

## DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL UTILIZANDO AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO

Moara M. dos Santos, Alessandra B. Tessaro\*, João P. da S. Viana, Julio C. P. Oliveira,  
Ingrid T. de Moraes, Jorge L. S. Bandeira, Jorge L. O. Nunes e Flávia C. de Mattos

*Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brazil*

**Palavras-chave:** Resíduos da Construção Civil, Sustentabilidade, Reutilização, Agregado Reciclado.

**Resumo.** A construção civil é um dos setores que mais contribui para a geração de resíduos sólidos, portanto, é necessário que se encontre meios de diminuir e compensar os danos causados ao meio ambiente. A questão de sustentabilidade na construção civil ainda é pouco priorizada, sendo necessário a realização de estudos que mostrem as vantagens da reutilização de seus resíduos (RCC), sendo elas ambientais, econômicas ou sociais. Essa pesquisa tem como objetivo de contribuir para o estudo da utilização de resíduos da construção civil como agregado graúdo na composição de novos concretos permeáveis para aplicação em pavimentação para tráfego leve. Foram utilizados agregados graúdos reciclados em substituição da brita em quatro traços distintos, variando o fator de substituição dos agregados reciclados em 15%, 25%, 50% e 75%. Foram obtidos concretos com resistência à compressão na faixa de 1,95 MPa a 4,33 MPa.

---

E-mail addresses: [moaramaciel38@gmail.com](mailto:moaramaciel38@gmail.com), [alessandrabuss@gmail.com](mailto:alessandrabuss@gmail.com)\*, [joovianaegn@gmail.com](mailto:joovianaegn@gmail.com), [julhao5@hotmail.com](mailto:julhao5@hotmail.com), [ingrid.telles.Moraes@hotmail.com](mailto:ingrid.telles.Moraes@hotmail.com), [jorge-band@hotmail.com](mailto:jorge-band@hotmail.com), [jorgeoleinik@gmail.com](mailto:jorgeoleinik@gmail.com), [fcattos@furg.br](mailto:fcattos@furg.br).

## **DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF PERVIOUS CONCRETE USING RECYCLED CONCRETE AGGREGATE**

**Keywords:** Construction Waste, Sustainability, Reuse, Recycled Aggregate.

**Abstract.** Civil construction is one of the sectors that most contributes to the generation of solid waste, therefore, it is necessary to find ways to reduce and compensate for the damage caused to the environment. The issue of sustainability in civil construction is still little prioritized, requiring the use of studies that show the advantages of reusing its residues (RCC), which are environmental, economic, or social. This research aims to contribute to the study of the use of civil construction waste as coarse aggregate in the composition of new permeable concrete for application in paving for light traffic. Recycled coarse aggregates were used to replace gravel in four different mixes, varying the recycled aggregates substitution factor at 15%, 25%, 50% and 75%. Concretes with compressive strength in the range of 1.95 MPa to 4.33 MPa were obtained.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma área que contribui significativamente para a geração dos impactos ambientais em razão de possuir uma crescente demanda por matérias-primas e uma grande geração de resíduos sólidos. Apesar do papel significativo que ela exerce na economia, com a geração de empregos, viabilização de moradias, entre outros, é evidente a carência de uma gestão sustentável para os resíduos gerados. Paralelamente, o crescimento rápido e desordenado das cidades tem como consequência a falta de planejamento racional do uso do solo e de sua ocupação. Estimativas indicam que em 2050, a Terra terá pouco mais de nove bilhões de habitantes e 66% dessa população viverá em cidades [17].

Devido a esses fatores se faz necessária a utilização e a propagação de novas alternativas que melhorem a gestão ambiental da área construtiva e a impermeabilização do solo. A opção proposta neste trabalho tem como principais objetivos a reutilização do resíduo de concreto para utilização em novos concretos que mantenham uma taxa de infiltração do solo, poupando assim as reservas de agregados naturais e colaborando com a preservação do meio ambiente.

O concreto é segundo material mais consumido no mundo, ficando atrás somente da água [26]. De acordo com os resultados preliminares de 2020 do Sindicato Nacional das Indústria de Cimento – SNIC [27], o consumo de cimento no primeiro semestre no Brasil foi de 26,9 milhões de toneladas, tendo um crescimento de 3,6% em relação ao mesmo período do ano de 2019.

