CONCRETO PRODUZIDO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Concrete produced with construction and demolition waste

Henrique Comba Gomes
University of Plymouth | Plymouth, United Kingdom | henrique.combagomes@plymouth.ac.uk

RESUMO

A reciclagem de resíduos de construção e demolição como agregados reciclados já ocorre em diversos países. Essa prática se fortaleceu no Brasil em 2021 após a norma brasileira NBR 15116 incluir limites para aplicação de agregados reciclados. Entretanto, ainda existem limitações e descrenças em relação ao desempenho geral de concreto reciclado. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento de concreto reciclado produzido com substituição total de agregados naturais por reciclados considerando propriedades físicas e mecânicas. Os resultados mostraram que agregados reciclados podem ser classificados do tipo cimentícios devido a presença de 93,72% de resíduos cimentícios e 2,51% de cerâmicas em sua composição. Essa composição acarretou a piora das propriedades dos agregados reciclados quando comparados aos naturais, impactando na performance dos concretos reciclados. Os concretos reciclados ultrapassaram 18MPa para resistência à compressão aos 28 dias, permitindo sua aplicação para fins não estruturais de acordo com a NBR 6118.

Palavras-chave: Resíduos da construção e demolição; Agregados reciclados; Concreto reciclado; Reciclagem.

ABSTRACT

The recycling of construction and demolition waste as recycled aggregates is already taking place in several countries. This practice was strengthened in Brazil in 2021 after the Brazilian standard NBR 15116 included limits for applying recycled aggregates. However, there are still limitations and doubts about the general performance of recycled concrete. On this, the present work aims to evaluate the behavior of recycled concrete produced with total replacement of natural aggregates with recycled material, considering physical and mechanical properties. The results showed that recycled aggregates can be classified as cementitious due to the presence of 93.72% cementitious waste and 2.51% ceramics in their composition, which led to a deterioration in the properties of recycled aggregates, impacting the performance of recycled concrete. The recycled concretes exceeded 18MPa for compressive strength at 28 days, allowing them to be used for non-structural purposes following NBR 6118.

Keywords: Construction and demolition waste; Recycled aggregates; Recycled concrete; Recycling.

1 INTRODUÇÃO

Visando atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU) (Organização das nações unidas, 2023), o aumento da taxa de reciclagem de resíduos da indústria é um tema relevante para à mitigação de impactos ambientais (Organização das nações unidas, 2023). O setor da construção civil é estratégico para o desenvolvimento da remodelação do espaço urbano, sendo útil para a adaptação do espaço às demandas da sociedade (Evangelista; Brito, 2010). No entanto, também é a principal produtora de resíduos de construção civil (RCC), resíduo que produz impactos ambientais negativos em diversos aspectos, tais como uso e ocupação do solo, emissões de gases de efeito estufa e poluição da água (Wu *et al.*, 2019).

De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os RCC podem ser produzidos a partir de diversos tipos de materiais de construção, tais como concretos, rochas e solos (Brasil, 2002). A gestão de RCC do Brasil é um desafio devido a geração de resíduos ultrapassar a marca de 44 milhões de toneladas (Abrema, 2024), sendo 70% disposta em espaços inadequados (Silpa *et al.,* 2018).

Uma das formas de aumentar o manejo dos RCC é sua utilização para a produção de agregados reciclados (AR) Gomes *et al*., 2023; Guimarães *et al*., 2020; Reis *et al*., 2022). AR detém o potencial para substituir agregados naturais (AN) em granulometrias grossa ou fina, porém de forma restrita. A NBR 15116 (ABNT, 2021a) limita a aplicação de AR da classe ARCO para fins estruturais a 20% da massa de agregados totais e a concretos de classe I e II previstas na NBR 6118 (ABNT, 2024) devido a diminuição da performance os materiais reciclados. Nesse sentido, este trabalho discute o decréscimo das propriedades de concretos reciclados oriunda da aplicação de agregados reciclados.

2 METODOLOGIA

2.1 MATERIAIS

Os agregados reciclados foram obtidos da usina de processamento de resíduos ECOVIA em Varginha, Minas Gerais. Os AR foram produzidos pela trituração de resíduos de construção e demolição provenientes de canteiros de obras descartados nas caçambas de propriedade da usina. AR de granulometria fina (ARF) e grossa (ARG) foram produzidos conforme ilustra a Figura 1. É importante ressaltar que a usina não realizou a segregação dos resíduos antes da britagem.

