



TRATAMENTO DE AGREGADO GRAÚDO RECICLADO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) PARA USO EM CONCRETOS PERMEÁVEIS

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.VII-014>

Karen Camila Almeida Sumensse*, Luciano Luiz Carvalho Miscevski, Gersson Fernando Barreto Sandoval, Adriano Vieira Risson, Kathleen Dall Bello de Souza Risson.

* Engenheira civil, Egressa do Centro Universitário Dinâmica das Cataratas. E-mail: karenamila99@gmail.com.

RESUMO

O volume de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) gerado pela indústria da construção e a disposição geralmente em aterros, faz com que a gestão desses materiais se torne uma problemática, nesse sentido, o uso de agregados reciclados de RCD pode contribuir para minimizar os impactos ambientais do setor, pois diminui o uso de recursos naturais e emissões de carbono associados a essas atividades, bem como, as áreas necessárias para a sua disposição e possíveis contaminações do solo. Considerando que a argamassa aderida (AD) aos agregados graúdos naturais presentes nos agregados reciclados possui elevada porosidade e baixa resistência, e visando contribuir para a economia circular no setor, este trabalho tem como objetivo, avaliar o desempenho mecânico do concreto permeável com agregado reciclado de RCD tratado por diferentes técnicas. Para isso, o trabalho foi dividido em duas etapas, na Etapa 1, para o agregado reciclado de RCD de origem mista (materiais cimentícios e cerâmicos), com dimensão máxima característica igual a 12,5 mm e granulometria uniforme (mesmo tamanho de grãos), foi estudado a influência do tratamento mecânico na máquina de Abrasão Los Angeles (diferentes tempos e quantidade de esferas de aço) e do tratamento químico com ácido acético (diferentes concentrações e tempo de imersão) na quantidade de argamassa aderida (AD) presente no agregado reciclado. Na etapa 2, foram produzidas quatro misturas de concreto permeável (CP), com o traço em massa igual a 1:3,5:0,30 (cimento: agregado graúdo: água/cimento), e com os agregados: natural (basalto), reciclado sem tratamento, reciclado e tratado na máquina de Abrasão Los Angeles por 30 minutos e reciclado e tratado com ácido acético na concentração de 2% por 12 horas, que foram avaliadas através do ensaio de permeabilidade e resistência à compressão. Diante dos resultados, pode-se afirmar que os tratamentos na máquina de Abrasão Los Angeles e o uso do ácido acético removeram a argamassa velha aderida no agregado reciclado, no entanto, sua aplicação no concreto permeável prejudicou a resistência à compressão aos 28 dias, por isso melhorar a qualidade da pasta do concreto permeável é fundamental.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento permeável, Limpeza autógena, Argamassa aderida, Economia circular.

ABSTRACT

The volume of Construction and Demolition Waste (RCD) generated by the construction industry and its disposal generally in landfills, makes the management of these materials a problem, in this sense, the use of recycled aggregates of RCD can contribute to minimize the environmental impacts of the sector, as it reduces the use of natural resources and carbon emissions associated with these activities, as well as the areas necessary for their disposal and possible soil contamination. Considering that the mortar adhered (AD) to natural coarse aggregates present in recycled aggregates has high porosity and low resistance, and aiming to contribute to the circular economy in the sector, this work aims to evaluate the mechanical performance of permeable concrete with recycled aggregate of RCD treated by different techniques. For this, the work was divided into two stages, in Stage 1, for the recycled aggregate of RCD of mixed origin (cementitious and ceramic materials), with a maximum characteristic dimension equal to 12.5 mm and uniform granulometry (same grain size), the influence of mechanical treatment in the Los Angeles Abrasion machine (different times and amount of steel balls) and chemical treatment with acetic acid (different concentrations and immersion time) on the amount of adhered mortar (AD) present in the aggregate was studied. recycled. In step 2, four mixtures of permeable concrete (PC) were produced, with the mass ratio equal to 1:3.5:0.30 (cement: coarse aggregate: water/cement), and with the aggregates: natural (basalt), recycled without treatment, recycled and treated in the Los Angeles Abrasion machine for 30 minutes and recycled and treated with acetic acid at a concentration of 2% for 12 hours, which were evaluated through the permeability and compressive strength test. In view of the results, it can be stated that the treatments in the Los Angeles Abrasion machine and the use of acetic acid removed the old mortar adhered to the recycled aggregate, however, its application in pervious concrete impaired the compressive strength at 28 days, due to it is fundamental to improve the paste quality of pervious concrete.