O consumo de rochas naturais, agregados, minérios para a produção de cimento e cerâmica cresce mais rapidamente do que a demanda global, representando atualmente algo em torno de 40% do total extraído. É cabível estimar que a construção é responsável por mais de 50% dos recursos naturais extraídos no planeta. De acordo com esses dados de consumo e do conhecimento de que a maioria dos insumos que compõem o concreto não são renováveis, percebemos o acentuado impacto ambiental causado [20].

A ocupação das cidades através de áreas impermeáveis como telhados, calçadas, ruas, estacionamentos etc., altera as características de volume e qualidade do ciclo hidrológico, o que resulta na degradação da qualidade das águas pluviais e aumento das enchentes urbanas. Para solucionar esses problemas, a tendência moderna na área da drenagem urbana é a utilização de dispositivos que promovam um acréscimo de infiltração, como, por exemplo, o uso do pavimento permeável [14].

Com base em problemas decorrentes de disposição irregular dos Resíduos da Construção Civil (RCC) e da impermeabilização ocasionada pelo aumento das cidades, estudou-se a produção de concretos reciclados para pavimentos de tráfego leve, visando incentivar a reciclagem de resíduos e garantindo a permeabilidade do solo. Foram realizados ensaios das principais propriedades físicas e mecânicas dos concretos, produzidos com diferentes porcentagens de substituição do agregado graúdo natural por reciclado, em conformidade com as normas técnicas da ABNT.

Este trabalho tem como objetivo geral estudar a viabilidade da utilização de resíduos de concreto como agregado graúdo reciclado, para ser utilizado em pavimentação de tráfego leve garantindo a infiltração de água no solo.

## 2 MÉTODO

Os agregados naturais e reciclados foram separados pelo método de quarteamento conforme a norma ABNT NBR 16915:2021 [6]. A análise da composição granulométrica dos agregados foi realizada de acordo com a ABNT NBR 7211:2022 [11].

A determinação da massa unitária foi de acordo com a ABNT NBR 16972:2021 [9]. Para os agregados miúdos, se realizou ensaios de absorção de água e de massa específica segundo a NBR 16916:2021 [7]. Para os agregados graúdos foram feitos ensaios para a determinação da massa específica e absorção de água conforme a ABNT NBR 16917:2021 [8].

No procedimento foi utilizado o cimento Portland tipo CP IV-32. Foram elaborados traços com diferentes percentuais de substituição do agregado reciclado. Um dos concretos é composto apenas por agregados naturais para ser usado como referência e outros quatro com substituições de 15%, 25%, 50% e 75% de agregados reciclados, com traço 1:4:8:0,35.

Foram moldados 12 corpos de prova cilíndricos para cada traço, com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, sendo 8 corpos para os ensaios de resistência a compressão aos 7 e 28 dias, conforme ABNT NBR 5738:2016 [4], e mais 4 corpos para os ensaios de absorção de água conforme ABNT NBR 9778:2009 [2].

Neste estudo, foi realizada a análise de resistência mecânica à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos, conforme os procedimentos estipulados pela ABNT NBR 5739:2018 [5].

Foram realizados os ensaios de determinação da absorção de água por imersão. Foi considerada a metodologia proposta pela ABNT NBR 9778:2009 [2].

O ensaio de porcentagem de vazios comunicantes mede o índice de vazios dos poros contínuos que contribui para a percolação da água. Consiste em medir a quantidade de água que penetra no interior do corpo de prova pela face superior enquanto as faces lateral e inferior são impermeabilizadas por fita adesiva impermeável, mantendo-se em sua face superior uma película constante de água durante dez minutos [1].

Para realização dos ensaios de permeabilidade pode ser utilizado um permeâmetro com carga hidráulica variável ou constante. O corpo de prova teve de ser vedado lateralmente de modo a garantir que a vazão só ocorra verticalmente.

Foi fabricado um permeâmetro com carga hidráulica variável, conforme [13], onde a amostra de concreto permeável foi saturada e o nível de água entre o topo da amostra e o topo do tubo de dreno foi igualado como na Figura 1. A válvula foi fechada e o tubo preenchido. Na sequência a válvula foi aberta e foi registrado, cinco vezes para cada corpo de prova, o tempo necessário para que a coluna d'água caísse de 400 mm ( $h_1$ ) até 100 mm ( $h_2$ ).

