

CONCRETO PERMEÁVEL COM A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO AGREGADO

Bruno Rodrigues Borges (Unisal) E-mail: b.bruno.rodrigues@hotmail.com
Vinicius José Lopes Fernandes (Unisal) E-mail: viniciuslopes@hotmail.com
Wallace da Cruz (Unisal) E-mail: wallace_fit@hotmail.com
Prof. Me. Dener Altheman dos Santos (Unisal) E-mail: dener.santos@unisal.br

Resumo: Buscando colaborar com a redução do escoamento superficial, manejo das águas pluviais e um melhor aproveitamento e destinação dos resíduos, essa pesquisa elaborou um estudo de composição de concreto permeável para pavimentação urbana de tráfego leve, propondo a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado proveniente de resíduos sólidos da construção civil. As composições elaboradas levaram em conta uma composição com agregados graúdos naturais, denominada composição de referência, e composições com substituições parciais de 10%, 20% e 30% do agregado graúdo natural pelo reciclado, todos utilizando uma relação de água cimento (*a/c*) de 0,25. Foram realizados os seguintes ensaios para a caracterização dos agregados graúdos; granulometria, massa específica, índice de absorção e determinação do teor de material pulverulento. Para a determinação dos parâmetros que caracterizam o concreto permeável, foram realizados os ensaios; resistência à compressão, tração na flexão e coeficiente de permeabilidade. O ensaio de resistência à compressão, obteve resultados na faixa de 2,90 a 10,56 MPa, sendo que o traço com substituição do agregado natural em 10%, apresentou valores superiores de resistência frente aos demais. O ensaio de tração na flexão, obteve resultados na faixa de 1,06 a 2,03 MPa, onde o traço com 20% de substituição do agregado natural obteve o melhor resultado, atendendo parcialmente a NBR 16416 (ABNT, 2015). Já para o ensaio de permeabilidade, todos concretos foram enquadrados como sendo altamente permeáveis e atenderam a referida norma. O traço com substituição de 30% do agregado natural apresentou valores superiores de permeabilidade, porém, com baixa resistência mecânica.

Palavras-chave: Concreto permeável, agregado reciclado, drenagem urbana.

PERMEABLE CONCRETE WITH THE USE OF CONSTRUCTION CIVIL'S WASTE AS AGGREGATE

Abstract: Seeking to collaborate with the reduction of surface runoff, rainwater management and better use and disposal of waste, this research elaborated a study of permeable concrete composition for urban paving of light traffic, proposing the replacement of the natural large aggregate by the aggregate from solid waste from civil construction. The compositions elaborated, considered a composition with natural large aggregates, called reference composition, and compositions with partial substitutions of 10%, 20% and 30% of the natural large aggregate by the recycled, all using a cement water ratio (*a/c*) of 0.25. The following tests were performed for the characterization of large aggregates; granulometry, specific mass, absorption index and determination of powder material content. For the determination of the parameters that characterize the permeable concrete, the tests were performed; compressive strength, bending traction and permeability coefficient. The compressive strength assay obtained results in the range of 2.90 to 10.56 MPa, and the trait with replacement of the natural aggregate in 10% presented

higher values of resistance compared to the others. The tensile test in flexion obtained results in the range of 1.06 to 2.03 MPa, where the trait with 20% replacement of the natural aggregate obtained the best result, partially meeting NBR 16416 (ABNT, 2015). For the permeability test, all concrete was classified as being highly pore and met this standard. The mixture with 30% substitution of the natural aggregate, showed superior values of permeability, however, with low mechanical resistance.

Keywords: Permeable concrete, recycled aggregate, urban drainage.

1. Introdução

Atualmente, sempre que ocorre uma chuva de grande volume, é comum a ocorrência de inundações nas grandes cidades, isso se deve pela ocupação indevida de áreas de várzea dos rios ou, pelos efeitos colaterais da alta taxa de impermeabilização do solo, causando uma diminuição das áreas verdes, que são responsáveis pela infiltração da água no solo (EVARISTO *et al.* 2017).

Historicamente, os engenheiros responsáveis pelos projetos de drenagem urbana, tentaram solucionar o problema da falta de infiltração natural da água no solo, com canalizações, provocando o aumento da velocidade dos escoamentos. Isso apenas transfere o problema à jusante, já que a redução do tempo de concentração aumenta o pico de vazão, trazendo inundações em áreas que anteriormente não sofriam tais problemas (CANHOLI, 2015).