KEY WORDS: Permeable pavement, Autogenous cleaning, Adhered mortar, Circular economy.



INTRODUÇÃO

No Brasil, de acordo com Angulo, Oliveira e Machado (2022) são gerados aproximadamente 100 milhões de toneladas de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) por ano, o elevado volume gerado pela indústria da construção e as rígidas regulamentações ambientais, tornam a gestão dos RCD's um desafio para o setor.

Paralelamente a essa problemática, a urbanização e impermeabilização do solo, contribuem para o aumento das inundações e para amenizar ou evitar essas catástrofes, a construção de pavimentos permeáveis em concreto, pode ser considerada uma alternativa. Na literatura, verifica-se uma crescente preocupação com a dosagem e com o desempenho em uso do pavimento em concreto permeável, seja com relação ao entupimento dos poros (colmatação) e que é um dos principais fatores que podem afetar seu comportamento hidráulico durante a vida útil ou com relação ao desempenho mecânico (PIERALISI et al., 2020, SANDOVAL et al., 2022).

Embora as características como elevada absorção de água dificultem sua aplicação, utilizar o agregado reciclado no pavimento em concreto permeável, promove a economia circular, diminui o uso de recursos naturais e de emissões de carbono associadas a essas atividades, além de reduzir as áreas necessárias para a disposição dos RCD's e possíveis contaminações do solo. De acordo com Sandoval et al. (2020), o uso de agregados reciclados na produção do concreto permeável tem grande potencial, pois embora há uma diminuição nas propriedades mecânicas, as propriedades hidráulicas são superiores, após um período equivalente a 20 anos, quando comparado aos agregados naturais.

Diversos autores buscam técnicas de tratamento para melhorar a resistência ou remover a argamassa aderida (AD) dos agregados graúdos naturais presentes nos agregados reciclados, tais como uso de materiais cimentícios suplementares (cinzas, volantes, sílica ativa), aditivos inorgânicos, carbonatação ou cura com CO₂, métodos de biodeposição e limpeza através de ácidos ou moinho de bolas (KAZMI et al., 2020; SADAGOPAN, MALAGA e NAGY, 2020), os dois últimos objeto de estudo deste trabalho.

OBJETIVO

Avaliar o desempenho mecânico do concreto permeável com agregado reciclado de RCD tratado por diferentes técnicas.

METODOLOGIA

Com o intuito de melhorar a qualidade do agregado reciclado e usá-lo no concreto permeável (CP) o trabalho foi dividido em duas etapas, descritas a seguir.

A Etapa 1, consistiu em estudar a influência de dois tratamentos na quantidade de argamassa aderida (AD) ao agregado graúdo reciclado (AR), o tratamento mecânico (TM) e o tratamento químico (TQ) (Figura 1). Utilizou-se o AR com dimensão máxima característica (D_{máx}) igual a 12,5 mm, granulometria uniforme e de origem mista (materiais cimentícios e cerâmicos), obtidos em Foz do Iguaçu-PR.



Figura 1 – Estudo dos tratamentos no agregado reciclado. Fonte: Autores, 2023.