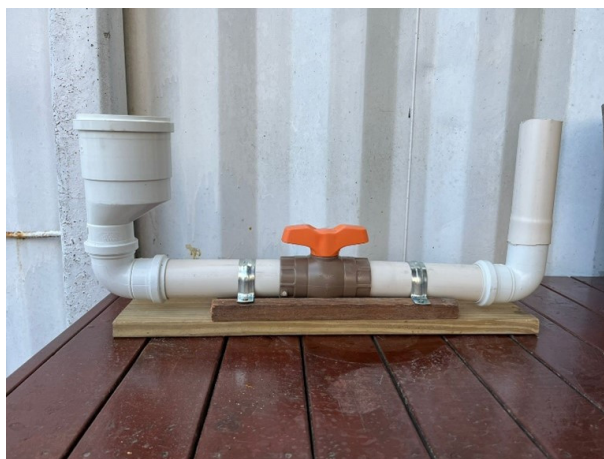


Figura 1: Permeâmetro

Para avaliar o desgaste foi realizado o ensaio de cântabro. Desenvolvido na Universidade da Catalúnia (Espanha), de acordo com a especificação brasileira DNER-ME 383-99 [19], tem a finalidade de avaliar a perda por desgaste da camada de rolamento e normalmente é utilizado

para a verificação da resistência a desagregação da mistura. A perda máxima admitida é de 25%.

O ensaio foi realizado submetendo os corpos de prova a 300 revoluções do tambor de abrasão Los Angeles a uma velocidade de 30 rpm a 33 rpm, sem as cargas abrasivas. O resultado foi obtido por meio da porcentagem de perda de peso com a seguinte equação:

$$P_p = \frac{P_i - P_f}{P_i} \cdot 100, \quad (1)$$

em que  $P_p$  é a porcentagem de perda de peso da amostra, em %,  $P_i$  é o peso da amostra antes do ensaio, em g, e  $P_f$  é o peso da amostra depois do ensaio, em g.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A absorção de água dos agregados miúdos foi realizada através da ABNT NBR 16916:2021 [7], obtendo-se um percentual de 1,43% de absorção e um valor de 2,63 g/cm<sup>3</sup> de massa específica. A massa unitária foi de acordo com a ABNT NBR 16972:2021 [9] e foi de 1,46 g/cm<sup>3</sup>.

A análise da granulometria foi realizada pela ABNT NBR 17054:2022 [10]. Foi pesado 300 g de areia e o peso retido em cada peneira (Tabela 1). A curva granulométrica está representada na Figura 2.

Tabela 1: Granulometria do agregado miúdo

Peneira [mm]	Areia [g]	% retida	% acumulada
4,8	20,5	1,677	1,667
2,38	109,97	8,997	10,674
1,19	275,15	22,511	33,184
0,59	535,5	43,810	76,995
0,297	259,18	21,204	98,199
0,149	14,93	1,221	99,420
0,074	3,28	0,268	99,689
Fundo	3,8	0,311	100
Soma	1223,1	100	
Módulo de finura		4,198	
Diâmetro máximo característico		4,8 mm	

A análise da granulometria do agregado graúdo foi realizada pela ABNT NBR 17054:2022 [10], Tabela 2, e a curva granulométrica apresentada na Figura 3.

A absorção de água dos agregados graúdos foi feita pela ABNT NBR 16917:2021 [8], obtendo-se o valor de 0,72% de absorção.

A massa específica dos agregados graúdos foi realizada pela ABNT NBR 16916:2021 [7], chegando-se ao valor de 2,74 g/cm<sup>3</sup>. A massa unitária foi de acordo com a ABNT NBR 16972:2021 [9] e foi de 1,53 g/cm<sup>3</sup>.

Após britagem do agregado reciclado, a análise da granulometria foi realizada pela ABNT NBR 17054:2022 [10], Tabela 3, e a curva granulométrica apresentada na Figura 4.

A absorção de água dos agregados graúdos foi por meio da norma ABNT NBR 16917:2021 [8], obtendo-se o valor de 8,12% de absorção. A massa específica dos agregados graúdos foi realizada pela ABNT NBR 16916:2021 [7], chegando-se ao valor de 2,49 g/cm<sup>3</sup>. A massa unitária foi de acordo com a ABNT NBR 16972:2021 [9] e foi de 1,17 g/cm<sup>3</sup>.