Figura 1: Agregados reciclados fino (a) e grosso (b) obtidos da usina de reciclagem.



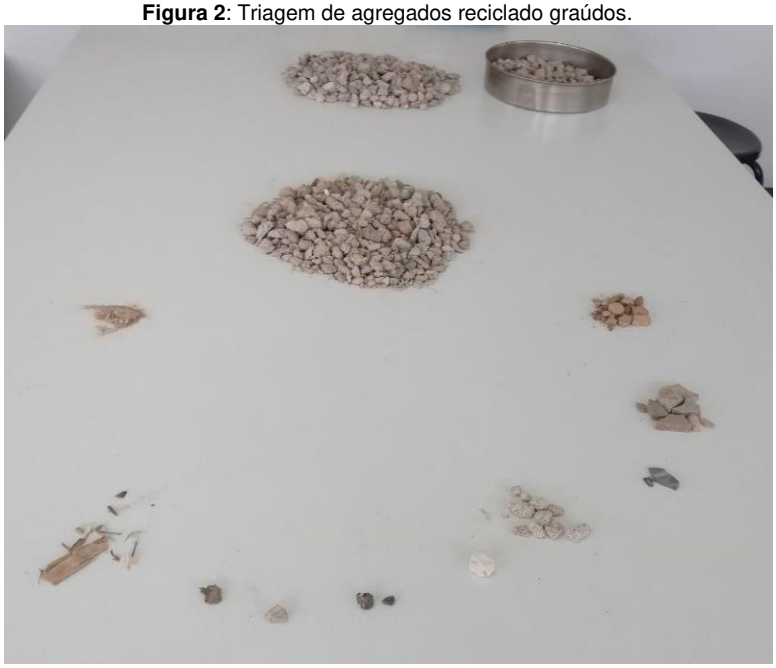
O cimento CP II F 32 foi escolhido por ser o mais adotado no município de Varginha e por apresentar ganho de resistência satisfatório em idades iniciais. Areia natural fina (ANF) e brita calcária (ANG) de consumo local foram adotados como agregados naturais. A influência dos agregados nos concretos foi avaliada em duas situações distintas, 0% de agregados reciclados (REF) e 100% de substituição de AN por AR (REC).

2.2 MÉTODOS

Para simular condições de aplicação real, os agregados não foram lavados antes das caracterizações. Antes dos ensaios, agregados naturais e reciclados foram adequadamente quarteados visando adotar amostras representativas e mantidos em estufa durante 24 horas para eliminar umidade presente nas amostras. Conforme preconiza a NBR 15116 (ABNT, 2021a), as amostras selecionadas de agregados reciclados graúdos passaram por triagem manual para avaliar a composição de resíduos que compuseram os agregados. Foi assumido que a composição dos agregados reciclados miúdos seria a mesma dos graúdos devido ao processo de fabricação de materiais reciclados, em que a granulometria alterada conforme manejo da mandíbula do britador. Uma amostra de ARG pós triagem está ilustrada na Figura 2. As propriedades dos agregados foram investigadas conforme as diretrizes das normas brasileiras (NBR). Foram caracterizadas

distribuição granulométrica, modulo de finura (MF) (ABNT, 2022a), massa específica (ABNT, 2021b, 2021c), massa unitária (ABNT 2021d) e teor de material pulverulento passante na peneira 0,075 mm (ABNT, 2021e) dos agregados naturais e reciclados.

Figura 2: Triagem de agregados reciclado graúdos.



Os concretos foram dosados conforme o método ABCP/ACI (ABCP, 2000) considerando fator água/cimento (a/c) de 0.5, resistência à compressão de 25 MPa aos 28 dias conforme a NBR 12655 (ABNT, 2022b) para durabilidade em ambiente urbano. O consumo de materiais utilizados na produção dos concretos está exposto na Tabela 1. Nota-se a diferença na quantidade dos agregados utilizados para a dosagem devido aos valores distintos de massa específica dos AN comparado aos AR. Ademais, a compensação de água foi realizada conforme preconiza a NBR 15116 (ABNT, 2021a) para evitar problemas durante os ensaios de trabalhabilidade e moldagem dos corpos-de-prova, alterando a relação a/c de 0,5 para 0,701 para REC, respectivamente.