Para o tratamento mecânico, utilizou-se a máquina para ensaio de Abrasão Los Angeles, onde houve o estudo do tempo de limpeza (15 min, 30 min e 45 min) e da quantidade de esferas de aço (15 minutos e 3 esferas de aço, 15 minutos e 6 esferas de aço). Adotou-se o seguinte protocolo: enchimento da máquina com 10 kg de agregado graúdo reciclado, limpeza autóloga em diferentes tempos, peneiramento e separação do material retido na peneira 12,5 mm (para manter



a mesma $D_{máx}$), lavagem em água corrente da rede pública de abastecimento e secagem em estufa para posterior determinação da argamassa aderida.

Para o tratamento químico, utilizou-se o ácido acético na forma pura (99,8%), onde houve a variação na concentração de ácido acético (1 e 2%) e o tempo de imersão do agregado na solução (6, 12 e 24 horas). Após o tratamento, os agregados reciclados foram lavados para remover as partículas soltas e secados em estufa para ensaio da argamassa aderida.

Para determinar o teor de argamassa aderida (AD) nos agregados, adotou-se o procedimento usado por Pepe et al. (2014), e consistiu em pesar a amostra inicial (m_i) de agregado seco em estufa, submergi-lo em água por 2 horas e posteriormente aquecê-lo em forno mufla a 500 °C por 2 horas. Após esse processo, a amostra foi imediatamente despejada em um recipiente com água em temperatura ambiente. Retirou-se à água e fez-se a secagem do material em estufa a $100 \pm 5^\circ\text{C}$, até atingir massa constante e pesar (m_f). Os resultados do ensaio são definidos pela equação 1.

$$AD(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

Onde: AD é porcentagem de argamassa aderida em (%); m_i é a massa inicial do agregado (g) e m_f é a massa final do agregado (g).

Para fins de comparação, realizou-se o mesmo ensaio no agregado reciclado sem tratamento (AR), com granulometria uniforme e $D_{máx}$ igual a 12,5 mm. No Quadro 1, pode-se visualizar as siglas adotadas para os agregados e a descrição dos tratamentos recebidos.

Quadro 1 – Nomenclaturas dos agregado reciclados. Fonte: Autores, 2023.

Tratamento	Siglas	Descrição
-	AN	Agregado natural
	AR	Agregado reciclado
Mecânico	AR-T1	Agregado reciclado tratado na máquina de Abrasão Los Angeles por 15 min sem esferas
	AR-T2	Agregado reciclado tratado na máquina de Abrasão Los Angeles por 30 min sem esferas
	AR-T3	Agregado reciclado tratado na máquina de Abrasão Los Angeles por 45 min sem esferas
	AR-T4	Agregado reciclado tratado na máquina de Abrasão Los Angeles por 15 min com 3 esferas
	AR-T5	Agregado reciclado tratado na máquina de Abrasão Los Angeles por 15 min com 6 esferas
Químico	AR-T6	Agregado reciclado tratado com ácido acético 1% por 6 horas
	AR-T7	Agregado reciclado tratado com ácido acético 1% por 12 horas
	AR-T8	Agregado reciclado tratado com ácido acético 1% por 24 horas
	AR-T9	Agregado reciclado tratado com ácido acético 2% por 6 horas
	AR-T10	Agregado reciclado tratado com ácido acético 2% por 12 horas
	AR-T11	Agregado reciclado tratado com ácido acético 2% por 24 horas

Na etapa 2, para a produção e avaliação dos concretos permeáveis (CP's) foram utilizados o cimento Portland do tipo CP II Z 32, por ser o mais utilizado na região do estado, 4 tipos de agregados: o agregado natural (AN), o agregado reciclado (AR), o agregado reciclado tratado na máquina de Abrasão Los Angeles por 30 minutos (AR-T2), o agregado reciclado tratado com ácido acético 2% por 12 horas (AR-T10) e água da rede pública de abastecimento. A definição dos agregados reciclados foi baseada na quantidade de AD contida no agregado reciclado após o tratamento, estudado na Etapa 1.

