ENARC
FOZ DO IGUAÇU-2023

ESTUDO DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL COM DIFERENTES TEORES DE AGREGADOS GRAÚDOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Study of non-structural concrete with different content of recycled coarse aggregates of Construction and Demolition Waste

Maria Júlia de Oliveira Palhares
UFMG | Belo Horizonte, Minas Gerais | palharesmj@gmail.com

White José dos Santos
UFMG | Belo Horizonte, Minas Gerais | whitejsantos@gmail.com

Everaldo Bonaldo
PUC | Belo Horizonte, Minas Gerais | bonaldo@pucminas.br

Geraldo Tadeu Rezende Silveira
PUC | Belo Horizonte, Minas Gerais | geraldotadeu@pucminas.com

Resumo

Os resíduos de construção e demolição (RCD) representam cerca de 40% dos resíduos gerados mundialmente. A maioria desses resíduos não tem uma destinação correta, se tornando um problema para o meio ambiente. Neste contexto, o presente trabalho objetiva estudar os agregados graúdos reciclados de construção e demolição provenientes da usina de britagem da cidade de Betim, MG, em concretos não estruturais. Avaliou-se as características do agregado reciclado e propriedades mecânicas, físicas e microestruturais de concretos de teores de RCD de 0%, 20%, 33% e 50% em substituição ao agregado natural. Constatou-se que esses RCDs têm elevado teor de resíduos cerâmicos, contribuindo para o aumento do desgaste a abrasão, da porosidade e absorção de água. Conclui-se que a substituição interfere nas propriedades gerais do concreto, no entanto, não interfere no uso destes resíduos para concreto não estrutural, já que as exigências para uso deste tipo de concreto são menores.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição; Agregado reciclado; Usina de britagem; Concreto não estrutural.

Abstract

Construction and demolition waste (CDW) represents approximately 40% of the waste generated worldwide. Most of this waste isn't disposed of properly, thus becoming an environmental problem. In this context, the present study aims to investigate recycled coarse aggregates from construction and demolition originating from the crushing plant in the city of Betim, MG, in non-structural concrete. The characteristics of the recycled aggregate and the mechanical, physical, and microstructural properties of concretes with CDW contents of 0%, 20%, 33%, and 50% were evaluated as a replacement for natural aggregate. It was found that these CDWs have a high content of ceramic waste, contributing to increased abrasion wear, porosity, and water absorption. It is concluded that the replacement affects the overall properties of the concrete, however, it does not affect the use of these waste materials for non-structural concrete, as the requirements for the use of this type of concrete are minors.

Keywords: Construction and demolition waste; Recycled aggregate; Crushing plant; Non-structural concrete.

1 INTRODUÇÃO

Os agregados graúdos e miúdos são importantes na produção de concretos e argamassas e a indústria da construção civil é responsável por um alto consumo de recursos naturais, o que pode levar ao esgotamento de reservas de matéria-prima (WANG *et.al*., 2020; MAO *et. al*., 2021). Ao mesmo tempo, ela gera muitos resíduos sólidos (BAI *et.al*., 2020; JAGADEH *et.al*., 2021). Unindo a ideia de redução de consumo e a destinação correta dos resíduos de construção e demolição (RCD), pesquisadores vêm estudando e avaliando o uso de agregados graúdos reciclados a partir destes resíduos (SILVA NETO *et al*., 2021).

A maioria das pesquisas estuda concretos/argamassas estruturais e de alta resistência com uso de RCD (SILVA NETO *et al*., 2021). Sabe-se que substituição de agregados naturais por RCD, gera perda de resistência à compressão nos concretos à medida que se aumenta a taxa de substituição (GARCÍA-GONZÁLEZ *et al.,* 2017; GONZALEZ, ETXEBERRIA, 2014), principalmente quando se utilizam resíduos cerâmicos e de argamassas. É importante ressaltar, que não só a absorção de água do agregado reciclado, mas também sua heterogeneidade tem papel influenciador nas propriedades dos agregados e concretos, uma vez que esses agregados são provenientes de materiais de diferentes fontes e qualidades (BRAVO *et al.,* 2015; JOSEPH *et al*., 2015; SILVA NETO *et al*., 2021). Os poros encontrados na superfície das partículas afetam a aderência à pasta exercendo influências sobre diversas propriedades (GARCÍA-GONZÁLEZ et al., 2017; SILVA NETO *et al*., 2021). Assim, a resistência mecânica dos concretos depende da resistência do agregado e da absorção de água (SILVA NETO *et al*., 2021).

