ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Concretos com agregados reciclados: cidades e comunidades sustentáveis

Concrete with recycled aggregates: sustainable cities and communities

Rodolfo Eduardo da Silva Bento
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) | Varginha | Brasil | rodolfosbento@gmail.com
Ryan Rodrigues Rios Neves
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) | Varginha | Brasil | ryan21rios@gmail.com
Mag Geisielly Alves Guimarães
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) | Varginha | Brasil | mag@cefetmg.br
Denise de Carvalho Urashima
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) | Varginha | Brasil | urashima@cefetmg.br

Resumo

A pesquisa visou avaliar concretos dosados com agregados graúdos reciclados com vistas ao desenvolvimento sustentável. Foram realizadas dosagens com substituições parciais (20%) e totais (100%) do agregado graúdo natural (100%AN) de rocha gnaisse por reciclados de blocos intertravados pré-fabricados de concreto (ARCO) e de composição cimentícia (ARCI), separadamente, de granulometria comercial brita n°1. Os concretos foram dosados para resistência à compressão mínima de 25 MPa aos 28 dias e abatimento 100±20mm, com aglomerante CP II E-32, aditivo plastificante em 1% e agregado miúdo natural média. Apenas os traços de 20%ARCO (100 mm), 20%ARCI (110 mm) e 100%ARCO (80 mm) atenderam a faixa de abatimento pretendido. Todos os resultados de resistência à compressão foram superiores a 25MPa: 44,1 MPa (100%AN), 40,9 MPa (100%ARCO), 32,2 MPa (100%ARCI), 32,5 MPa (20%ARCO) e 31,4 MPa (20%ARCI). Estes resultados pontuais foram satisfatórios para as condições analisadas e visaram agregar nas discussões pautadas na redução dos impactos negativos desencadeados pela indústria da construção civil e quais são os meios possíveis de suas mitigações na busca por cidades e comunidades sustentáveis.

Palavras-chave: Agregados graúdos reciclados. Desenvolvimento sustentável. Indústria da construção civil.

Abstract

The research aimed to evaluate concrete dosed with recycled coarse aggregates with a view to sustainable development. Dosages were carried out with partial (20%) and total (100%) replacement of the natural coarse aggregate (100%NA) of gneiss rock with recycled concrete aggregate (RCOA), interlocking concrete block pavement, and recycled cementitious aggregate

(RCIA), separately, with commercial granulometry crushed stone n. 1. The concretes were dosed for a minimum compressive strength of 25 MPa at 28 days and a slump of 100±20mm, with Portland cement CP II E-32, 1% plasticizing additive, and natural sand (medium particle size). The mixes 20%RCOA (100 mm), 20%RCIA (110 mm), and 100%RCOA (80 mm) met the slump intended. All compressive strength results were greater than 25MPa: 44.1 MPa (100%NA), 40.9 MPa (100%RCOA), 32.2 MPa (100%RCIA), 32.5 MPa (20%RCOA) and 31.4 MPa (20%RCIA). These specific results were satisfactory for the conditions analyzed. These aimed to add to discussions based on reducing the negative impacts triggered by the construction industry and the possible means to mitigate them in the search for sustainable cities and communities.

Keywords: Recycled coarse aggregates. Sustainable development. Construction industry.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, têm sido pautas de discussões a busca emergente pelo desenvolvimento sustentável a atual e futuras gerações [1]. No que tange a Indústria da Construção Civil (ICC), isso é abordado na temática geral de Construção Sustentável, definida como a edificação ou o espaço construído que teve na sua concepção, construção e operação o uso de conceitos e procedimentos reconhecidos de sustentabilidade ambiental, que proporciona benefícios e equidade econômica, na saúde e bem-estar das pessoas [2].

Em setembro de 2015, foi publicada a Agenda 2015, que compreende um conjunto de dezessete objetivos e cento e sessenta e nove metas integradas e indissociáveis para serem colocados em prática ao longo dos quinze anos subsequentes denominados de novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) globais [3]. Estes relacionam-se diretamente a Engenharia Civil na busca por “Cidades e Comunidades Sustentáveis” (ODS 11), que requerem projetos e sistemas construtivos que priorizem e alinhem práticas construtivas com menores impactos socioambientais, em conjunto a concepções por “Indústria, Inovação e Infraestrutura” (ODS 9) e “Consumo e Produção Responsáveis” (ODS 12).

