural. A substituição da areia natural por areia de RCD praticamente não alterou o índice de absorção e índice de vazios do CCE. Dessa forma, ficou comprovado que o CCE com areia de RCD pode ser usado como parede de CCE estrutural, como também para vedação. Para pesquisas futuras, sugere-se o estudo das propriedades de durabilidade, bem como propriedades térmicas e acústicas das dosagens de CCE elaboradas.

Este estudo comprovou que o uso de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo no concreto celular espumoso contribui para uma solução sustentável na construção civil, sem que haja prejuízo no desempenho mecânico e índice de absorção do CCE.

A substituição da areia natural pelo RCD não apenas possibilita a reutilização de resíduos que seriam descartados, mas também contribui para a redução da extração de recursos naturais, promovendo a sustentabilidade ambiental e fortalecendo a economia circular. Logo, o uso de RCD no CCE se apresenta como uma alternativa eficiente e ambientalmente responsável para a construção civil, alinhando inovação tecnológica com responsabilidade ambiental.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CEFET-MG, à CAPES e à FAPEMIG pelo apoio e financiamento da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABDALA, J. C.; MOURÃO, A. B.; de PAULA, J. N.; RAMOS, L. T.; MORAIS, I. B. Avaliação das propriedades do concreto celular espumoso produzido com substituição parcial do cimento por cinzas de casca de arroz. **Revista tecnológica** – Universidade Estadual de Maringá. ISSN 15178-048. v. 33(1) p 97-106, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR 5739: Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

AZEVEDO, A. R. G.; CECCHIN, D.; CARMO, D. F.; SILVA, F. C.; CAMPOS, C. M. O.; SHTRUCKA, T. G.; MARVILLA, M. T.; MONTEIRO, S. N. Analysis of the compactness and properties of the hardened state of mortars with recycling of construction and demolition waste (CDW). ***Journal of Materials Research and Technology***, v. 9, n. 3, p. 5942-5952, 2020.

BRASIL.**Resolução CONAMA** No 307, de 5 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, 2002.

CORINALDESI, V.; MORICONI, G. Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete. ***Construction and Building Materials***, v. 23, n. 8, p. 2869–2876, 2009.

DE BRITO, L.; DOMINGUES DE FIGUEIREDO, A.; JOHN, V. M. Evaluation of the use of crushed returned concrete as recycled aggregate in ready-mix concrete plant. ***Journal of Building Engineering***, v. 31, p. 101408-101422, set. 2020.

DUAN, Z. et al. Study on the essential properties of recycled powders from construction and demolition waste. ***Journal of Cleaner Production***, v. 253, 2020.

GOMES, C. L. Avaliação mecânica e de durabilidade de concretos fabricados com resíduo de construção e demolição e cinza de casca de arroz. 2019. 60 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)** – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

GOMES, H. C.Sequestro de CO_2 por agregados reciclados de resíduos de construção e demolição e sua aplicação em argamassas. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)** - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024.

MAYCÁ, J.; CREMONINI, R. A.; RECENA, F. A. Contribuição ao estudo da argila expandida nacional como alternativa de agregado graúdo para concretos leves estruturais (CLE). ***Monografia de Especialização***. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2008.

MELO, G. F. Concreto celular polimérico: Influência da adição de resíduo poliéster insaturado termofixo. ***Tese de Doutorado*** – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

NETO, G. A. S.; LEITE, M. B. Study of the influence of the mortar fine recycled aggregate ratio and the mixing sequence on the behavior of new mortars. ***AmbienteConstruído***, v. 18, n. 2, 2018.

PEDRO, D.; DE BRITO, J.; EVANGELISTA, L. Performance of concrete made with aggregates recycled from precasting industry waste: influence of the crushing process. ***Materials and Structures***, p. 1–14, 2014.

PROŠEK, Z. et al. Role of lime, fly ash, and slag in cement pastes containing recycled concrete fines. ***ConstructionandBuildingMaterials***, v. 201, p. 702–714, mar. 2019.

ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações. São Paulo: **Pini**, 2009.

RYOU, J. S.; LEE, Y. S. Characterization of Recycled Coarse Aggregate (RCA) via a surface coating method.***International Journal of Concrete Structures and Materials***, v. 8, n. 2, p. 165–172, 2014.

SALLES, P. V.; GOMES, C. L.; POGGIALI, F. S. J.; RODRIGUES, C. S. A importância da segregação do agregado reciclado na resistência e na durabilidade do concreto estrutural. ***Ambiente Construído***, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 177-196, set. 2021.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS – SINDUSCON-MG. Alternativas para a destinação de resíduos da construção civil. 3. ed., 2018. Disponível em: <[link]>. Acesso em: 07 nov. 2024.

SHI, C. et al.Performance enhancement of recycled concrete aggregate: a review. ***JournalofCleanerProduction***, v. 112, p. 466–472, 2015.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M.**Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

XIAO, J. et al. Mechanical properties of concrete mixed with recycled powder produced from construction and demolition waste. ***Journal of Cleaner Production***, v. 188, p. 720–731, jul. 2018a.

XIAO, J. et al. Utilization potential of aerated concrete block powder and clay brick powder from C&D waste.***Construction and Building Materials***, v. 188, p. 117721, mar. 2018b.

ZHANG, J. et al. Influence of carbonated recycled concrete aggregate on properties of cement mortar. ***Construction and Building Materials***, v. 98, p. 1–7, 2015.