Diante disto, esta pesquisa estuda o uso de agregados graúdos reciclados de resíduos de construção civil, fornecidos pela Prefeitura Municipal de Betim, MG, e recolhidos em sua Usina de reciclagem de RCC, na produção de concretos não estruturais. Caracterizou-se e avaliou-se propriedades mecânicas de um concreto não estrutural com substituição de 0%, 20%, 33% e 50% por RCD. O intuito dessa pesquisa é fornecer uma destinação para esses agregados reciclados sem que eles passem por qualquer processo de preparo ou separação, pois não é de interesse da Prefeitura Municipal de Betim, aumentar o custo com mão de obra e refinamento do material que sai da usina. Além disso, muitas das vezes não é possível separar somente esse tipo de agregado, já que pode conter argamassa aderida, cimento e argamassa alterados na fracção fina, sendo provável também a presença de alguns contaminantes (KUMAR, *et.al*.2022).

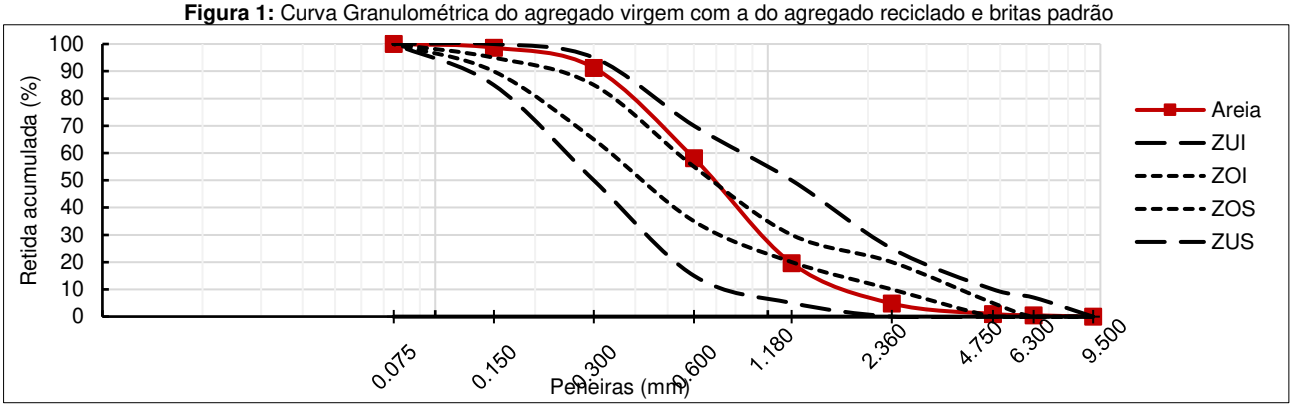
2 METODOLOGIA

Foram coletados agregados reciclados (graúdo) na Usina Citrolândia em Betim. Tais agregados são provenientes de obras e reformas do município, sendo compostos por concreto, cerâmicas, blocos, tijolos e vidros. Esses agregados, por terem quantidades significativas de materiais cerâmicos e argilosos, esfarelam-se parcialmente quando manuseados, o que dificulta a separação do agregado graúdo reciclado do resíduo que é chamado de pó fino. Tal pó tem dimensões tão finas que é considerado um filer. A geração desse pó pode ocorrer até mesmo durante a fabricação do concreto. A pesquisa de Gokce *et.al*.2011, comprova esse fato, mostrando que, à medida que se esfarela gradualmente, a argamassa de cimento acumula-se em AR de pequena dimensão.