O traço adotado em massa foi igual a 1:3,5:0,30 (cimento: agregado gráudo: água/cimento), para as 4 misturas de concretos permeáveis (CP), e o consumo dos materiais podem ser visualizados na Tabela 1. Por exemplo, o CP-4 é o



concreto permeável produzido com a mistura de 75% agregado natural e 25% do agregado reciclado tratado com ácido acético 2% por 12 horas (AR-T10).

Tabela 1 – Consumo de materiais dos CP's. Fonte: Autores, 2023.

Materiais	Consumo (kg/m ³)			
	CP-1 (100% NA)	CP-2 (75% NA+25% AR)	CP-3 (75% NA+25% AR-T2)	CP-4 (75% NA+25% AR-T10)
Cimento	350	350	350	350
Agregado natural (NA)	1225	918,75	918,75	918,75
Agregado reciclado (AR)	-	306,25	-	-
Agregado reciclado na máquina de Abrasão Los Angeles por 30 minutos (AR-T2)	-	-	306,25	-
Agregado reciclado tratado com ácido acético 2 por 12 horas (AR-T10)	-	-	-	306,25
Água	175	175	175	175

A mistura dos materiais foi realizada em betoneira, com duração de 5 minutos. Primeiramente adicionou-se a brita e metade da água, em seguida colocou-se o cimento e a betoneira foi acionada até que a mistura estivesse homogênea e, por fim, adicionou-se o restante da água, conforme feito por Risson et al. (2021).

Fez-se o ensaio da consistência conforme ABNT NBR 16889: 2020 e todas as misturas apresentaram Slump igual a zero. Na sequência utilizou-se o procedimento de compactação de Risson et al. (2021), para moldar os corpos de prova cilíndrico de dimensões 100 x 200 mm, do seguinte modo: aplicou-se 50 golpes com o Proctor de 2,5 kg e fez-se o rasamento. Foram moldados 06 corpos de prova por mistura de CP's.

Após as 24 horas de moldagem, os CP's foram mantidos em cura submersa até a data do ensaio, conforme ABNT NBR 5738:2015 para determinação do coeficiente de permeabilidade a carga constante conforme Sandoval et al. (2017) e a resistência à compressão aos 28 dias (fc) conforme ABNT NBR 5739:2018.

Na Figura 2, pode-se visualizar o ensaio de abatimento (slump igual a zero), o procedimento de compactação com o Proctor de 2,5 kg, o preparo dos corpos de prova para verificação do coeficiente de permeabilidade em permeâmetro a carga constante, e o ensaio de resistência à compressão, realizado em prensa hidráulica com capacidade de 100 toneladas.



Figura 2 – Preparo dos CP's para os ensaios de permeabilidade e resistência à compressão. Fonte: Autores, 2023.

Para o cálculo do coeficiente de permeabilidade, utilizou-se a equação 2.

$$k = \frac{q.L}{A.h.t} \quad \text{equação (2)}$$

Onde: k é o coeficiente de permeabilidade (cm/s), q é o volume de água que passa pelo corpo de prova (cm³), A é a



área do corpo de prova (cm²), h é a altura da lamina de água (cm) e t o tempo para coletar o volume de água (s), e nesse trabalho adotou-se 30 segundos.

Para o cálculo da resistência à compressão aos 28 dias, utilizou-se a equação 3.

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2} \quad \text{equação (3)}$$

Onde: f_c é a resistência à compressão (MPa); F é a força máxima alcançada (N); D é o diâmetro do corpo de prova, expresso (mm).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ensaio de argamassa aderida (%), possibilita verificar se o tratamento foi eficiente, os resultados podem ser visualizados na Figura 3.