A ICC representa um relevante setor econômico e social brasileiro e que contribui, diretamente, para o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) e na geração de empregos. Nos primeiros dez meses de 2023, o setor contribuiu com 14,23% dos novos empregos formais, que correspondeu a 6,05% do total de trabalhadores no país [4].

Contudo, a geração de Resíduos da Construção Civil (RCC), em volumes ainda expressivos no Brasil e seus descartes irregulares, são considerados um dos principais problemas nas áreas urbanas, pois apresentam alto potencial poluidor se descartado no meio ambiente [5]. Por exemplo, o aterramento de nascentes e corpos d’água, danos à paisagem, entupimento de canais de drenagem, obstrução de galerias de águas pluviais, poluição visual, obstrução de vias de tráfego, proliferação de vetores nocivos à saúde, dentre outros [6,7]. Em 2022, foram coletados cerca de 45 milhões de toneladas de RCC no Brasil, cujo volume correspondeu a 222 kg/habitante/ano [8].

É notório destacar que a elaboração de práticas de gestão e manejo de onze principais grupos de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil, tais como os da cadeia produtiva da ICC, e a atribuição de responsabilidades compartilhadas aos geradores, sejam pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, foi publicada pela Política

Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sancionada pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 e que foi regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 [9].

Neste quesito, uma alternativa já tangível é o emprego de RCC em dosagens de concretos e argamassas para fins estruturais ou não, por substituições de agregados naturais por agregados reciclados. Para a sua reciclagem, é essencial as obras realizarem a sua coleta e adequada segregação e, assim, destiná-los as usinas de reciclagem de entulhos. A segunda edição normativa [10] em vigência no Brasil permite a substituição de até 20% dos agregados convencionais por reciclado exclusivamente de Agregado Reciclado de Concreto (ARCO), desde que as dosagens de concretos e argamassas sejam para fins estruturais de classe de agressividade I e II [11].

Todavia, ainda se encontram entraves conceituais por profissionais quanto as propriedades e aplicabilidades dos agregados reciclados e a sua efetiva incorporação em cartas de traços estruturais nas inúmeras obras de engenharia civil. Como vantagens diretas, destacam-se a redução de gases do efeito estufa (CO_2) por extrações e transportes de agregados convencionais aos destinos de uso e dos impactos desencadeados pelas suas extrações ambientais, sequestros de CO_2 pelo uso de agregados reciclados por composições cimentícias, disposições irregulares dos RCC, assim como tornar em prática o manejo e gestão de tais resíduos em consonância às suas potencialidades de reciclagem e reutilização [12,13].

Quase 50% dos RCC destinados às usinas no Brasil são compostos por resíduos mistos (cimentícios e cerâmicos), 19% cinzas (concreto, argamassa e cimento), 11% cerâmicos (cerâmica, telhas de barro e congêneres) e 1% de origem predominantemente concreto [14]. Isto vem de encontro a meta estabelecida pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), publicada pelo Meio Ambiente (MMA), em se aumentar a reciclagem dos RCC em níveis de 25% até o ano de 2040 [15].

Neste âmbito, o presente trabalho visou discorrer sobre a incorporação de agregados graúdos reciclados em dosagens de concreto para fins estruturais na busca por cidades e comunidades sustentáveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