Os agregados graúdos naturais (AGN) e os reciclados (AR) foram caracterizadas de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2022) e a NBR 15116 (ABNT,2021). Com isso, foram realizados os ensaios de granulometria NBR 17054 (ABNT,2022), desgaste abrasão NBR 16974 (ABNT,2022), índice de forma NBR 7809 (ABNT,2019) e torrões de argila NBR 7218 (ABNT, 2010). Utilizou-se areia natural quartzosa (adquirida no comércio) com curva granulométrica (Figura 1) de dimensão máxima característica de 2,36 mm e módulo de finura de 2,73. O cimento utilizado foi o CP V-ARI, de modo a acelerar as reações de hidratação, pensando em pré-fabricados sem função estrutural.

Os agregados graúdos reciclados foram substituídos em massa pelo agregado graúdo natural e não foi feita nenhuma molhagem prévia em ambos agregados, pois o intuito era avaliar o uso dos agregados na forma que veio diretamente da britagem, sem nenhum preparo. A massa específica da brita natural foi de 2,62 g/cm^3 e nenhum aditivo foi utilizado. O traço referência foi de 1,0:2,9:3,7:0,7 (cimento:areia:brita:água). O agregado graúdo natural foi substituído pelo agregado graúdo reciclado misto nas proporções de 0, 20, 33 e 50% (50% AN e 50% de AR), conforme Quadro 1.

Figura 1: Curva Granulométrica do agregado virgem com a do agregado reciclado e britas padrão



Quadro 1: Quantidade de material utilizado.

RCD (%)	Cimento (kg)	Areia (kg/m³)	Brita (kg/m³)	Água (L)	Reciclado (kg/m³)
0	283	0,012	1,036	198	0
20	283	0,012	0,829	198	0,207
33	283	0,012	0,725	198	0,311
50	283	0,012	0,,502	198	0,502

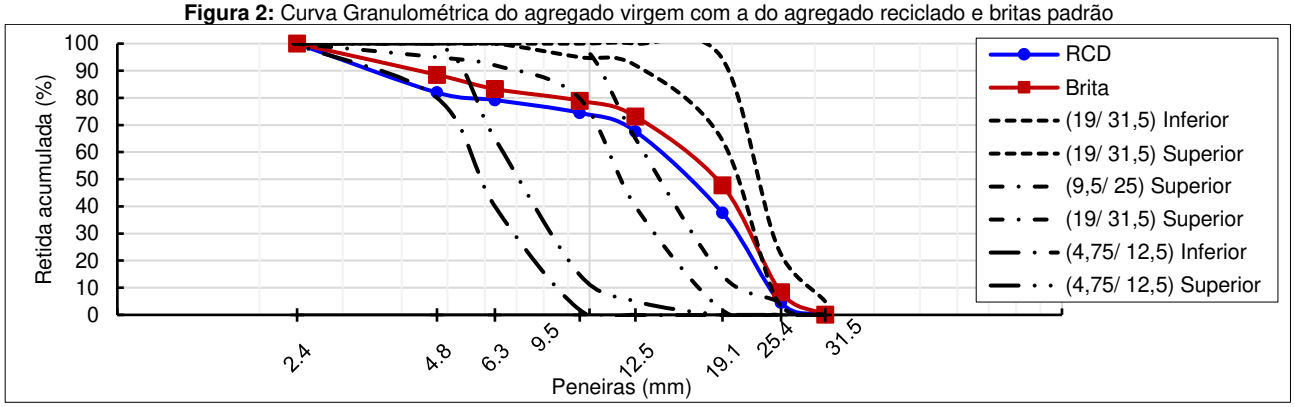
As amostras foram curadas por saturação em água com cal e mantidas em uma câmera úmida com a temperatura de 24ºC até 2 horas antes da realização do ensaio. Foram feitos ensaios de *Slump Test* conforme a norma NBR 16889 (ABNT, 2020). Após a cura, 3 corpos de prova cilíndricos (ϕ10 x 20 cm²) para cada proporção foram retificados e rompidos aos 28 dias de idade para obtenção da resistência a compressão seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018). A absorção de água por imersão foi realizada segundo a NBR 9778 (ABNT, 2012) em corpos de prova prismáticos de (10 x 20 x 5 cm³). Realizou-se adicionalmente, uma análise de microestrutura por meio de microscópio digital de aproximação de até 1600 vezes nas amostras rompidas no ensaio de compressão.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 ANÁLISE DOS AGREGADOS GRAÚDOS NATURAIS E RECICLADOS