Tabela 1: Materiais para produção de 1m^3 de concreto.

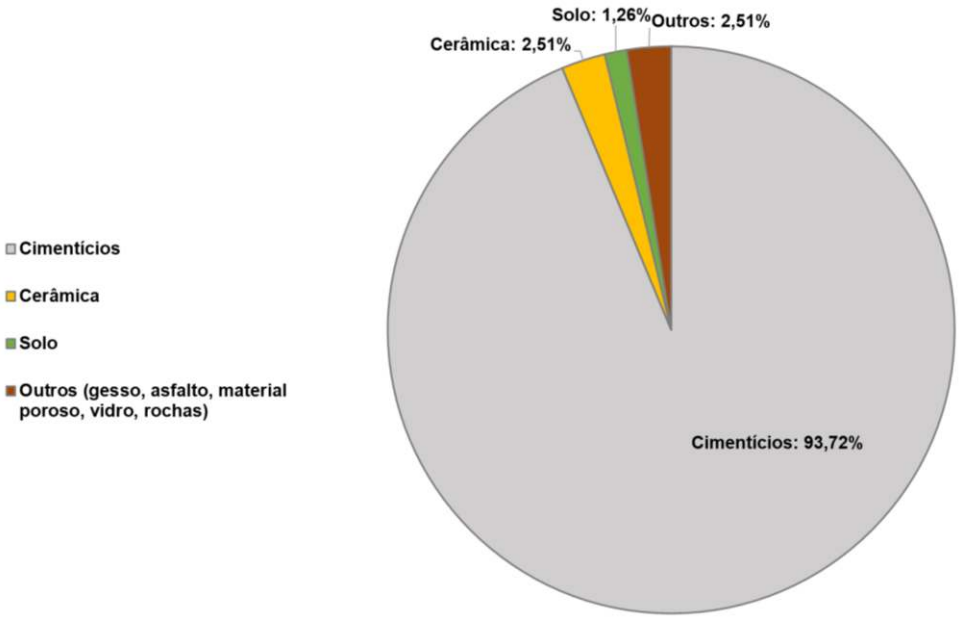
Material	Concreto referência (REF)	Concreto reciclado (REC)
Traço	1: 1,55: 2,78: 0,50	1: 1,55: 2,78: 0,701
Cimento	41,78kg	41,78kg
Agregado miúdo	64,75kg	67,26kg
Agregrado graúdo	116,13kg	92,74kg
Água	8,36kg	8,36kg
Água para pré-saturação	0	3,35kg

As propriedades dos concretos avaliadas no estado fresco foram trabalhabilidade pelo *slump-test* (ABNT, 2020) e massa específica (ABNT, 2009). Corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura foram produzidos conforme a NBR 5738 (ABNT, 2016) para teste das propriedades endurecidas. Foram avaliadas as propriedades de resistência à compressão para 7, 14 e 28 dias conforme a NBR 5789 (ABNT, 2018).

3 RESULTADOS E ANÁLISES

A composição dos agregados reciclados está exposta na Figura 3. Após triagem manual, foi identificado que 93.72% da massa das amostras quarteadas de resíduos cimentícios são provenientes de concretos e argamassas. Ademais, foram identificadas 2.51% de cerâmicas, 1.26% de solo e 2.51% de outros materiais tais como madeira, asfalto, rochas, vidro, entre outros, totalizando 6.28% de materiais. Os agregados reciclados podem ser classificados como agregados reciclados cimentícios (ARCI) conforme a NBR 15116:2021 devido à presença de até 10% de cerâmicas na massa das amostras. É relevante ressaltar que esses 6.28% de materiais não cimentícios podem acarretar na redução das propriedades dos concretos reciclados devido à heterogeneidade dos materiais.

Figura 3: Composição dos agregados reciclados.