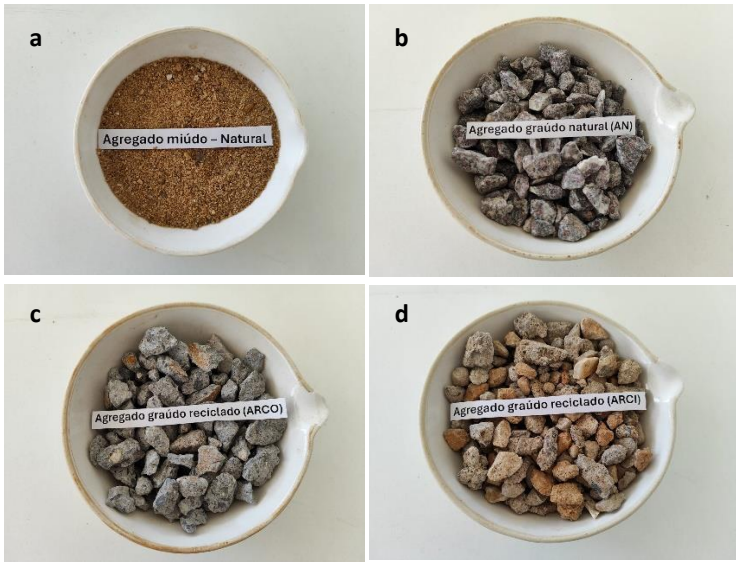
AGREGADOS GRAÚDOS NATURAL E RECICLADOS

Como delimitação experimental, fixou-se a substituição de agregado graúdo natural (AN) por agregados reciclados, todos com a mesma faixa granulométrica de 9,5 mm/25,0 mm [16], comercialmente denominado de brita n°1 [17]. O agregado graúdo natural (AN) foi de beneficiamento de rocha gnaisse em pedreira no Município de Varginha. O agregado miúdo utilizado foi areia lavada e de dragagem, granulometria comercial média e obtida no varejo local.

Foram empregados dois tipos de agregados graúdos reciclados: agregado reciclado de concreto (ARCO) e agregado reciclado cimentício (ARCI). A brita n°1 de ARCO foi obtida pela moagem, separadamente, de blocos intertravados pré-fabricados de concreto de

mesma origem em usina de reciclagem de entulhos. A brita n°1 de ARCI empregada foi de moagem de resíduos da construção civil (RCC) recebidos em usina de reciclagem de entulhos. A sua classificação ARCI se deu de forma tátil-visual e por informações obtidas na usina. Destaca-se que amostragens em campo de todos os agregados graúdos foram obtidas de acordo com recomendação normativa [18]. Os níveis de substituição do agregado graúdo AN pelos agregados reciclados (ARCO e ARCI) foram de 20% e 100%. O valor de 20% remete-se ao limite normativo [10] estabelecido para dosagens com fins estruturais, em classes de agressividade I e II, com o emprego de ARCO [11], o qual foi estendido para o agregado ARCI nesta pesquisa para fins de comparação. A substituição total (100%) teve como intuito de compreender o comportamento do concreto no referido percentual de uso, em comparação à dosagem experimental sem quaisquer substituições. A Figura 1 apresenta os agregados naturais e reciclados empregados na pesquisa.

Figura 1: Agregados empregados nas dosagens experimentais: areia natural média (a); brita nº 1 natural (b); brita nº 1 ARCO (c) e brita nº 1 ARCI (d)



Fonte: os autores.

Todos os agregados empregados na pesquisa foram caracterizados pelos seguintes ensaios, de modo a se obter parâmetros para as dosagens experimentais de concretos: massa específica [19,20], absorção de água [20], massa unitária e compacidade [21], composição granulométrica, dimensão máxima característica e módulo de finura [22], teor de material fino [23] e índice de forma [24].

DOSAGENS EXPERIMENTAIS DE CONCRETO

Definiu-se a dosagem de concreto experimental para classe de resistência mínima C25 (*fck = 25 MPa*) aos 28 dias e classe de consistência S100 (100 ± 20 mm). Os traços de dosagens para os concretos com agregado natural (100%AN) e substituições de 20% (20%ARCO; 20%ARCI) e 100% (100%ARCO; 100%ARCI) foram obtidos em massa pelo método de dosagem da ABCP/ACI [25,26]. O cimento Portland escolhido foi o CP II E-32 em todas as dosagens e fixação da relação água/cimento de 0,50 L/kg, o qual atende ao limite estabelecido para classe de agressividade II [11]. Ademais, utilizou-se um aditivo plastificante do tipo 1 redutor de água [27] na proporção de 1,0% da massa de

cimento Portland. Ressalta-se que a substituição 20%ARCO atende diretamente a preconização normativa que trata da incorporação de agregados reciclados para fins estruturais em vigência [10].

Em detrimento dos valores de absorção de água dos agregados reciclados e com o objetivo de minimizar a diminuição na trabalhabilidade dos traços, realizou-se a pré-molhagem e compensação de água dos agregados graúdos reciclados de acordo com recomendação normativa [10]. A Tabela 1 sumariza os traços experimentais em massa empregados na pesquisa.

Tabela 1: Traços experimentais de concreto dosados para a pesquisa.