A granulometria (Figura 2) do agregado graúdo natural resultou numa dimensão máxima caraterística de 31,5 mm, enquanto a granulometria do agregado reciclado resultou em 25,4 mm. Tal fato mostra que o agregado reciclado possui dimensões menores que o agregado normal. Percebe-se, contudo, que as curvas de granulometria dos agregados reciclado e natural são próximas. Elas apresentam frações nas zonas de Brita 2 (19/31,5), 1 (9,5/25) e 0 (4,75/12,5). As diferenças entre as granulometrias dos agregados naturais e reciclados se devem ao fato dos materiais terem sido fornecidos por empresas diferentes, as máquinas de britagem eram diferentes, ou seja, foram gerados com granulometrias diferentes. Como foram usados produtos disponíveis no mercado, não foi possível ajustar as curvas granulométricas, mas em futuras pesquisas será feita a tentativa de aproximar as duas curvas.

Figura 2: Curva Granulométrica do agregado virgem com a do agregado reciclado e britas padrão



Para o AGN foram medidos o comprimento e a espessura de 211 amostras, gerando um índice de forma de 1,10. Já para o agregado reciclado misto foram medidas 203 amostras e o valor do índice de forma (IF) foi de 2,23. Ambos IFs estão nos padrões normativos de valor menor que 3. Percebe-se ainda que as partículas de AGR são mais alongadas que as AGN, o que pode ter surgido em função do processo de britagem e da dureza

do material britado. O resultado na porcentagem de materiais finos igual a 1,44 %, logo acima do limite normativo de 1% NBR 16973 (ABNT,2021), indicando que o material ensaiado tem grande porcentual de finos.

A figura 3 mostra uma amostra dos agregados reciclados da usina de Betim. Trata-se de uma amostra muito heterogênea, contendo resíduos cerâmicos provenientes de tijolos, concreto com argamassa aderida e resíduos de argamassa proveniente de tijolos.

Figura 3: Formas dos agregados graúdos reciclados



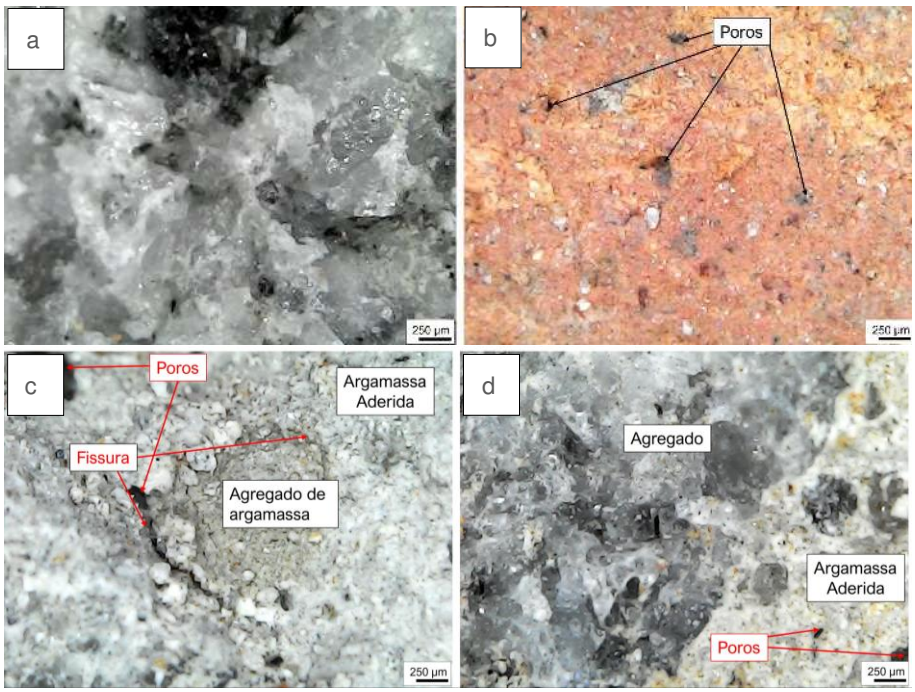
Observa-se, pelo quadro 2, que o desgaste abrasão resultou num valor alto, acima do valor limite normativo de 50 %. Os resultados comprovaram que o AR possui baixa resistência ao manuseio. Algumas pesquisas explicam esse fato mostrando que o teor de sulfato no AR é maior do que no AN, devido à presença de sulfato na argamassa antiga aderida, fato que pode levar ao maior desgaste a abrasão, pois o excesso dessa substância pode levar a uma expansão do concreto (JUAN *et.al.*, 2009). Como o intuito no presente trabalho é o concreto não estrutural, uma baixa resistência não interfere em seu uso, já que o concreto analisado estará sujeito a solicitações menores.

