

CONCRETO DE AGREGADO RECICLADO - PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.8.25.VII-005>

Marcos David dos Santos (*), Arnaldo Manoel Pereira Carneiro

* Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, marcos.david@ufpe.br

RESUMO

A indústria da construção civil gera quantidades significativas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), criando desafios ambientais e econômicos globais. O emprego do RCD como agregado reciclado no concreto surge como uma solução promissora para reduzir a dependência de recursos naturais e melhorar o desempenho do concreto. Este artigo visa investigar as propriedades no estado fresco e endurecido do concreto de agregado reciclado, avaliar diferentes composições e propor a mistura mais adequada que favoreça as propriedades mecânicas do concreto, além de verificar a influência de um aditivo superplastificante nas propriedades do estado fresco e endurecido. Foram dosadas 9 misturas conforme método de dosagem do IPT/EPUSP. A dosagem foi dividida em 3 grupos de misturas: G1, G2 e G3. G1: com agregados naturais (referência), G2: com agregado grosso reciclado, G3: com areia média de RCD. Foi considerado teor de argamassa de 50% para todas as composições, nos traços 1:3, 1:5 e 1:6. Na dosagem, a relação água-cimento (a/c) foi mantida constante e foi empregado um superplastificante (SP) em todas as misturas. Foi verificada a resistência mecânica aos 7, 28 e 90 dias. G3 obteve os maiores resultados de resistência à compressão aos para todas as idades avaliadas. G1 e G2 mostraram tendências semelhantes na resistência. O estudo das curvas granulométricas favoreceu a substituição de agregados naturais (AN) por agregados reciclados (AR) e o aditivo colaborou na mitigação dos efeitos provenientes da alta absorção de água dos AR.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos, Construção e demolição, Agregado reciclado, Concreto, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The construction industry generates significant amounts of Construction and Demolition Waste (CDW), creating global environmental and economic challenges. The use of CDW as recycled aggregate in concrete emerges as a promising solution to reduce dependence on natural resources and enhance concrete performance. This study aims to investigate the fresh and hardened properties of recycled aggregate concrete, evaluate different mix compositions, and propose the most suitable mix that enhances the mechanical properties of concrete. Additionally, the study examines the influence of a superplasticizer additive on the fresh and hardened properties. Nine mixtures were designed according to the IPT/EPUSP mix design method. The dosage was divided into three mix groups: G1, G2, and G3. G1: with natural aggregates (reference), G2: with recycled coarse aggregate, and G3: with CDW fine sand. A mortar content of 50% was considered for all compositions, with mix ratios of 1:3, 1:5, and 1:6. The water-to-cement (w/c) ratio was kept constant, and a superplasticizer (SP) was used in all mixtures. Compressive strength was evaluated at 7, 28, and 90 days. G3 achieved the highest compressive strength results at all ages. G1 and G2 showed similar strength trends. The study of particle size distribution curves supported the replacement of natural aggregates (NA) with recycled aggregates (RA), and the additive helped mitigate the effects of the high water absorption of RA.

KEYWORDS: Waste, Construction and demolition, Recycled aggregate, Concrete, Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

As implicações do aquecimento global resultam em impactos significativos na conservação e progresso da humanidade em várias esferas, abrangendo energia, recursos naturais, fauna e flora (Zhao, Sahng e Song, 2020). Em resposta a essa preocupação, um número crescente de países está se envolvendo em iniciativas para mitigar as emissões de gases do efeito estufa, visando reduzir as consideráveis quantidades de CO₂ lançadas na atmosfera. Destaca-se que a indústria da construção, uma das maiores do mundo, é responsável por cerca de 40% da extração global anual de pedra, areia e cascalho, contribuindo com aproximadamente 10% do total de emissões de dióxido de carbono através da produção de concreto (Ahmed et al., 2021).

Por outro lado, os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) representam aproximadamente 36% do total de resíduos gerados globalmente (ISWA, 2015). No ano de 2016, os municípios do Brasil geraram cerca de 45 milhões de toneladas

de RCD, representando aproximadamente 124 mil toneladas diárias (ABRELPE, 2016). A gestão comum de RCD geralmente recorre a aterros sanitários e depósitos a céu aberto, ocasionando desafios como a utilização ineficiente de espaço e a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos (Liang et al., 2021).