Sigla	Descrição	Traços em massa
100%AN	100% brita n°1 natural	1:1,67:2,68:0,5
100%ARCO	100% brita n°1 ARCO	1:1,89:1,91:0,5
100%ARCI	100% brita n°1 ARCI	1:1,86:2,07:0,5
20%ARCO	20% brita n°1 ARCO e 80% brita n°1 natural	1:1,52: 0,54:2,15:0,5
20%ARCI	20% brita n°1 ARCI e 80% brita n°1 natural	1:1,57: 0,54:2,15:0,5

Fonte: os autores.

O comportamento dos traços experimentais analisados foi avaliado por abatimento do tronco de cone [28] e resistência à compressão axial [29] aos 7 e 28 dias pela moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos [30] de 100mmx200mm. Para cada traço e idade, foram moldados quatro corpos de prova pela dosagem de 30 litros de concreto [31].

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

A Tabela 2 sumariza os parâmetros de caracterização física dos agregados miúdo e graúdo, com siglas de dimensão máxima característica (DMC), módulo de finura (MF) e índice de forma (IF). A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas, com as indicações de limites inferior (d) e superior (D), para os agregados graúdos [32]. Na Figura 3, tem-se a curva granulométrica do agregado miúdo natural e as zonas ótima e utilizável [32], cuja distribuição granulométrica da areia média natural usada na pesquisa atendeu aos limites normativos.

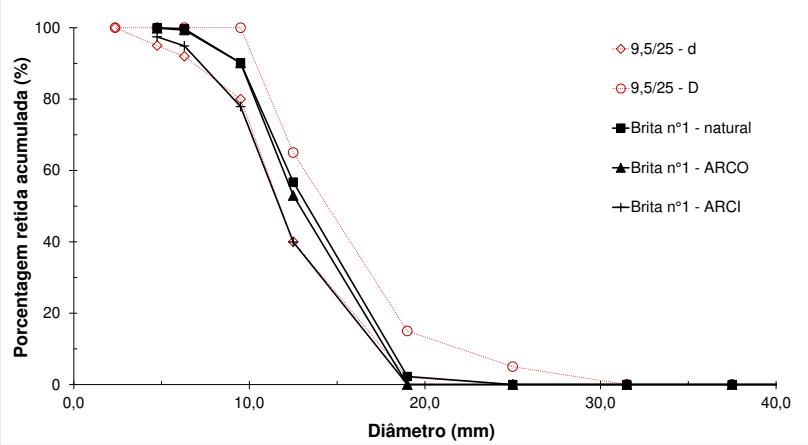
Em termos de massa específica dos agregados graúdos, observam-se que os resultados para ARCO e ARCI foram inferiores ao agregado AN, o que corresponderam a proporções de traço em massa dos concretos reciclados inferiores ao do concreto com 100%AN, conforme Tabela 2, embora a mesma correspondência de DMC de 19mm e das curvas granulométricas estarem entre as zonas granulométricas 9,0mm/25,0mm (Figura 3). Além disso, os menores resultados de compacidade (%) acarretaram maiores consumos da fase argamassa para se reduzir índice de vazios, e, assim, com melhorar a resistência à penetração de agentes agressivos, durabilidade e resistências mecânicas.

Tabela 2: Caracterização física dos agregados

Agregados	DMC (mm)	MF	Massa específica (kg/m³)	Absorção de água (%)	Massa unitária (kg/m³)	Compacidade (%)	Materiais finos (%)	IF
Miúdo natural, média	2,36	2,6	2646	---	1402	53,0	1,37	---
Brita n°1 natural (AN)	19,0	6,9	2890	0,7	1626	56,3	0,18	2,82
Brita n°1 reciclada de concreto (ARCO)	19,0	6,9	2260	5,5	1156	51,2	0,15	3,78
Brita n°1 reciclada cimentícia (ARCI)	19,0	6,6	2420	4,9	1256	51,9	0,99	3,10

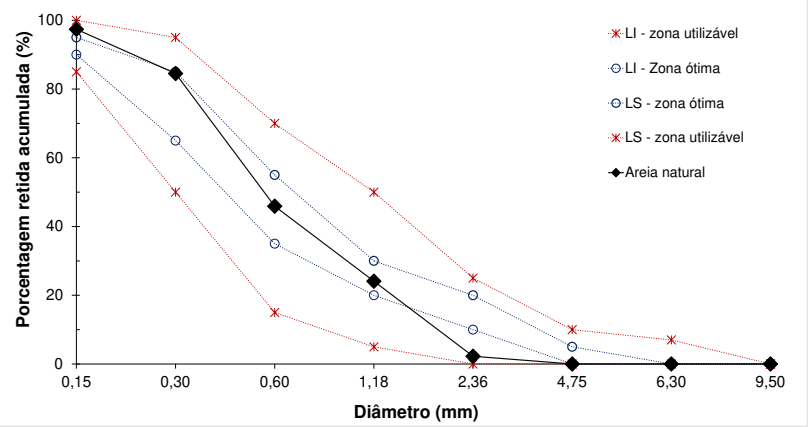
Fonte: os autores.