Uma das soluções pouco utilizadas no Brasil no que se refere a inundações, é o uso do concreto permeável, que permite a infiltração da água no solo devido ao alto índice de vazios interligados, permitindo assim, que a mesma seja levada gradativamente até os rios ou reabasteça o lençol freático, diminuindo de forma significativa, o aumento dos picos de descarga pluviais nos corpos hídricos, que inevitavelmente transbordam e causam danos (EVARISTO *et al.* 2017).

Segundo Araújo *et al.* (2016), a indústria da construção civil consome anualmente um grande volume de materiais e recursos naturais, muitas vezes devido a falta de medidas de reaproveitamento dos resíduos com potencial reciclável. Esses materiais sem finalidade acabam na maioria das vezes depositados em aterros, mas poderiam ser uma alternativa para diminuição da quantidade de recursos naturais utilizados e volume de resíduos gerado.

A fim de reduzir o escoamento superficial aumentando a infiltração da água chuva no solo, na década de 1940, na França, foram efetuadas experiência com concreto permeável. Foi desenvolvido com ligante asfáltico, era um material que apresentava

pouca trabalhabilidade, e o material não se sustentava pelo excesso de vazios. Com o aumento populacional no período pós-guerra, década de 1970, alguns países voltaram a investir em pesquisas de concreto permeável a fim de solucionar problemas com inundações (NIGRI, 2017).

Com essa tecnologia, seria possível o alívio nos sistemas de drenagens existentes que foram sobrecarregados, aumentando a segurança e o conforto em dias chuvosos, devido a diminuição do escoamento superficial e o acúmulo de poças nas ruas. Assim, somente no final da década de 1980, o mesmo começou a ser produzido industrialmente por alguns países (ACIOLI, 2015).

Segundo Li (2009), a real aplicação do concreto permeável para as mais diversas finalidades somente veio a apresentar grande avanço há pouco mais de 20 anos, principalmente nos EUA. Pesquisas recentes sobre o comportamento mecânico e hidráulico desse tipo de material se tornaram atrativas, uma vez que o concreto permeável pode apresentar bom desempenho e durabilidade quando utilizado em pavimentos em áreas de veículos leves, o que, aliado à sua capacidade drenante, permite o seu emprego como equipamento urbano de redução dos níveis de impermeabilização intensificado pela urbanização das cidades.

O pavimento permeável é um mecanismo de infiltração da água, onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável que é sua principal característica e vantagem, quando analisado em função da água da chuva e drenagem urbana. De acordo com Belussi *et al.* (2016), sua alta capacidade de infiltração, é dada por sua composição porosa, que contém um maior número de vazios, possibilitando que a água infiltre através dos vazios, percolando em direção ao solo, contudo indica uma resistência menor do que o concreto convencional.

1.1 Objetivos

Os objetivos deste projeto de pesquisa são a seguir apresentados:

- Estudo de dosagem de concreto permeável reciclado para fins de pavimentação urbana de tráfego leve;
- Verificação das propriedades mecânicas do concreto permeável reciclado através de ensaios em laboratório;
- Determinação do coeficiente de permeabilidade do concreto permeável com agregado reciclado e natural;
- Utilização sustentável dos resíduos da construção civil;

- Viabilidade econômica;

1.2 Justificativa

Sendo o concreto permeável um material pouco explorado na construção civil do Brasil, estudar o comportamento deste material utilizando agregado reciclado de forma alternativa ao agregado natural é necessário. Desta maneira, justificam este trabalho:

- Necessidade de resultados experimentais aceitáveis sobre o comportamento do concreto permeável, utilizando resíduos da construção civil agregado;
- Contribuição para o manejo adequado de águas pluviais, reduzindo o escoamento superficial e consequentemente problemas de inundações e enchentes nos grandes centros urbanos;
- Destinação alternativa para os Resíduos de Construção e Demolição (RCD);

2. Métodos e Resultados

A metodologia de trabalho para esta pesquisa envolveu a definição de um estudo de dosagem de concreto permeável, através de procedimentos prévios de caracterização dos materiais. A seguir, apresentam-se as etapas metodológicas para avaliação das propriedades mecânicas e permeabilidade do concreto, preparado com agregados provenientes de resíduos sólidos da construção civil.