Diante dessa realidade, a crescente preocupação com a sustentabilidade na construção civil tem impulsionado a busca por práticas mais ecoeficientes e inovadoras. Nesse cenário, a reutilização de RCD surge como uma abordagem promissora, não apenas para reduzir o impacto ambiental, mas também para maximizar os recursos disponíveis. Uma aplicação notável é a produção de concretos com agregados reciclados, que desafia os padrões convencionais da construção civil. Esta abordagem não apenas proporciona uma solução para a gestão responsável de resíduos, mas também abre caminho para a criação de estruturas duráveis e sustentáveis, alinhadas com as atuais demandas por práticas construtivas conscientes e orientadas para o futuro.

O objetivo deste trabalho é investigar as propriedades do concreto com agregado reciclado no estado fresco e endurecido, avaliar diversas composições, propor a mistura mais adequada para favorecer as propriedades mecânicas do concreto e verificar a influência do aditivo nas misturas. Pretende-se que essa abordagem modele a paisagem da construção civil, consolidando-se como um pilar para um desenvolvimento urbano mais consciente e sustentável, ajudando os países a cumprir suas metas de reciclagem e de redução de CO₂.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Foi utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), fabricado por empresa nacional, com massa específica informada pelo fabricante de 3,06 g/cm³. 3 variações de agregados graúdos naturais (B2, B1 e B0) e uma variação do tipo misto de agregado graúdo oriundo de resíduos de construção e demolição (AGRCD), provenientes de uma usina localizada na cidade de Recife-PE. 2 variações de agregados miúdos naturais, uma de granulometria média e outra de granulometria fina (ANM, ANF), provenientes de jazidas localizadas nas cidades de Recife-PE e Cabedelo-PB, respectivamente, e uma fração do tipo misto de areia média oriundo de resíduos de construção e demolição (AMRCD). A caracterização dos agregados é mostrada na Tabela 1. O aditivo empregado foi o Clarena HC 5201, produto com base em policarboxilatos, pH entre 4 a 6, massa específica de 1,08 g/cm³ e teor de sólidos entre 41,4 a 45,8%.

Tabela 1. Características gerais dos agregados utilizados nas misturas.

Fonte: Autores do Trabalho.

Características	ANF	ANM	AMRCD	B0	B1	B2	AGRCD
Absorção de água (%)	-	-	10	0,65	0,63	0,61	5,92
Diâmetro máximo característico (mm)	0,6	1,2	2,36	6,3	9,5	12,5	19
Massa específica (g/cm ³)	2,62	2,60	2,45	2,65	2,65	2,65	2,21
Massa unitária (kg/m ³)	1660	1700	1510	1660	1610	1510	1360
Módulo de finura	1,53	2,72	3,58	5,59	6,26	6,89	7,26

2.1 Arranjo experimental

Os concretos foram dosados conforme método de dosagem do IPT/EPUSP (Helene; Terzian, 1993). Foi utilizado teor de argamassa de 50% para as misturas, nos traços 1:3, 1:5 e 1:6. A dosagem foi dividida em 3 grupos de misturas G1 (referência), G2 (com agregado graúdo reciclado) e G3 (com agregado miúdo reciclado) e a relação água/cimento (a/c) foi mantida constante. Foi empregado superplastificante (SP) em todas as composições, cerca de 0,6% sobre o peso de cimento, conforme recomendações do fabricante. A composição de todos os traços das misturas é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2. Composição dos traços das misturas em massa (kg).

Fonte: Autores do Trabalho.