Quadro 2: Desgaste por abrasão do agregado reciclado misto

AMOSTRA TOTAL (g)	RETIDO NA # 12 (g)	PASSADO NA # 12 (g)	DESGASTE POR ABRASÃO
5,1	1,3	3,7	73,70%

A Figura 4 mostra imagens feitas com microscópio digital de 1600 vezes de aproximação. Percebe-se que a microestrutura de algumas partículas do agregado graúdo detém características similares às da rocha original com poucos poros, uma formação mais cristalina e mais homogênea. Já a microestrutura do agregado cerâmico é muito porosa e contém uma estrutura heterogênea comparada ao natural. De forma similar, a microestrutura do agregado reciclado proveniente de concreto, apresenta-se como um material heterogêneo, com grande quantidade de poros, contendo algumas argamassas aderidas e presença de fissuras ao longo dos grãos e na zona de transição do agregado com a pasta, gerando uma região mais enfraquecida. Todas essas características podem afetar a resistência final do concreto com reciclado.

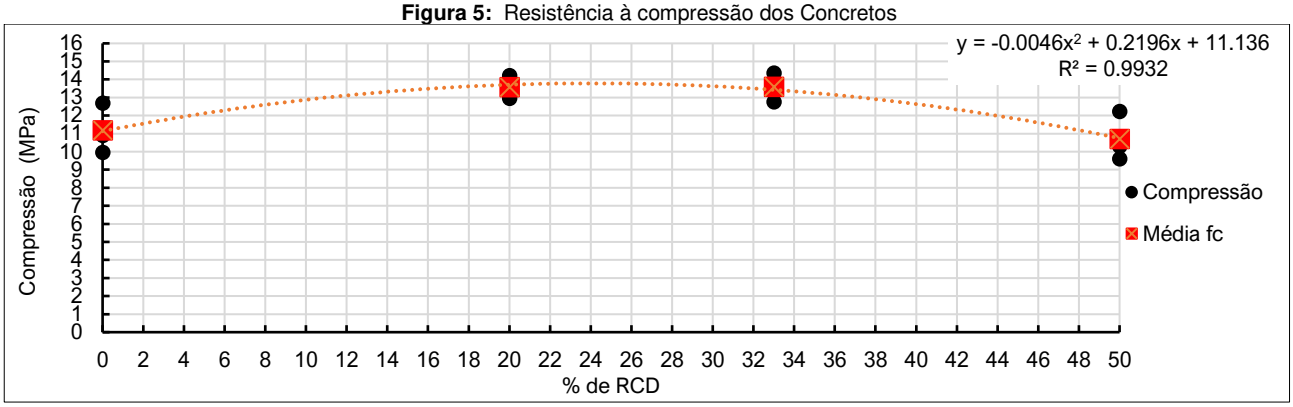
Figura 4: Microestrutura do (a) agregado graúdo natural, (b) resíduos cerâmicos, (d) e (c) concreto com argamassas aderida.



4.2 AVALIAÇÃO DO CONCRETO COM RCD

Os resultados (Figura 5) das resistências à compressão aos 28 dias com a inserção do AR tenderam a gerar um leve aumento nas proporções de substituição entre 20 e 33 % do AGN. Acredita-se que nesta proporção os valores da baixa resistência do AR não geraram grandes impactos na compressão. Houve um melhor empacotamento promovido pelas partículas de AR gerando um aumento de 21,42 em 20% de substituição e de 21,61% em 33% de substituição do AGN.