Figura 2: Curva granulométrica dos agregados graúdos



Fonte: os autores.

Figura 3: Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: os autores.

Os teores de materiais finos (%) obtidos atenderam ao limite de 12% para usos em concretos estruturais protegidos de desgastes superficiais [10]. Quanto ao índice de forma (IF), os resultados indicaram que os agregados graúdos são lamelares, com destaques a resultados superiores a 3,0 para ambos os agregados reciclados (ARCO e ARCI). Tais valores podem comprometer a trabalhabilidade de concretos no estado fresco, assim como o enfraquecimento da zona de transição interfacial (ZTI) no estado

endurecido por exsudação interna [26], cujas condições de dosagem, transporte e lançamento dos concretos requerem cuidados adicionais.

COMPORTAMENTO DOS CONCRETOS NOS ESTADOS FRESCO E ENDURECIDO

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para o abatimento do tronco de cone. Os traços 100%AN e 100%ARCI apresentaram resultados de abatimento inferiores ao adotado na dosagem (100 ± 20 mm) e os traços 20%ARCO e 20%ARCI obtiveram trabalhabilidades esperadas.

Embora ser possível ajustes de trabalhabilidade por aumentos de relação água/cimento de até 0,60 L/Kg, para classe de agressividade II [11], assim como aumentos nos teores de aditivo plastificante do tipo 1 redutor de água, optou-se por manter inalterados os traços para critérios de padronização das variáveis

Tabela 3: Abatimento do tronco de cone

Traços	Abatimento (mm)
100%AN	55 mm
100%ARCO	80 mm
100%ARCI	50 mm
20%ARCO	100 mm
20%ARCI	110 mm

Fonte: os autores.

A Tabela 4 sumariza os resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias, com os respectivos desvio-padrão amostrais (±). Na Figura 4, tem-se a representação gráfica em termos de diagrama de caixas.

Tabela 4: Resistência à compressão axial

Traços	Resistência à compressão (MPa)	
	7 dias	28 dias
100%AN	18,0 ± 1,5	44,1 ± 0,6
100%ARCO	14,8 ± 1,0	40,9 ± 1,7
100%ARCI	15,4 ± 2,3	34,2 ± 2,8
20%ARCO	15,5 ± 2,3	32,5 ± 2,2
20%ARCI	15,8 ± 2,4	31,4 ± 2,9

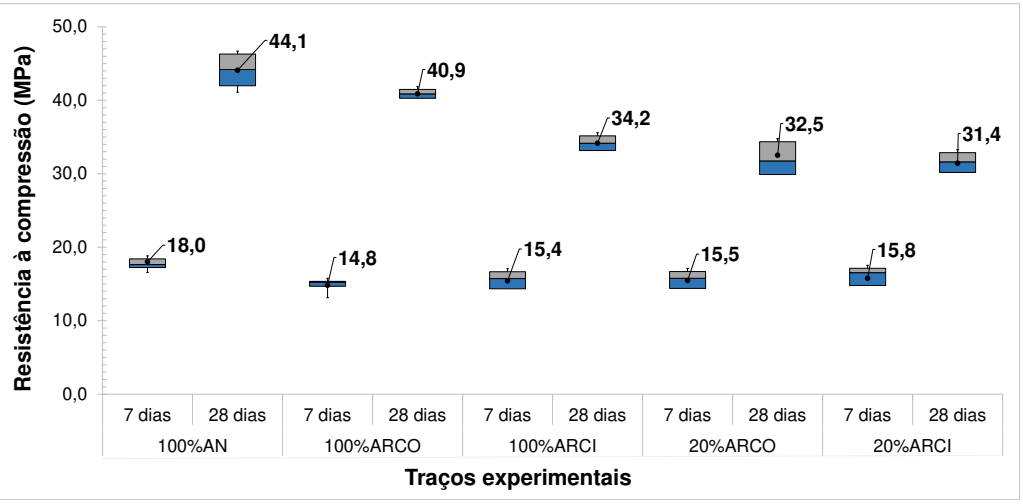
Fonte: os autores.