- Foram definidos os materiais componentes do concreto em avaliação: agregado graúdo granítico e reciclado, cimento e água;
- Definidos traços e relações água/cimento: proporção de mistura entre os materiais;
- Realização de ensaios de caracterização dos agregados graúdos: granulometria, massa específica, índice de absorção e determinação do teor de material pulverulento;
- Determinação de parâmetros que caracterizam o concreto permeável: resistência mecânica e coeficiente de permeabilidade;

Para a confecção do concreto utilizou-se o cimento CII E 32; brita granítica 0; agregado graúdo proveniente de resíduos sólidos da construção civil e água. O agregado reciclado foi adquirido na Serello Ambiental, localizada no município de Valinhos – São Paulo.

O ensaio da composição granulométrica seguiu os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR NM 248 (2003). Para este ensaio foram utilizadas duas amostras de

agregado graúdo, com 5 kg cada uma, o peneiramento foi feito de forma mecânica, conforme figuras 1, 2 e 3.



Figura 1 – Agregado granítico. Figura 2 – Agregado reciclado. Figura 3 – Agitador mecânico.

Os resultados dos ensaios de granulometria, apresentaram que ambas as amostras são caracterizadas como brita 0 com dimensão máxima de 12,5 mm.

O ensaio de determinação do teor de material pulverulento seguiu os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR NM 46 (2003). Para este ensaio foram utilizadas duas amostras de agregado graúdo, com 1 kg cada uma. Demonstrados nas figuras 4 e 5.



Figura 4 – Agregado granítico. Figura 5 – Agregado reciclado.

Após pesagem de 1 kg de cada amostra, foi realizada a lavagem conforme determinado pela norma ABNT NBR NM 46 (2003). Demonstrados nas figuras 6, 7, 8 e 9.



Figura 6: 1ª lavagem agregado reciclado. Figura 7: Última lavagem agregado reciclado.



Figura 8: 1ª lavagem agregado granítico. Figura 9: Última lavagem agregado granítico.

Após lavagem e 24h de estufa, para secagem das amostras, foi realizada a pesagem, representada nas figuras 10 e 11, possibilitando encontrar o percentual de material pulverulento de cada uma, demonstrado na tabela 1.



Figura 10 – Agregado reciclado seco. Figura 11 – Agregado granítico seco.

Tabela 1: Resultado do ensaio de material pulverulento.

Granítico (%)	Reciclado (%)
4,11	2,84

Fonte: Acervo do autor.

O agregado granítico apresentou maior percentual de material pulverulento se comparado ao agregado reciclado, interferindo na relação a/c.

A aferição da massa específica do agregado graúdo baseou-se na ABNT NBR NM 53 (2009) e utilizou-se o procedimento de ensaio estabelecido pela ABNT NBR NM 45 (2006). Para determinar a massa específica foi realizada a pesagem de 5kg para cada amostra. Demonstrados nas figuras 12, 13, 14, 15, 16 e 17 e tabela 2.



Figura 12: Pesagem do agregado granítico.

Figura 13: Pesagem do agregado reciclado.



Figura 14: Agregado granítico saturado.

Figura 15: Agregado granítico submerso.



Figura 16: Agregado reciclado saturado. Figura 17: Agregado reciclado submerso.

Tabela 2: Dados para ensaio de massa específica.

Amostras	Granítico (g)	Reciclado (g)
Seca	5000,20	5000,10
Saturada	5112,90	5366,60
Submersa	3156,80	3060,40

Fonte: Acervo do autor.

Após pesagem das amostras, foi possível determinar a massa específica e o teor de absorção do agregado granítico e reciclado. Conforme tabelas 3, 4, 5, e 6 respectivamente.

Tabela 3: Determinação da massa específica.

Granítico (g/cm³)	Reciclado (g/cm³)
2,56	2,17

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 4: Determinação da massa específica aparente.

Granítico (g/cm³)	Reciclado (g/cm³)
2,70	2,60

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 5: Determinação da massa específica saturada.