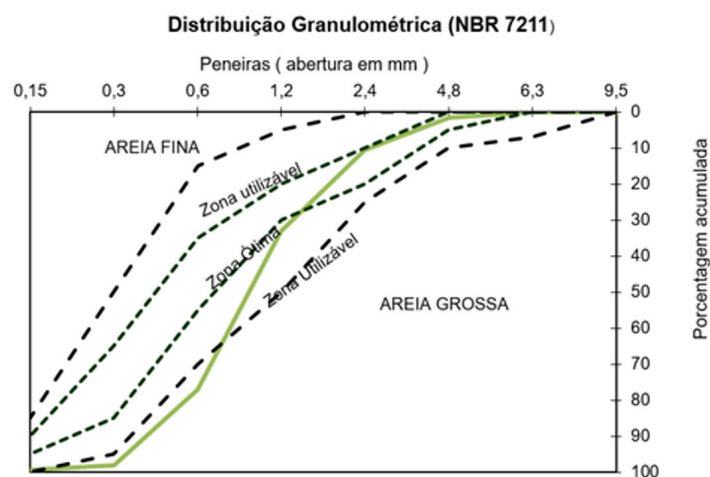


Figura 2: Curva Granulométrica do agregado miúdo

Tabela 2: Granulometria do agregado graúdo

Peneira [mm]	Brita [g]	% retida	% acumulada
19	4,58	0,294	0,294
12,7	6,43	0,412	0,706
9,5	3,34	0,214	0,920
6,3	339,7	21,784	22,704
4,8	639,3	40,996	63,701
2,4	457,33	29,327	93,028
1,2	52,82	3,387	96,415
0,6	23,49	1,506	97,922
0,3	9,12	0,584	98,506
0,15	6,86	0,439	98,946
0,075	7,63	0,489	99,436
Fundo	8,8	0,564	100
Soma	1.559,4	100	
Módulo de finura		6,72	
Diâmetro máximo característico		9,5 mm	

Com relação à absorção de água do agregado graúdo, verifica-se que os agregados reciclados apresentaram valores bem maiores (8,12%) do que o agregado natural (0,72%) fato já esperado por ser um material mais poroso e menos denso, fato que se refletiu na massa específica (Figura 5 e Figura 6).

Tenório [29], em seu trabalho, obteve como resultado que o agregado reciclado foi 7,66 vezes maior que o natural, tendo o agregado natural 1,22% de absorção de água e o agregado reciclado, 9,34% de absorção.

Pela análise dos dados provenientes dos ensaios de caracterização no trabalho de Lintz *et al.* [23], pôde-se observar que os agregados naturais possuem maiores massas específicas que os agregados reciclados, confirmando os resultados encontrados pelos pesquisadores Boldrin *et al* [15] e Lintz e Simonetti [24] para estas características físicas.

Segundo [22], a taxa de absorção de água em agregados naturais comumente utilizados nas misturas de concreto tem valores muito baixos que não interferem na mistura e por isso, tem sua influência desprezada, no entanto, no caso do uso de agregados reciclados sua quantificação