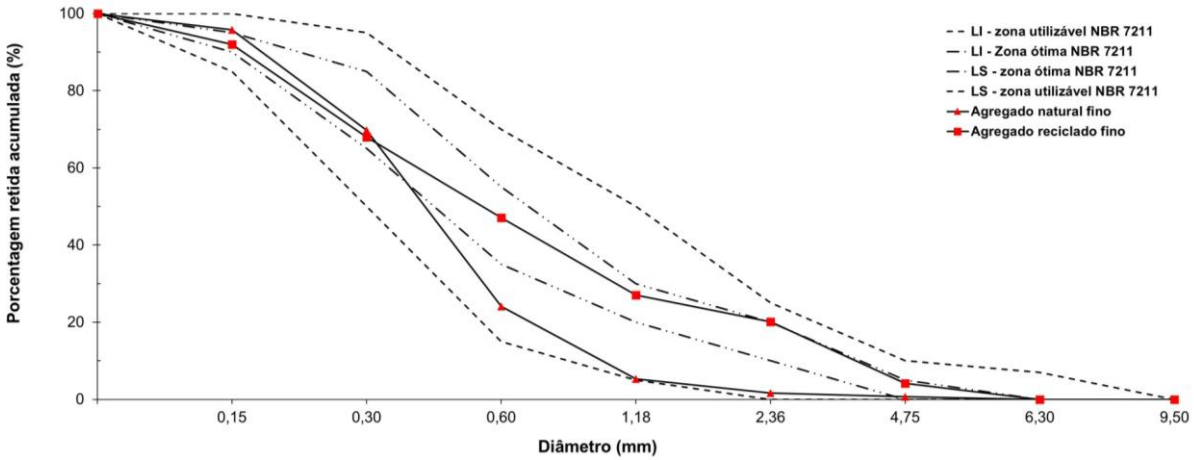
As propriedades físicas dos agregados estão expostas na Tabela 2. A massa especifica da parcela miúda foi 2,69 g/cm^3 para os reciclados e 2,59 g/cm^3 para o natural, o que pode ser explicado pela composição heterogênea dos agregados reciclados, formados por materiais mais densos do que as areias naturais. Para a parcela graúda, os materiais naturais apresentaram valores elevados aos reciclados, 2,89 g/cm^3 e 2,31 g/cm^3, respectivamente. Isso ocorreu provavelmente pela mesma razão, a natureza heterogênea da fração reciclada e formada por materiais menos densos do que rochas.

Tabela 2: Caracterização física dos agregados miúdos e graúdos, naturais e reciclados.

Material	Módulo de Finura	Massa específica (g/cm^3)	Massa unitária (g/cm^3)	Teor de material pulverulento (%)
Agregado miúdo natural	2,06	2,59	1,44	0,90
Agregado miúdo reciclado	2,03	2,69	1,46	11,10
Agregrado graúdo natural	6,94	2,89	1,57	0,20
Agregrado graúdo reciclado	6,79	2,31	1,20	1,20