Grupo	Traço	Cimento	ANF	ANM	AMRCD	B0	B1	B2	AGRCD	Água	SP
G1	1:3	17,50	17,50	10,50	-	6,65	8,05	9,80	-	6,06	0,11
	1:5	11,67	23,33	10,50	-	6,65	8,05	9,80	-	5,94	0,07
	1:6	10,00	25,00	10,50	-	6,65	8,05	9,80	-	6,08	0,06
G2	1:3	17,50	17,50	10,50	-	6,65	8,05	-	9,80	6,06	0,11
	1:5	11,67	23,33	10,50	-	6,65	8,05	-	9,80	5,94	0,07

	1:6	10,00	25,00	10,50	-	6,65	8,05	-	9,80	6,08	0,06
G3	1:3	17,50	17,50	-	10,50	6,65	8,05	9,80	-	6,06	0,11
	1:5	11,67	23,33	-	10,50	6,65	8,05	9,80	-	5,94	0,07
	1:6	10,00	25,00	-	10,50	6,65	8,05	9,80	-	6,08	0,06

2.3 Produção das misturas, moldagem e cura

Os corpos de prova foram moldados e curados conforme prescrições da ABNT NBR 5738 (2016). As propriedades do estado fresco foram determinadas pela ABNT NBR 9833 (2009) e as propriedades do estado endurecido pela NBR 5739 (2018). O abatimento de tronco de cone foi realizado conforme recomendações da ABNT NBR 16889 (2020). Para cada traço de concreto produzido foram moldados 18 corpos de prova (CPs), com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, totalizando 162 CPs. A moldagem dos corpos de prova cilíndricos foi executada em 2 camadas por meio de adensamento manual, aplicando 12 golpes por camada de maneira uniforme por toda a superfície com haste de adensamento. Após o adensamento da última camada com uma régua metálica procedeu-se o rasamento da superfície. Os corpos de prova cilíndricos foram desmoldados 24 horas depois e postos em um tanque com água, para processo de cura até a data de realização dos ensaios de resistência à compressão, nas idades de 7, 28 e 90 dias.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização física dos materiais

Realizou-se a análise granulométrica dos agregados e da mistura para identificar o tamanho dos grãos que compõem esses elementos. Os resultados dos ensaios de granulometria estão apresentados na Figura 1.

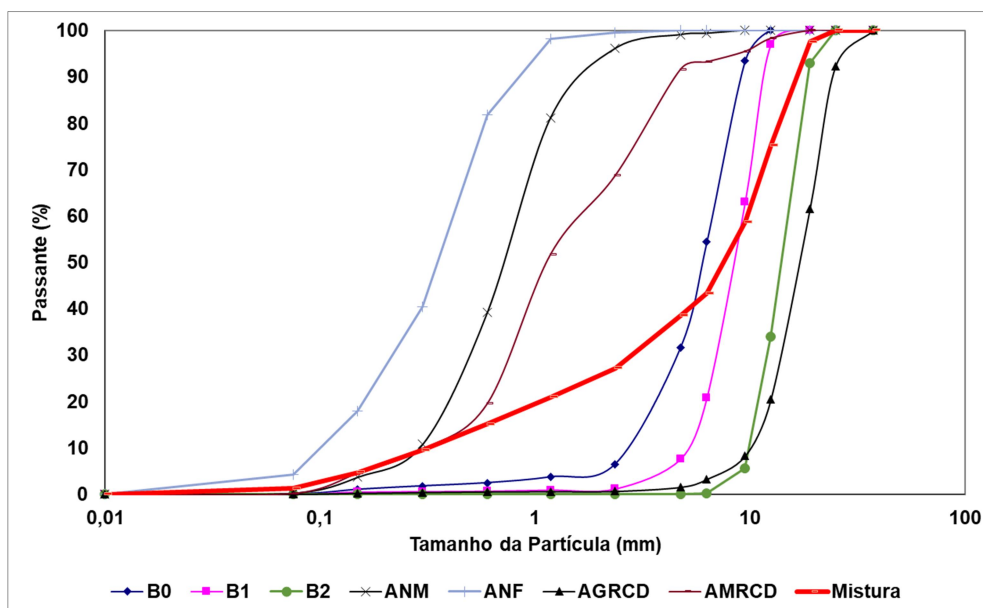


Figura 1: Curva granulométrica dos agregados e da mistura. Fonte: Autores do Trabalho.

Observa-se que, para o AMRCD, aproximadamente 72% de seus grãos estão na faixa granulométrica classificada como areia média, conforme definido por Bauer (2008), no intervalo de 2,4 a 0,6 mm.