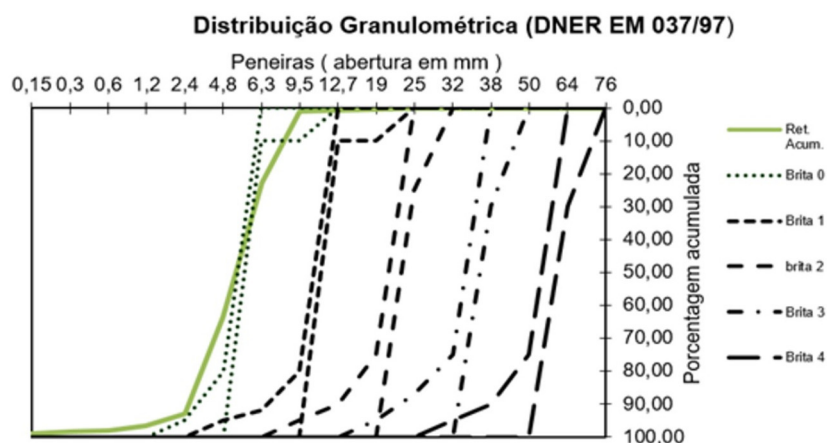


Figura 3: Curva Granulométrica do agregado graúdo

Tabela 3: Granulometria do agregado graúdo reciclado

Peneira [mm]	Agregado [g]	% retida	% acumulada
19	584,3	22,402	22,402
12,7	989,3	37,930	60,333
9,5	274,6	10,528	70,861
6,3	286,2	10,973	81,834
4,76	125,7	4,819	86,654
2,38	174,9	6,706	93,359
2	68,1	2,611	95,970
1,19	66,4	2,546	98,516
Fundo	38,7	1,484	100
Soma		100	
Módulo de finura		6,09	
Diâmetro máximo característico		19 mm	

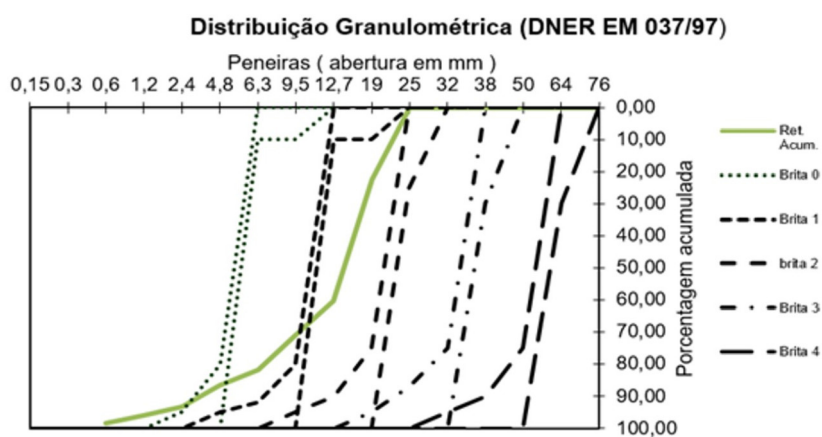


Figura 4: Curva Granulométrica do agregado graúdo

deve ter cuidado especial. Cordeiro [18] percebeu que a absorção diminuiu à medida que o diâmetro do agregado aumenta, ou seja, quanto maior o diâmetro do agregado reciclado, menor é sua porosidade.



Figura 5: Agregado graúdo



Figura 6: Agregado miúdo

A Tabela 4 apresenta os resultados à compressão dos corpos de prova. A Figura 7 demonstra o resumo dos resultados a compressão. Com base nos resultados dos rompimentos dos corpos de prova aos 28 dias, é possível analisar os resultados das resistências à compressão da seguinte forma: o concreto de referência apresentou uma resistência média de aproximadamente 1,90 MPa enquanto os concretos com a substituição de agregados graúdos reciclados apresentaram uma resistência maior, com médias de aproximadamente 4,15 MPa, 4,18 MPa, 4,42 MPa e 4,33 MPa.

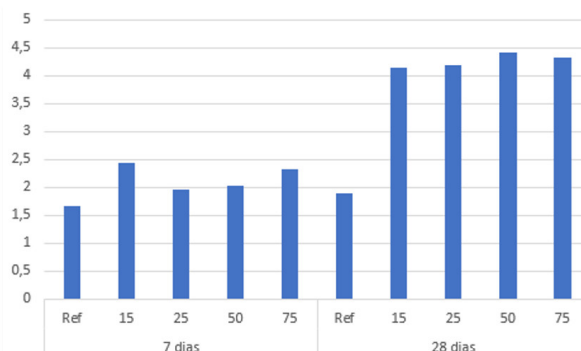


Figura 7: Resultados a compressão dos corpos de prova [MPa]

Comparando a resistência entre os concretos com diferentes percentuais de substituição do agregado graúdo reciclado, os que obtiveram resistência à compressão maior foram os de 50% e 75%, com médias de aproximadamente 4,42 MPa e 4,33 MPa.