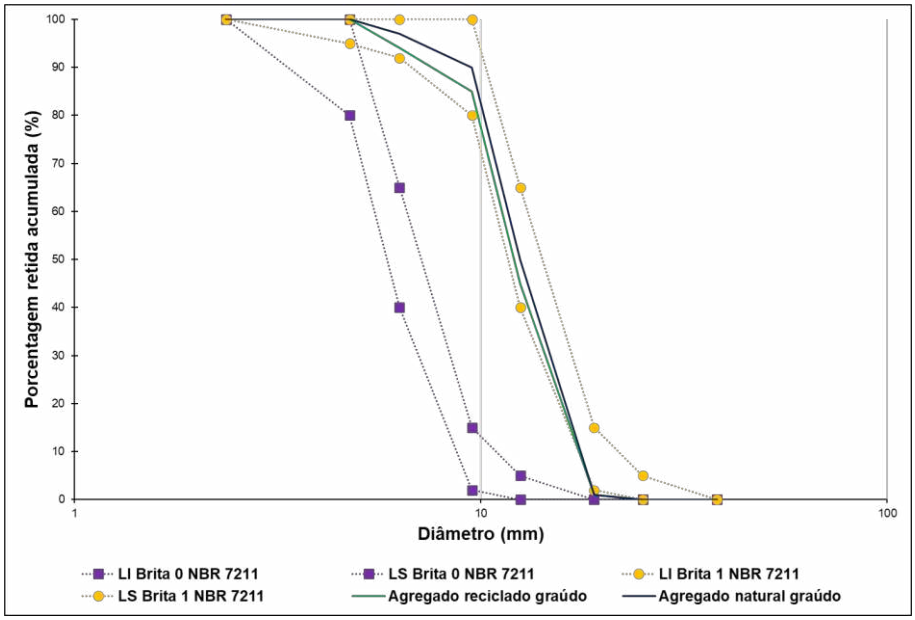
Quanto a massa unitária, os resultados foram 1,44 g/cm^3 para ANF, 1,46 g/cm^3 para ANG, 1,57 g/cm^3 para ANG e 1,20 g/cm^3 para ARG mostrando maior indice de vazios para os AR. O modulo de finura foi próximo para agregados finos 2,06 e 2,03 para naturais e reciclados, enquanto 6,94 e 6,79 para graúdos naturais e reciclados, o que sugere diminuição da trabalhabilidade dos concretos reciclados quando comparado aos concretos produzidos com agregados naturais devido a maior porosidade, teores de finos e MF. Ademais, os agregados reciclados apresentaram maiores teores de material pulverulento quando comparados aos naturais para ambas as granulometrias, 11,1% para ARF, 1.20% para ARG, 0.9% para ANF e 0.2% para ANG, respectivamente. As curvas da distribuição granulométrica para as frações miúdas e graúdas foram mostradas nas Figuras 4 e 5.

Figura 4: Distribuição granulométrica dos agregados miúdos.



Nota-se que ambos os agregados finos naturais se encontram dentro dos limites utilizáveis definidos pela NBR 7211 (ABNT, 2022c), enquanto areia reciclada se dispõe também na zona ótima, indicando melhor gradação. Por sua vez, a distribuição de ambos os agregados graúdos está disposta dentro dos limites dispostos para britas 1 conforme a NBR 7211 (ABNT, 2022c), entre 12,5 mm e 19 mm.

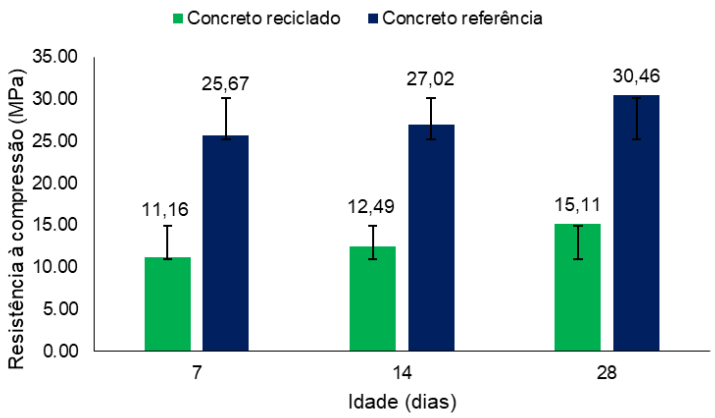
Figura 5: Distribuição granulométrica dos agregados graúdos.



Os valores de abatimento por meio do ensaio de slump-test e massa específica foram superiores para o concreto de referência, 90 mm e 2463,5 g/cm^3, respectivamente, em relação ao concreto reciclado, que foi 19 mm e 2207,8 g/cm^3. Ambos os resultados revelam a influência da composição heterogênea e elevado teor de materiais. Nota-se que mesmo com a compensação de água, os concretos reciclados apresentaram valor de abatimento inferior ao de referência, demonstrando que o teor de água adicionado foi insuficiente para compensar o decréscimo ocasionado pelos agregados reciclados. Ademais, a menor massa específica de REC massa é consequência de menor massa específica das britas recicladas devido a maior porosidade quando comparado ao natural.

Os resultados de resistência à compressão em 7, 14 e 28 dias estão indicados na Figura 6. A diminuição em aproximadamente 50% da resistência à compressão de REC comparado a REF mostra a influência da substituição dos agregados naturais pelos reciclados. Os resultados mostram que os concretos referência atingiram maiores resistências em todas as idades devido a maior resistência da ZTI pelas britas naturais. Além disso, os agregados reciclados apresentarem composição heterogênea, como resíduos de cerâmica e solos, contribuindo para a diminuição da resistência de REC. Entretanto, é importante ressaltar que os concretos reciclados atingiram ao final dos 28 dias o valor médio de 15,11 MPa, sendo classificado como um concreto classe C15 conforme a NBR 6118 (ABNT, 2024), passível de aplicação para fins não estruturais. Esse resultado indica potencial de aplicação de agregados reciclados para fins estruturais em casos de substituição parcial.