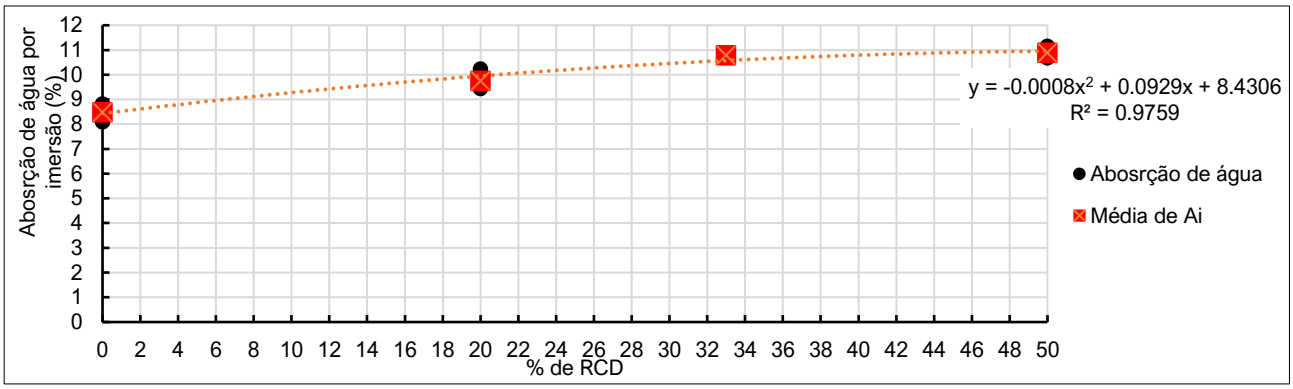
Figura 5: Resistência à compressão dos Concretos



Ao analisar percentualmente, constata-se que a resistência à compressão das amostras com substituição do AN por AR em relação ao concreto convencional, com 0% de substituição nos teores de substituição de 20 e de 33 % apresentaram leves aumentos (2 e 3%). Sendo assim, o uso de 20 ou 33 % de substituição do AR sem preparo prévio dos agregados e sem adição, seria viável para este tipo de concreto. Já 50% apresenta uma redução mais expressiva (23%), sendo contraindicado.

Os resultados de absorção de água por imersão (Figura 6) demonstram uma tendência de aumento da permeabilidade dos concretos com a substituição do agregado natural pelo reciclado. Percebe-se que, à medida que se aumenta a quantidade de agregado reciclado, tem-se um aumento da absorção de água até aproximadamente 11% (aumento de 27%) em 33% de RCD se estabilizando até 50% de RCD. Estudos mostraram que a argamassa é responsável pelo aumento dos poros na estrutura do concreto, chegando ao aumento da absorção dele de 2,3 a 4,6 vezes a mais do que a do convencional (SURYAWANSHI, *et.al.* 2015).

Figura 6: Absorção de água por imersão dos concretos com vários teores de agregado reciclado