Tabela 4: Resistência à compressão [MPa]

7 dias					
	Ref	15%	25%	50%	75%
CP1	1,44	2,50	1,72	2,01	2,26
CP2	1,80	2,62	1,72	1,81	2,92
CP3	1,76	2,16	2,41	2,25	1,80
Média	1,66	2,43	1,95	2,02	2,33
Desvio Padrão	0,15	0,18	0,31	0,15	0,40
28 dias					
	Ref	15%	25%	50%	75%
CP1	2,24	3,43	3,18	2,82	3,82
CP2	1,66	4,92	5,13	6,98	3,71
CP3	1,80	4,11	4,22	3,47	5,47
Média	1,90	4,15	4,18	4,42	4,33
Desvio Padrão	0,22	0,51	0,66	1,70	0,76

Pode-se observar que, aos 28 dias, segundo a norma, o concreto referência nesse traço não poderia ser utilizado para pavimentos de tráfego leve. E todos os traços com substituição por brita reciclada poderiam ser utilizados tanto para placas de concreto quanto para concreto moldado in loco. Pois a norma determina para placas de concreto permeável para tráfego de pedestres e tráfego leve uma resistência  $\geq 2$  MPa. Já para concreto moldado in loco a norma exige  $\geq 1$  MPa e tráfego leve  $\geq 2$  MPa.

Os resultados de [16] mostram a resistência obtida nos corpos de prova que tiveram sua cura em 14 dias com resistência de 4,61 MPa, e o que teve a adição do RCC ficou em 2,15 MPa. Já os resultados obtidos após 28 dias da cura dos corpos de prova, apresentou uma resistência de 5,66 MPa para o que teve a utilização de brita convencional, e de 2,03 MPa para o que teve a adição do RCC. Esta diferença de resistência se dá pela origem dos agregados, portanto a brita convencional apresenta uma resistência mecânica superior em relação ao RCC. O tamanho do RCC é o outro fator a ser levado em consideração e como é um material muito poroso, absorve muita água ocasionando a baixa resistência no concreto e sendo material muito homogêneo, compostos por elementos irregulares e desiguais, compromete na qualidade final do concreto.

Na Tabela 5 é possível observar os resultados de absorção, índice de vazios e massa específica das misturas testadas.

Tabela 5: Absorção, índice de vazios e massa específica

Amostra	Massa saturada (Msat) [g]	Massa seca (Ms) [g]	Massa imersa (Mi) [g]	Absorção [%]	Índice de vazios [%]	Massa esp. da amostra seca [g/cm <sup>3</sup> ]	Massa da amostra saturada [g/cm <sup>3</sup> ]	Massa esp. real [g/cm <sup>3</sup> ]
Ref	3207,17	3060,9	1844,33	4,78	10,73	2,25	2,35	2,52
15%	3284,47	3100,30	1876	5,94	13,08	2,20	2,33	2,53
25%	3219,80	3033,96	1817,66	6,13	13,25	2,16	2,30	2,49
50%	3232,46	3012,41	1875,66	7,30	16,22	2,22	2,38	2,65
75%	3032,33	2789,36	1678,33	8,71	17,94	2,06	2,24	2,51

De acordo com a ABNT NBR 9781:2013 [3], quando usados para pavimentação o concreto não pode ter absorção média maior que 6% e o traço 25%, 50% e 75% estão acima do limite,

os demais valores obtidos estão dentro do limite estabelecido.

Segundo Tennis et al. 2004 [28], um índice de vazios na ordem de 20% garante boas resistências e permeabilidade. O concreto permeável é considerado um material com baixa porosidade quando encontramos índices inferiores a 15%, e altamente poroso com índices de vazios superiores a 30% [12]. Os corpos de prova das misturas Ref, 15 e 25 possuem baixa porosidade, já o 50% e 75% possuem maior porosidade.

Os valores e desvios padrões encontrados para os vazios comunicantes podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6: Ensaio de porcentagem de vazios comunicantes

CP	Ref [%]	15% [%]	25% [%]	50% [%]	75% [%]
1	30,66	44,9	50,1	59,2	63,5
2	31,08	45,4	49,7	60,3	66,7
3	31,84	45,3	51,02	58,9	64,8
Média	31,19	45,20	50,27	59,47	65,00
Desvio padrão	0,43	0,20	0,50	0,56	1,13

Meurer Filho [25] estudou graduações granulométricas, de agregado natural, de modo a maximizar o teor de vazios comunicantes e a permeabilidade, e obteve resultados superiores a 25%.

No trabalho de [17], onde foi comparado o adensamento com os vazios comunicantes, encontrou-se 30,66% para adensamento manual e 15,59% para adensamento mecânico.