Há um notável acúmulo de resíduo nas peneiras de malha 0,6 mm e 0,3 mm para ANF, representando 57,81% do total da amostra. Ao ser combinada com as partículas dos agregados reciclados (AMRCD e AGRCD), a ANF contribuirá para preencher os vazios na mistura que não são supridos pelos agregados graúdos naturais. Além disso, a ANF demonstra uma quantidade significativamente maior de finos (material passante na peneira de 0,15 mm) em comparação com a ANM e o AMRCD, proporcionando maior trabalhabilidade à mistura.

3.2 Análise do concreto no estado fresco

A Tabela 3 mostra as principais características do concreto no estado fresco para os traços confeccionados.

Tabela 3. Características dos concretos no estado fresco

Fonte: Autores do Trabalho.

Grupo	Traço	Relação a/c	Massa específica (kg/m³)	Consumo de cimento (kg/m³)	Teor de ar incorporado (%)	Abatimento (mm)
G1	1:3	0,35	2345,11	539	2,36	136,67
	1:5	0,51	2290,49	351	3,89	93,33
	1:6	0,61	2246,10	295	5,24	48,33
G2	1:3	0,35	2347,54	540	1,42	21,67
	1:5	0,51	2242,91	344	5,09	111,67
	1:6	0,61	2252,63	296	4,16	18,33
G3	1:3	0,35	2371,07	545	1,01	80,00
	1:5	0,51	2268,91	348	4,13	153,33
	1:6	0,61	2137,03	280	9,24	190,00

No G1 a massa específica mostra uma diminuição à medida que se aumenta a quantidade de agregados, o que também se observa no G2, indicando consistência nas características densidade/massa. O G3 mostra uma redução mais significativa nos valores à medida que a proporção de agregado aumenta. Ao analisar o consumo de cimento nos grupos G1 e G2, nota-se uma diminuição à medida que a proporção de agregado aumenta, indicando uma tendência consistente em ambos os casos. É registrado o menor consumo de cimento no traço 1:6 do G3.

No G1, o teor de ar incorporado aumenta à medida que a proporção de agregado aumenta, indicando uma influência nos vazios do concreto. O G2 apresenta uma diminuição no teor de ar incorporado em comparação com o G1, indicando um possível efeito do agregado graúdo reciclado. Por outro lado, o G3 mostra um aumento significativo no teor de ar incorporado com 9,24% para o traço 1:6. Essa particularidade é resultado do aumento na relação água/cimento, da redução da massa específica, da permeabilidade e da composição diferenciada dos agregados reciclados (Evangelista, 2007).

Para os traços dos grupos G1 e G2, o abatimento (slump) diminui à medida que a proporção de agregado aumenta, indicando uma maior rigidez no concreto. No G3 temos um aumento mais acentuada no abatimento, indicando uma influência mais significativa do agregado miúdo reciclado na trabalhabilidade do concreto. A variação nos resultados pode estar associada ao método de ensaio utilizado (tronco cone), o qual pode dificultar o fluxo da mistura devido à textura mais áspera e à forma irregular do agregado reciclado, conforme previamente identificado em pesquisas realizadas por (Leite, 2001). Apesar dessas oscilações no abatimento, o aditivo superplastificante pareceu ter o efeito de reduzir a absorção significativa de água pelo agregado reciclado, mantendo assim a relação água/cimento nas dosagens em níveis inferiores aos trabalhos encontrados na literatura (Salgado; Silva, 2022), em particular para o traço 1:3 dos grupos analisados.

3.2 Análise do concreto no estado endurecido

A Figura 2 apresenta a relação entre resistência à compressão e idades de cura para os traços dos grupos estudados.

Observando os dados percebe-se que quanto maior a relação a/c, menor será a resistência do concreto. O G1 apresenta resistência à compressão crescente ao longo do tempo, sendo maior no traço 1:3 e menor no traço 1:6. O G2 demonstra um padrão semelhante ao G1, porém com valores de resistência à compressão mais baixos, indicando uma possível influência do agregado graúdo reciclado. O G3 mostra uma variação significativa nos resultados. No traço 1:3, a resistência à compressão é comparável ao G1, registrando o maior valor entre as misturas aos 90 dias (82,12 MPa). Entretanto, nos traços 1:5 e 1:6, os valores são inferiores. Farooq (2023) explica que o uso de agregados finos de concreto reciclado de tamanho inferior a 2 mm reduz a resistência à compressão e aumenta significativamente a retração devido à elevada absorção de água.