Figura 6: Resultados de resistência à compressão dos concretos produzidos com agregado natural e com agregado reciclado.



4 CONCLUSÃO

Esse trabalho avaliou a influência da substituição total de agregados naturais por agregados reciclados em concretos. As principais conclusões são:

- Os agregados reciclados entram na classe ARCI devido a presença de 6,28% de cerâmica, solo e asfalto. A incorporação desses materiais influenciou na diminuição da massa específica, massa unitária e aumento do teor de finos, o que provavelmente levou ao aumento da porosidade dos agregados reciclados. Ademais, ambos agregados miúdos encontraram-se dentro dos limites para aplicação em obras e os graúdos podem ser classificados como brita 1 conforme a NBR 7211.
- A aplicação dos agregados reciclados em concretos impactou as propriedades físicas e mecânicas. Redução na trabalhabilidade, massa especifíca e resistência à compressão dos concretos reciclados comparado ao de referência foram alguns dos efeitos. A diminuição do abatimento por meio do *slump-test* pode ter ocorrido devido à presença de finos nos agregados reciclados miúdos e maior porosidade dos materiais reciclados, e a diminuição de massa especifíca e resistência mecânica devido a heterogeneidade dos agregados graúdos, o que pode ter enfraquecido a zona de transição interfacial entre a pasta de cimento e os ARG. Entretanto, os concretos REC atingiram 15,11 MPa aos 28 dias, mostrando que podem ser aplicados para fins não estruturais. Esse resultado pode motivar pesquisas com taxas de substituição mais conservadoras, o que pode levar ao aumento da aplicação de agregados reciclados no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. Manual de ensaios de agregados, concreto fresco, concreto endurecido. **Manual técnico**, v. 6, p. 118p, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738.** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2016.

____ **NBR 5739.** Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 2018.

____ **NBR 6118** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 2024.

____ **NBR 7211** - Agregados para concreto - requisitos. 2022c.

____ **NBR 983**3 Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. 2009.

____ **NBR 12655** - Concreto de Cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - procedimento. 2022b.

____ **NBR 15116**: Agregados reciclados para uso em arg. e concretos de cimento Portland — Requisitos e métodos de ensaios. 2021a.

____ **NBR 16889** - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 2020.

____ **NBR 16916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. 2021b.

____ **NBR 16917**: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. 2021c.

____ **NBR 16972:** Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. 2021d.

____ **NBR 16973:** Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. 2021e.

____ **NBR 17054:** Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. 2022a.

ABREMA. Panorama dos residuos solidos no Brasil. p. 84, 2024. Disponível em: https://www.abrema.org.br/panorama/. Acesso em 06 de janeiro de 2025.

BRASIL. Resolução nº 307 de 5 de Julho de 2002. **Ministério do Meio Ambiente**., p. 4, 2002.

EVANGELISTA, L.; DE BRITO, J. Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 1, p. 9–14, 2010.

GOMES, H. C. et al. Carbonation of Aggregates from Construction and Demolition Waste Applied to Concrete: A Review. **Buildings**, v. 13, n. 4, p. 1097, 21 abr. 2023.

GUIMARÃES, M. G. A. *et al.* Incorporação de resíduos de construção e demolição e pó-de-pedra em dosagens experimentais de argamassa para mitigação de impactos ambientais. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 25337–25349, 2020.

REIS, E. D. *et al.* Bonding of Carbon Steel Bars in Concrete Produced with Recycled Aggregates: A Systematic Review of the Literature. **C Journal of Carbon Research**, v. 12, n. 10, 2022.

SILPA, K. *et al.* What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington DC: World Bank: **Urban Development Series**, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS,. Global Sustainable Development Report 2023. n. June, p. 202, 2023.

WU, H. *et al.* A review of performance assessment methods for construction and demolition waste management. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 150, n. March, p. 104407, 2019.