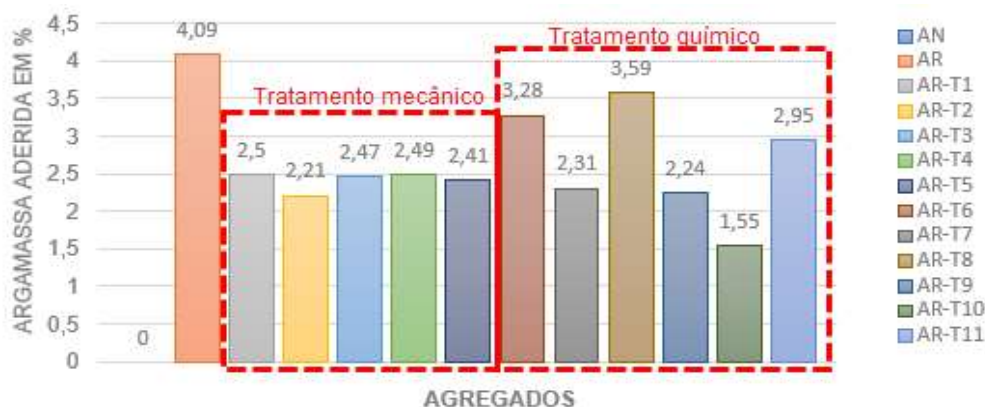


Figura 3 – Porcentagem de argamassa aderida nos agregados. Fonte: Autores 2023.

Na Figura 3, pode-se observar que o agregado AR-T2, que teve o tratamento na Máquina de Abrasão de Los Angeles por 30 minutos, apresentou a menor porcentagem de argamassa aderida nos tratamentos mecânicos. Comparando com o AR (agregado reciclado) sem tratamento, o tratamento proporcionou uma redução de aproximadamente 46% na argamassa aderida do agregado reciclado.

Com relação ao tratamento químico, o agregado AR-T10, tratado com ácido acético na concentração de 2% por 12 horas mostrou ser o tratamento mais eficiente, com uma redução de 62% da argamassa aderida em comparação ao agregado reciclado (AR). Desta forma, utilizou-se os agregados AR-T2 (tratamento mecânico) e AR-T10 (tratamento químico) como substituto de 25% do agregado natural (AN) para a produção dos CP's na Etapa 2.

Por sua vez, os resultados da Etapa 2, para o coeficiente de permeabilidade (k) e a resistência à compressão avaliadas aos 28 dias nas quatro misturas de CP's podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características hidráulicas e mecânicas dos CP's da Etapa 2. Fonte: Autores, 2023.

Concretos permeáveis	k(mms/)	fck (MPa)
CP - 1 (100% AN)	13,65	10,64
CP - 2 (75% AN+ 25% AR)	11,74	10,50
CP - 3 (75% AN+25%AR-T2)	7,07	9,99
CP - 4 (75% AN+25%AR-T10)	15,6	6,75

Analisando os resultados da Tabela 2, verifica-se que a substituição de 25% do agregado natural (AN) por agregado reciclado (AR) reduziu cerca de 14% do coeficiente de permeabilidade e afetou discretamente a resistência à compressão do CP, deste modo, para as propriedades estudadas, os valores estão de acordo com os encontrados na



literatura para aplicação em pavimentos (OBLA, 2010, ABNT, 2015) a substituição favoreceu a economia circular no setor.

Por sua vez, o concreto permeável que utilizou o agregado após o tratamento mecânico (CP-3) reduziu em cerca de 39,78% o coeficiente de permeabilidade e 4,9% a resistência à compressão aos 28 dias quando comparado ao CP-2. Acredita-se que a limpeza na Máquina de Abrasão Los Angeles, possa ter contribuído para arredondar os grãos dos agregados reciclados (quebra das arestas) melhorando o empacotamento dos grãos e consequentemente reduzindo os vazios, por onde passa a água, além de ter criado microfissuras na superfície, o que justificaria o menor valor para a propriedade mecânica.

Para o concreto permeável com o agregado tratamento quimicamente (CP-4), houve uma elevação no coeficiente de permeabilidade em 32,9%, no entanto uma significativa redução na resistência à compressão aos 28 dias (35,71%) em comparação ao CP-2, para esse caso, acredita-se que devem ser estudadas formas de melhorar a pasta que envolve o agregado reciclado, de modo a garantir uma melhor aderência entre os dois e consequentemente resposta mecânica.