Todos os traços experimentais apresentaram resultados de resistência mínima C25 (*fck = 25 MPa*) aos 28 dias, bem como valores médios próximo (100%ARCO) e superiores a 15 MPa aos 7 dias. Verifica-se a distribuição dos resultados entre o intervalo interquartil e, praticamente, a ausência de maiores faixas entre os limites inferior e superior, o qual evidencia uma menor dispersão entre os resultados, condizentes com os resultados de desvio-padrão amostrais indicados na Tabela 4, assim como a ausência de valores atípicos (ou espúrios).

Os maiores resultados médios obtidos foram para 100%AN (44,1 MPa) e 100%ARCO (40,9 MPa). Para as dosagens com percentuais de substituição de 20%, os resultados médios de 20%ARCO (32,5 MPa) e 20%ARCI (31,4 MPa) foram próximos, em função dos respectivos desvios padrão amostrais (Tabela 4).

Os resultados de 20%ARCO atendem diretamente às premissas normativas [10]. Além disso, evidenciaram-se resultados superiores de 100%ARCO e 100%ARCI em relação às respectivas substituições parciais (20%ARCO e 20%ARCI), com percentuais de aumentos de 25,8% e 8,9%, respectivamente.

Figura 4: Diagrama de caixas das resistências à compressão axial



Fonte: os autores.

Destacam-se os resultados pela substituição total do agregado graúdo natural (AN) pelo agregado reciclado de concreto (100%ARCO), inferir a apenas 7,3% em relação a 100%AN, que dependeu diretamente da sua origem pela moagem de RCC de pavimentos intertravados e com ausências de misturas de demais fontes de resíduos de concreto.

Apesar da resistência obtida para 100%ARCI aos 28 dias ter sido 22,4% inferior ao 100%AN, os resultados também atenderam à resistência mínima para classe de agressividade II. Isto foi condicionada a brita n° 1 ARCI, o qual pode variar dentre demais origens de RCC. Neste contexto, o emprego de tais agregados deve ser ponderado com cautela para fins estruturais, mesmo que os resultados desta pesquisa tenham sido satisfatórios para os traços experimentais analisados, uma vez que os parâmetros dos RCC são variáveis e dependem, diretamente, das suas origens e composições predominantes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intuito da pesquisa foi avaliar a viabilidade do emprego de agregados graúdos reciclados em dosagens de concreto para fins estruturais, vindo de encontro ao entendimento da recomendação normativa vigente e as variáveis envolvidas.

Os resultados obtidos na pesquisa foram satisfatórios para as condições analisadas, uma vez que todos os traços analisados atenderam a resistência à compressão mínima aos 28 dias, para substituições parciais e totais e ambos os agregados reciclados (ARCO e ARCI). Destacam-se as similaridades entre os resultados de 20%ARCO e 20%ARCI, pela variabilidade amostral, e dos resultados de 100%ARCO terem sido apenas 7,3% inferiores ao concreto sem substituições (100%AN).

Quanto aos resultados de abatimento inferiores às condições estabelecidas de dosagem, os mesmos podem ser ajustados seja pelo aumento de teores de aditivos redutores de água ou na relação água/cimento limite para classes de agressividades I e II, bem como cuidados adicionais nas condições de transporte, lançamento e adensamento dos concretos.

Embora satisfatórios, ressalva-se que os resultados obtidos foram para fins de pesquisa e pontuais, os quais dependem das condições de dosagem e propriedades dos agregados reciclados, assim como requer pesquisas continuadas para demais dosagens e amostragens de resíduos, que atendam diretamente às premissas normativas.

Importante destacar os avanços em tais pesquisas no Brasil, bem como a revisão da norma que trata do emprego de agregados reciclados e a possibilidade do seu uso para fins estruturais em argamassas e concretos. Portanto, os resultados desta pesquisa vêm a agregar nas discussões pautadas na redução dos impactos negativos desencadeados pela indústria da construção civil e quais são os meios possíveis de suas mitigações na busca por cidades e comunidades sustentáveis.