Pela normativa AFNOR NF-P-98-234-2 [1], o volume de vazios comunicantes deve ser  $\geq 10\%$  para ser um pavimento drenante. Como podemos observar na tabela todos os traços ensaiados obtiveram o mínimo da norma, sendo o com 75% de substituição de brita natural por ARC o que obteve o melhor resultado, apresentando 65%.

Os resultados e o desvio padrão encontrados para o coeficiente de permeabilidade  $k$  em permeâmetro de carga variável para as misturas estudadas estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Coeficiente de permeabilidade  $k$

CP	Ref	15%	25%	50%	75%
1	0,19	0,28	0,38	0,42	0,53
2	0,26	0,24	0,39	0,47	0,5
3	0,23	0,29	0,34	0,41	0,49
Média	0,23	0,28	0,38	0,42	0,50
Desvio Padrão	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Como esperado, o 75% obteve a maior permeabilidade hidráulica, seguida dos demais, estes valores seguiram a mesma tendência observada para os valores de índice de vazios e vazios comunicantes e foram inversamente proporcionais aos valores de massa específica aparente. Este fato evidencia a confiabilidade dos resultados encontrados nessa pesquisa.

Tennis et al. [28] definiram valores entre 0,21 cm/s e 0,54 cm/s como valores típicos para revestimentos de pavimentos. Os resultados obtidos na pesquisa se enquadram na faixa proposta.

Batezini [12] obteve valores do coeficiente entre 0,13 cm/s e 0,15 cm/s e Kajio et al. [21] entre 0,03 cm/s e 0,18 cm/s, ambos para concreto com brita natural. Na Tabela 8 são apresentados os resultados obtidos da realização do ensaio cântabro.

Tabela 8: Ensaio cântabro

Corpo de prova - traço	Peso antes [g]	Peso após desagregação total [g]	$P_p$ [%]
REF	3023,40	0	100
15%	3353,10	1402,60	58,17
25%	3100,80	956,00	69,17
50%	3045,10	999,80	67,17
75%	2905,50	693,10	76,15

De acordo com os resultados apresentados, os corpos de prova não apresentaram uma resistência significativa à desagregação, pois todas as perdas foram maiores do que a perda máxima admitida de 20%, chegando ao máximo do índice Los Angeles de 76,15%.

A Figura 8 apresenta o corpo de prova após a realização do ensaio, sendo possível observar a total desagregação do corpo de prova do traço de referência. A Figura 9 mostra os demais corpos de prova após o ensaio, sendo observada sua significativa perda



Figura 8: Corpo de prova após a realização do ensaio

#### 4 CONCLUSÕES

Referente ao ensaio de resistência à compressão, o concreto com a substituição de agregados graúdos reciclados apresentou uma resistência maior, sendo a maior média obtida de 4,42 MPa, comparada ao concreto de referência com média de 1,90 MPa. A norma determina para placas de concreto permeável para tráfego de pedestres e tráfego leve uma resistência  $\geq 2$  MPa. Já para concreto moldado in loco a norma exige  $\geq 1$  MPa e tráfego leve  $\geq 2$  MPa. Conforme a norma, todos os traços com substituição por brita reciclada poderiam ser utilizados tanto para placas de concreto quanto para concreto moldado in loco.

Em relação a análise de absorção a ABNT NBR 9781:2013 [3] estabelece que os blocos de concreto, quando usados para pavimentação, não podem ter absorção média maior que 6%, o corpo de prova de REF e de 15% ficaram dentro desse limite.

O ensaio de porcentagem de vazios comunicantes foi realizado de acordo com a normativa AFNOR NF-P-98-234-2 [1], segundo ela o volume de vazios comunicantes deve ser  $\geq 10\%$



Figura 9: Corpo de prova após a realização do ensaio

para ser um pavimento drenante. De acordo com os resultados obtidos para esse ensaio, todos os traços ensaiados obtiveram o mínimo da norma, sendo o corpo de prova com 75% de substituição de brita natural por ARC o que obteve o melhor resultado, apresentando 65%. Já para o ensaio de permeabilidade nos corpos-de-prova Marshall, o corpo de prova 75% obteve a maior permeabilidade hidráulica, seguindo a mesma tendência observada para os valores de índice de vazios e vazios comunicantes e foram inversamente proporcionais aos valores de massa específica aparente. Com isso, evidencia a confiabilidade dos resultados encontrados nessa pesquisa.