O G2, que incorpora agregado graúdo reciclado, exibe uma resistência ligeiramente inferior ao G1, sugerindo um possível impacto desse tipo de agregado na resistência do concreto. Em contrapartida, o G3, embora tenha uma resistência menor em comparação ao G1 nos períodos de 7 e 28 dias, obteve o crescimento mais significativo aos 90 dias para todas as misturas. Esse fenômeno pode ser atribuído ao potencial pozolânico do pó proveniente do agregado miúdo reciclado, mesmo que seja inferior a outros materiais cimentícios suplementares como metacaulim ou sílica ativa, conforme destacado por Cantero (2022).

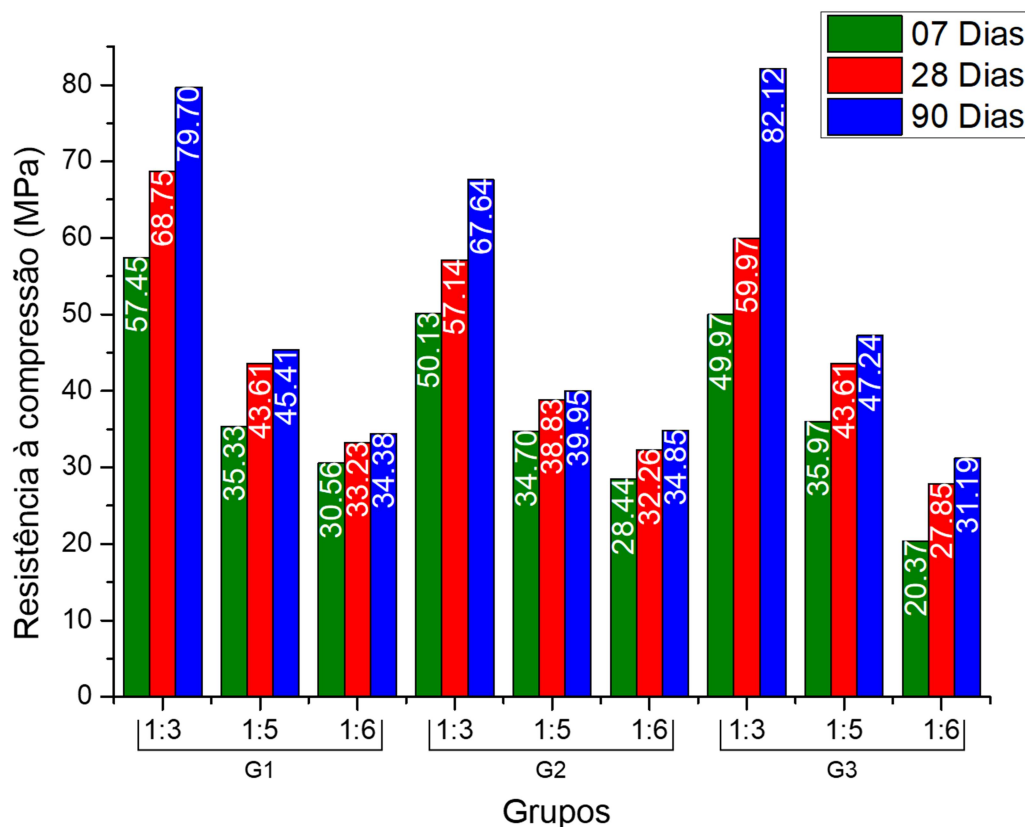


Figura 2: Relação entre resistência à compressão e idades de cura para os grupos estudados. Fonte: Autores do Trabalho.

Em geral, para todos os grupos avaliados, observa-se que a resistência à compressão é mais elevada no traço 1:3 e mais reduzida no traço 1:6, dado que o acréscimo na quantidade de agregado geralmente resulta em uma diminuição na resistência. A introdução de agregados reciclados, tanto grãos quanto miúdos, parece influenciar negativamente a resistência à compressão, sendo evidenciada nos traços 1:5 e 1:6.