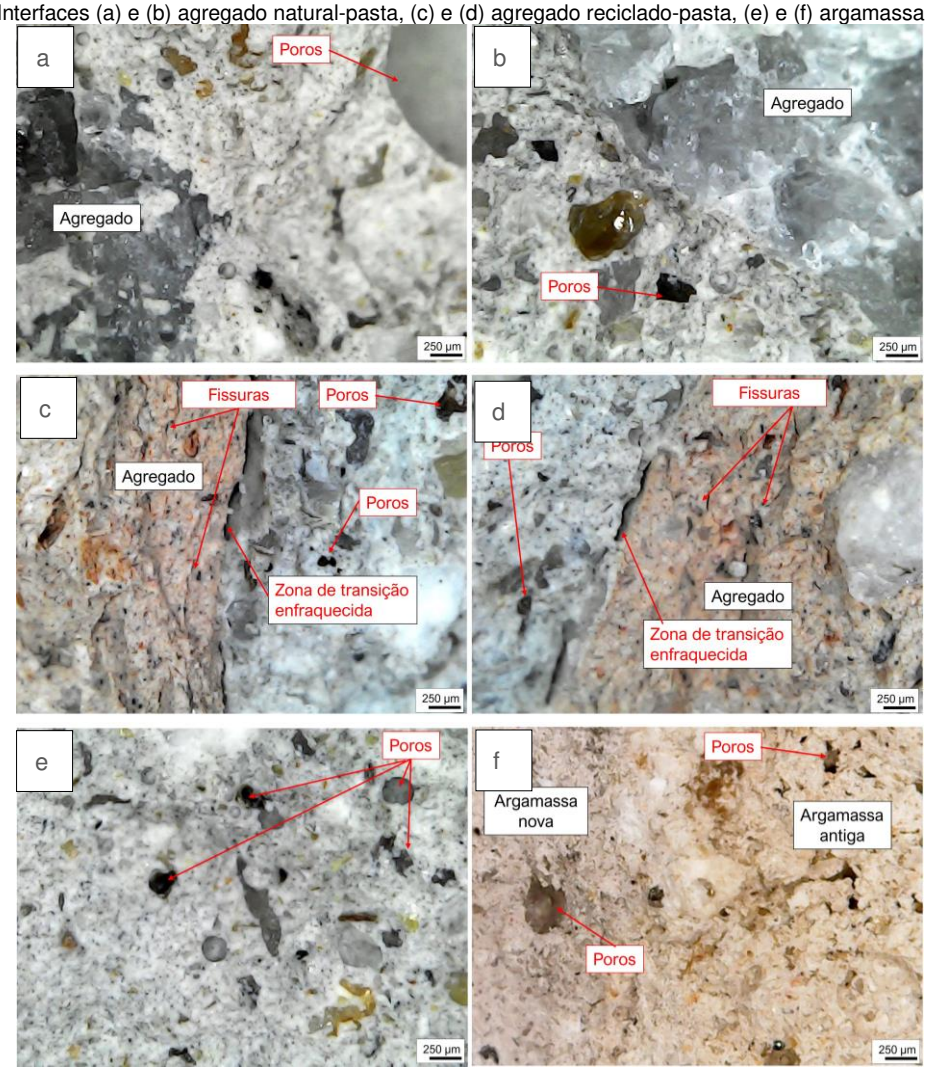


Tais resultados mecânicos e físicos são corroborados pela análise da microestrutura dos concretos (Figura 7). Percebe-se uma matriz enfraquecida e com muitos poros provenientes do elevado teor de água (relação a/c de 0,7) e do baixo consumo de cimento (aproximadamente 285 kg/m³), próprio de um concreto não estrutural. A presença do RCD não gerou grandes alterações na morfologia da matriz, mesmo apresentando elevada presença de fissuras na matriz, nos agregados e na zona de tração agregado/matriz. A porosidade adicional do RCD não aumentou expressivamente a porosidade do concreto, contudo aumentou a demanda da água gerando uma relação água/cimento efetivamente menor que pode ter maximizado a resistência à compressão nas proporções de RCD de 20 e 33%, ampliando o valor em 21% aproximadamente.

Observa-se na figura 7 que a interface entre o agregado reciclado e a pasta se apresenta porosa e com várias fissuras. Assim, o agregado reciclado não garantiu uma boa aderência com a matriz, resultando em uma zona de transição enfraquecida. Esse fato tende a uma menor resistência à compressão, uma vez que esta região

é primordial para o concreto – geralmente é a região mais enfraquecida do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Figura 7: Interfaces (a) e (b) agregado natural-pasta, (c) e (d) agregado reciclado-pasta, (e) e (f) argamassa nova-antiga



5 CONCLUSÃO

Foi observado que o material oferecido pela Prefeitura de Betim tem uma porcentagem alta de argamassa aderida e cerâmicos, o que pode ter levado ao alto valor de desgaste abrasão. Apesar da baixa resistência devido ao alto valor de a/c, foi possível notar que as substituições de 20 e 33 %, podem ser usadas já que a redução da resistência à compressão foi mínima. Existem outras opções para melhoria da resistência, entre elas estão, a retirada dos materiais mais finos do agregado reciclado, a separação dos materiais cerâmicos deixando apenas os agregados provenientes de RCC de concreto e a separação do material britado por granulometria. Outra opção é o uso de aditivos, como a fibra de polipropileno. Em geral, esse estudo contribuiu para o tema da utilização de RCC de classe A para fabricação de concretos não estruturais, como uso em praças, calçadas e passeios, demonstrando que esta pode ser uma alternativa para a destinação ambientalmente e sanitariamente correta destes resíduos, embora ainda sejam necessários estudos mais aprofundados.