Em referência ao ensaio de cântabro, os corpos de prova não apresentaram uma resistência significativa à desagregação, pois todas as perdas foram maiores do que a perda máxima admitida de 20%.

## REFERÊNCIAS

- [1] Association Française De Normalisation. *AFNOR NF P 98-234-2 – Essai de gonflement au gel des sols et matériaux granulaires traités ou non de  $D < 20$  mm*. AFNOR, Paris, France, 1996.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 9778:2009 – Argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água por imersão - índice de vazios e massa específica*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2009.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 9781:2013 – Peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos de ensaio*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2013.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 5738:2016 – Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2016.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 5739:2018 – Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2018.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 16915:2021 – Agregados - amostragem*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2021.

- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 16916:2021 – Agregado miúdo - determinação da densidade e da absorção de água*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2021.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 16917:2021 – Agregado graúdo - determinação da densidade e da absorção de água*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2021.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 16972:2021 – Agregados - determinação da massa unitária e do índice de vazios*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2021.
- [10] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 17054:2022 – Agregados - determinação da composição granulométrica - método de ensaio*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2022.
- [11] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 7211:2022 – Agregados para concreto - requisitos*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2022.
- [12] R. Batezini. *Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, Brasil, 2013.
- [13] R. Batezini e J. T. Balbo. Estudo da condutividade hidráulica com carga constante e variável em concretos permeáveis. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 8(3), 2015. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952015000300002>.
- [14] T. I. L. Battirola e B. S. Camargo. *Pavimentação permeável em calçadas: Estudo de uma das Alternativas*. Monografia de conclusão de curso de graduação, Ienomat-Instituto Educacional do Norte de Mato Grosso, Alta Floresta – MT, Brasil, 2022.
- [15] A. J. Boldrin, R. L. Machado, M. A. Campos e R. C. C. Lintz. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com resíduos de construção e demolição empregados na produção de blocos de concreto. In *Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto*. 2006.
- [16] B. Borges, V. J. L. Fernandes, W. da Cruz e D. A. dos Santos. Concreto permeável com a utilização de resíduos da construção civil como agregado. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 13(1), 2021.
- [17] L. M. Botteon. *Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamentos*. Monografia de conclusão de curso de graduação, Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ, Brasil, 2017.
- [18] L. d. N. P. Cordeiro. *Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade de concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de concreto*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, Brasil, 2013.
- [19] Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *DNER-ME 383-99 – Desgaste por abrasão de misturas betuminosas com asfalto polímero - ensaio Cantabro*. Ministério dos Transportes, Brasil, 1999.
- [20] V. M. John. *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*, capítulo Materiais de construção e o meio ambiente, p. 97–121. Ibracon, 2017.
- [21] S. Kajio, S. Tanaka, R. Tomita, E. Noda e S. Hashimoto. Properties of porous concrete with high strength. In *Proceedings of 8th International Symposium on Concrete Roads*, p. 171–177. Lisboa, Portugal, 1988.
- [22] M. Leite. *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, Brasil, 2001.

- [23] R. C. C. Lintz, A. E. P. G. A. Jacintho, L. L. Pimentel e L. A. Gachet-Barbosa. Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, 5(2):166–181, 2012.
- [24] R. C. C. Lintz e F. C. Simonetti. Incorporação de resíduos de construção em compósitos de cimento empregados na fabricação de blocos. In *Anais do 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais CBECiMat*. 2008.
- [25] E. Meurer Filho. *Estudo de granulometria para concretos asfálticos drenantes*. Dissertação de Mestrado, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2001.
- [26] L. R. Paiva, V. C. d. A. Batista e C. F. Farias. *Utilização de RCD (Resíduos da construção e demolição) como agregado graúdo para confecção de um concreto sustentável*. Monografia de conclusão de curso de graduação, Rede de Ensino Doctum, Unidade Cataguases – MG, Brasil, 2021.
- [27] Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. *Relatório Anual 2020*. SNI, 2021.
- [28] P. O. Tennis, M. L. Leminy e D. J. Akers. *Pervious Concrete Pavements*. Portland Cement Association, 2004.
- [29] J. J. L. Tenório. *Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL, Brasil, 2017.