4. CONCLUSÃO

A incorporação de agregados reciclados, tanto grãos quanto miúdos, exerce influência em várias propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto endurecido. Essas variações podem impactar a trabalhabilidade, resistência e características de ar incorporado, sublinhando a necessidade de uma consideração criteriosa do tipo e proporção de agregados reciclados na elaboração da mistura de concreto. Com base nos resultados experimentais, é possível extrair as seguintes conclusões:

- As curvas granulométricas evidenciaram a viabilidade da substituição do agregado natural pelo reciclado.
- No traço de 1:3, foram registrados os menores teores de ar incorporado em todos os grupos de misturas. Contudo, os concretos com agregados reciclados apresentaram valores mais elevados de ar incorporado, refletindo a característica intrínseca desse material.
- O aditivo desempenhou um papel colaborativo ao atenuar os efeitos da absorção de água significativa pelos agregados reciclados.
- O traço 1:3 demonstrou ser o mais resistente em todos os grupos analisados, ao passo que o traço 1:6 revelou a menor resistência.
- A análise em longo prazo (90 dias) revela algumas discrepâncias na resistência entre os grupos, enfatizando a importância de considerar o desenvolvimento da resistência ao longo do tempo na formulação do concreto com agregado reciclado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE. **Panorama of solid waste in Brazil**. 2016. ISSN 2179-8303 9.
2. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 5738**: Concrete - Compression test of cylindrical specimens. Rio de Janeiro, 2018.
3. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 5738**: Concrete - Procedure for molding and curing test specimens. Rio de Janeiro, 2016.
4. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 9833**: Concrete - Determination of consistency by slump test. Rio de Janeiro, 2020.
5. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 9833**: Fresh concrete - Determination of density, yield, and air content by gravimetric method. Rio de Janeiro, 2009.
6. B. Cantero, I.F. Sáez del Bosque, M.I. Sánchez de Rojas, A. Matías, C. Medina. Durability of concretes bearing construction and demolition waste as cement and coarse aggregate substitutes. **Cement and Concrete Composites**. Volume 134. 2022. 104722. ISSN 0958-9465. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104722>.
7. BAUER, L. A. F. **Building Materials**. 5th Ed. Rio de Janeiro, 2008.
8. C. Liang, Z. Cai, H. Wu, J. Xiao, Y. Zhang, Z. Ma. Chloride transport and induced steel corrosion in recycled aggregate concrete: A review. **Construct. Build. Mater.** 282 (2021), 122547. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122547>.
9. F. A. Salgado, F. A. Silva. Recycled aggregates from construction and demolition waste towards an application on structural concrete: A review. **Journal of Building Engineering**. Volume 52. 2022. 104452. ISSN 2352-7102. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022>.
10. ISWA, ISWA REPORT ISWA at a Glance, International Solid Waste Association, AUT, Vienna, 2015.
11. L. Evangelista, J. de Brito. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**. Volume 29, Issue 5. 2007. Pages 397-401. ISSN 0958-9465. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.004>.
12. M. B. Leite. **Evaluation of mechanical properties of concrete produced with recycled aggregates from construction and demolition waste**. M. B. Leite. Porto Alegre, 2001. Thesis (Ph.D.) – Federal University of Rio Grande do Sul.
13. M. U. Farooq, R. Hameed, M. Tahir, M. G. Sohail, S. Shahzad. Mechanical and durability performance of 100% recycled aggregate concrete pavers made by compression casting. **Journal of Building Engineering**. Volume 73. 2023. 106729. ISSN 2352-7102. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023>.
14. P. Helene, P. Terzian. **Concrete mix design and control manual**. 1st Ed. São Paulo, 1993.
15. S. Ahmed, Y. Alhoubi, N. Elmesalami, S. Yehia, F. Abed. Effect of recycled aggregates and treated wastewater on concrete subjected to different exposure conditions. **Construct. Build. Mater.** 266 (2021), 120930. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120930>.
16. X. Zhao, Y. Shang, M. Song. Industrial structure distortion and urban ecological efficiency from the perspective of green entrepreneurial ecosystems. **Soc. Econ. Plann. Sci.** 72 (2020), 10075. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.100757>.