CONCLUSÕES

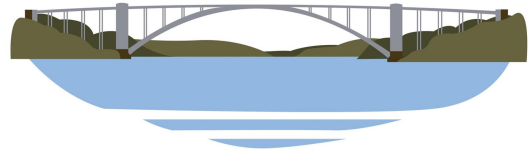
Para os tratamentos estudados, o tratamento mecânico na Máquina de Abrasão Los Angeles por 30 minutos e sem esferas (AR-T2), proporcionou uma redução de aproximadamente 46% na argamassa aderida do agregado reciclado enquanto o tratamento químico com ácido acético na concentração de 2% por 12 horas (AR-T2) mostrou ser o tratamento mais eficiente, com uma redução de 62% da argamassa aderida em comparação ao agregado reciclado (AR).

Com relação ao uso em concretos permeáveis, indica-se a utilização do agregado tratado na Máquina de Abrasão Los Angeles por 30 minutos e sem esferas (AR-T2) em substituição a 25% do agregado natural (AN) no entanto para uso no pavimento, outros testes relacionados a durabilidade se fazem necessário.

Por fim, acredita-se que a combinação de granulometrias menores, outros tratamentos tais como a carbonatação mineral do CO₂ e o uso dos polímeros, possam ser investigados, como forma de viabilizar o uso do agregado reciclado em pavimentos permeáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANGULO, S. C. ; OLIVEIRA, L. S. ; MACHADO, L. **Pesquisa setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil. Pesquisa setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**, 2022.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Associação Brasileira de Normas Técnicas**Rio de Janeiro, 2015a.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas**Rio de Janeiro, 2018.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos.** Rio de Janeiro, 2015b.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16889: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Associação Brasileira de Normas Técnicas**Rio de Janeiro, 2020.
6. BARRETO SANDOVAL, G. F. et al. Influência da porcentagem da fração fina proveniente do agregado graúdo no desempenho de concreto permeável. **Ciencia y Poder Aéreo**, v. 13, n. 2, p. 126–136, 2018.
7. KAZMI, S. M. S. et al. Effect of recycled aggregate treatment techniques on the durability of concrete: A comparative evaluation. **Construction and Building Materials**, v. 264, p. 120284, 2020.
8. OBLA, K. H. **Pervious concrete - An overview. Indian Concrete Journal**, 2010
9. PEPE, M. et al. Alternative processing procedures for recycled aggregates in structural concrete. **Construction and Building Materials**, v. 69, p. 124–132, 2014.
10. PIERALISI, R. et al. Contribuição Para O Desenvolvimento De Uma Metodologia De Dosagem Para Concreto Permeável Baseada No Desempenho. **Journal of Urban Technology and Sustainability**, v. 3, n. 1, p. 18–27, 2020.
11. RISSON, K. D. B. DE S. et al. Molding procedure for pervious concrete specimens by density control. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, n. July, 2021.
12. SADAGOPAN, M.; MALAGA, K.; NAGY, A. Improving recycled aggregate quality by mechanical pre-processing. **Materials**, v. 13, n. 19, p. 1–16, 2020.



13. SANDOVAL, G. F. B. et al. Comparison between the falling head and the constant head permeability tests to assess the permeability coefficient of sustainable Pervious Concretes. **Case Studies in Construction Materials**, v. 7, n. May, p. 317–328, dez. 2017.
14. SANDOVAL, G. F. B. et al. Hydraulic behavior variation of pervious concrete due to clogging. **Case Studies in Construction Materials**, v. 13, p. e00354, 2020.
15. SANDOVAL, G. F. B. . et al. **Clogging phenomenon in Pervious Concrete (PC): A systematic literature review**. **Journal of Cleaner Production** Elsevier Ltd, , 2022.