6 AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre me mostrar o caminho certo. Agradeço também a todos os professores da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e da Universidade Federal de Minas Gerais, que contribuíram para a realização dessa pesquisa, aos meus pais, meu irmão e minha família.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211:** Agregados para Concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2022.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 17054**: Agregados-Determinação da composição granulométrica – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16972:** Agregados – Determinação da massa unitária e índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 7218:** Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7809:** Agregados – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro- Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2019.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16974:** Agregados – Resistência ao impacto e à abrasão Los Angeles. Rio de Janeiro, 2022.

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, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS- ABNT **NBR 16889**: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15112:** Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos – Áreas de Transbordo e Triagem – Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 15114:** Resíduos Sólidos da Construção Civil – Áreas de Reciclagem – Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação. Rio de Janeiro, 2004.

BAI, G.; ZHU, C.; LIU, C.; LIU.; B. An evaluation of the recycled aggregate characteristics and the recycled aggregate concrete mechanical properties. **Construction and Building Materials**. Vol.19, 20 abr. 2020. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117978

BRAVO, M.; BRITO, J.; PONTES, J.; EVANGELISTA, L. **Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants**. Journal of Cleaner Production, vol. 99, pp. 59-74, 2015. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.012

GRADIN, A. M. N.; COSTA, P.S. N. **Reciclagem de resíduos sólidos da construção civil.** 2003

GOKCE, A. et.al. Identification of frost-susceptible recycled concrete aggregates for durability of concrete. **Construction and Building Materials**.vol.25, p.2426-2431, maio, 2011. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061810005842

GONZALEZ, M. ETXEBERRIA, M. Experimental analysis of properties of high performance recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, vol. 52, pp. 227-235, 2014. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.054

GARCÍA-GONZÁLEZ, J.; BARROQUEIRO, T.; EVANGELISTA, L; BRITO, J.; BELIE, N. MORÁN-DEL POZO, J.; JUAN-VALDÉS, A. Fracture energy of coarse recycled aggregate concrete using the wedge splitting test method: influence of water-reducing admixtures. **Materials and Structures,** vol. 50, pp. 1-15, 2017. https://doi.org/10.1617/s11527-016-0989-z

JOSEPH, M.; BOEHME, L.; SIERENS Z.; VANDEWALLE, L. **Water absorption variability of recycled concrete aggregates.** Magazine of Concrete Research, vol. 67, pp. 592-597, 2015. https://doi.org/10.1680/macr.14.00210

KUMAR, S. et al. A review on the properties of natural and recycled coarse aggregates concrete made with different coal ashes. **Cleaner Materials**. Vol.5 set. 2022. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772397622000697

SAJAN, K. C. et al. Mechanical characterization of recycled concrete under various aggregate replacement scenarios. Clean Engineering and Technology. vol.7. Abril,2022. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790822000337

MAO, Y.G.; LIU, J.H.; SHI, C.J. Autogenous shrinkage and drying shrinkage of recycled aggregate concrete: a review**, Journal of Cleaner Production**. Vol. 295, Maio 2021. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126435

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 2ªed.2014

M.S. Juan, P.A. Gutiérrez. Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials,** Vol. 23, p. 872-877. Fevereiro, 2009. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061808001086

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 4ª Ed. Editora UFMG.2002.

SILVA NETO, G. A.; AGUILAR, M. T. P.; BARROS, R. T. V.; SANTOS, W. J. Influence of Heterogeneity, Typology, and Contaminants of Recycled Aggregates on the Properties of Concrete. **The Open Construction & Building Technology Journal**, v. 14, p. 382-399, 2021. https://doi.org/10.2174/1874836802014010382

SURYAWANSHI, S.R, et.al. Characterization of recycled aggregate concrete. **Adv. Struct. Eng.** 2015

TAM, V. W.Y.; SOOMRO, M.; EVANGELISTA, A. C. J. **A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017)**. Construction and Building Materials. Vol. 172, p. 272-292. 2018. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.240

WANG, R.; YU, N.; LI, Y. Methods for improving the microstructure of recycled concrete aggregate: A review. **Construction and Building Materials**, Vol. 242. 10 Maio 2020. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118164