Ademais, o incentivo de manejo, gestão de reciclagem de RCC em usinas de reciclagem, a compreensão dos parâmetros físicos e como estes podem influenciar em dosagens estruturais, conjuntamente ao entendimento e divulgação das alternativas construtivas aos futuros e atuais profissionais da engenharia civil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro. Às empresas Ecovia Reciclagem de Resíduos da Construção Civil Ltda. e Pedreira Santo Antônio Ltda. pelo fornecimento de materiais para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] OGUNMAKINDE, O.E.; EGBELAKIN, T.; SHER, W. Contribution of the circular economy to the UN sustainable development goals through sustainable construction. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 178, 106023, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106023

[2] CASADO, M., FUJIHARA, M. C. **Guia para uma Obra mais Verde**. Guia prático sobre Construções Sustentáveis nas cidades. São Paulo: Green Building Council Brasil, 2010.

[3] NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 15 setembro 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel. Acesso em: 08 mar. 2024.

[4] SIENGE. Balanço da Construção Civil 2023: Confira os ados anuais apresentados pela CBIC. Sienge by Softplan. 2023. Disponível em: https://www.sienge.com.br/blog/balanco-da-construcao-civil-2023/. Acesso em: 13 maio 2024.

[5] FERREIRA, T.C.; CALDANA, A.C.F.; BATALHÃO, A.C.S. Objetivos do desenvolvimento sustentável: o impacto de grandes representantes da construção brasileira. **Ambiente & Sociedade**, v. 26, 2023. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20210058r2vu2023L2AO

[6] SADATI, S.; KHAYAT, H.H. Field performance of concrete pavement incorporating recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 126, p. 691-700. 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.087

[7] PAZ, D.; LAFAETTE, K.; SOBRAL, M.C.; HOLANDA. M.J.; XIMENES, T. Riscos de impactos ambientais provenientes da deposição irregular de Resíduos da Construção Civil em bacias hidrográficas da Região Metropolitana do Recife. Revista Águas Subterrâneas, v. 32, n. 3, p. 325-336. 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i3.29149

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023**. São Paulo: ABREMA, 2023.

[9] BRASIL. **Lei nº 12.305, em 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 02 de Agosto de 2020. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, Casa Civil, Superintendência para Assuntos Jurídicos, 2010.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15116**: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: 2021.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto armado: procedimento. Rio de Janeiro: 2014.

[12] KALIYAVARADHAN, S.K.; LING, T.C. Potential of CO_2 sequestration through construction and demolition (C&D) waste - An overview. Journal of CO_2 Utilization, v. 20, p. 234-242, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jcou.2017.05.014

[13] LOPES, A.B.; PERTEL, M. Alternativa para Redução do Impacto Ambiental Causado pelos Resíduos da Construção Civil. **Revista Boletim do Gerenciamento**, v. 22, n. 22, p. 20-31, 2021.

[14] MIRANDA, L.F.R.; TORRES, L.; VOGT, V.; BROCARDO, F.L.M.; BARTOLI, H. Paronama atual do setor de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA INTERNACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (ENTAC 2016), XVI., 2016, São Paulo. **Proceedings [...]** São Paulo, 2016.

[15] BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2020. 187 p.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9935**: Agregados: terminologia. Rio de Janeiro: 2011.

[17] BRASIL. **Produto 22: Agregados para construção civil. Relatório técnico 30: perfil de brita para construção civil**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2009. 30 p.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16915**: Agregados: amostragem. Rio de Janeiro: 2021.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16916**: Agregado miúdo: determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: 2021.

[20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16917**: Agregado graúdo: determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: 2021.

[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16972**: Agregados: determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: 2021.

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17054**: Agregados: determinação da composição granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro: 2022.

[23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16973**: Agregados: determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro: 2021.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7809**: Agregado graúdo: determinação do índice de forma pelo método do paquímetro: método de ensaio. Rio de Janeiro: 2019.

[25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Parâmetros da dosagem racional do concreto**. 34ª Reunião de Técnicos da Indústria do Cimento. Anexo n°5. ABCP. São Paulo: São Paulo. 2016. Disponível em: https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Parametros-dosagem_34aRTIC1983.pdf. Acesso em: 12 fevereiro 2020.

[26] MEHTA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 2ª ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

[27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11768-1**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland: parte 1: requisitos. Rio de Janeiro: 2019.

[28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889**: Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: 2020.

[29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto: ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: 2018.

[30] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738:** Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: 2016.

[31] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16886**: Concreto: amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro: 2020.

[32] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro: 2019.