Granítico (g/cm³)	Reciclado (g/cm³)
2,60	2,30

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 6: Determinação do teor de absorção.

Granítico (%)	Reciclado (%)
2,50	7,30

Fonte: Acervo do autor.

O agregado granítico apresentou maiores resultados de massa específica se comparado ao reciclado. O teor de absorção do agregado reciclado, ficou consideravelmente acima se comparado ao granítico.

Com base em estudos experimentais, foram adotados como parâmetros usuais, quatro traços de diferentes proporções de agregados graúdos e relação água/cimento igual de 0,25 para todos. O consumo de materiais é demonstrado na tabela 7.

- Traço 0 – 100% agregado natural granítico – Relação a/c 0,25.
- Traço 1 – 10% agregado reciclado e 90% agregado natural granítico – Relação a/c 0,25.
- Traço 2 – 20% agregado reciclado e 80% agregado natural granítico – Relação a/c 0,25.
- Traço 3 – 30% agregado reciclado e 70% agregado natural granítico – Relação a/c 0,25.

Tabela 7: Consumo de materiais.

Traços	Nomenclatura	Cimento (kg)	Brita 0 (kg)	Reciclado (kg)	a/c
1:3	REF	12	36,00	0,00	0,25
1:3	T1	12	32,40	3,60	0,25
1:3	T2	12	28,80	7,20	0,25
1:3	T3	12	25,20	10,80	0,25

Fonte: Acervo do autor.

Para cada traço definido, dois corpos-de-prova cilíndricos 100 mm x 200 mm e dois prismáticos 100 mm x 100 mm x 350 mm foram moldados para ruptura em 7 dias, repetido o processo para rompimento em 28 dias. Demonstrado na figura 18.



Figura 18: Moldagem dos Corpos de prova.

De acordo com as diretrizes da ABNT NBR 5739:2018, foi realizado o ensaio de compressão axial para determinação da resistência a compressão. O ensaio de compressão foi realizado ao 7 e 28 dias após a moldagem e cura do concreto. Demonstrado na figura 19.



Figura 19: Ensaio de compressão axial.

Os resultados dos ensaios de compressão estão apresentados nas tabelas 8 e 9, e são a média de dois corpos-de-prova.

Tabela 8: Ensaio de compressão em 7 dias.

Corpo de prova	(kgf/cm²)	MPa
REF	59,36	6,05
T1	91,21	9,3
T2	57,71	5,88
T3	28,41	2,90

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 9: Ensaio de compressão em 28 dias.

Corpo de prova	(kgf/cm²)	MPa
REF	82,55	8,41
T1	103,57	10,56
T2	70,19	7,16
T3	31,34	3,19

Fonte: Acervo do autor.

Com base nos resultados apresentados nas tabelas 8 e 9 é possível verificar que os valores de resistência à compressão estão abaixo do especificado pela NBR 16416 (ABNT, 2015).

De acordo com as diretrizes da NBR 12142:2010, foi realizado o ensaio de tração na flexão para determinação da resistência a flexão do concreto. O ensaio de tração na flexão foi realizado aos 7 e 28 dias após a moldagem e cura do concreto. Demonstrado na figura 20.



Figura 20: Ensaio de tração na flexão.

Os resultados dos ensaios de tração na flexão estão apresentados nas tabelas 10 e 11, e são a média de dois corpos-de-prova.

Tabela 10: Ensaio de tração na flexão em 7 dias.

Traço	Carga (kgf)	Força (N)	Tensão (MPa)
REF	430	4218	1,48
T1	560	5494	1,92
T2	480	4709	1,65
T3	310	3041	1,06

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 11: Ensaio de tração na flexão em 28 dias.

Traço	Carga (kgf)	Força (N)	Tensão (MPa)
REF	430	4218	1,48
T1	570	5592	1,96
T2	590	5788	2,03
T3	400	3924	1,37

Fonte: Acervo do autor.

Com base nos resultados apresentados nas tabelas 10 e 11 é possível verificar que os valores de resistência a tração na flexão atenderam parcialmente a NBR 16416 (ABNT, 2015). Visto que os traços com exceção do T2 atenderam somente ao tipo de revestimento de concreto permeável moldado no local para tráfego de pedestres, enquanto que o T2 atendeu também para tráfego leve.

O ensaio de permeabilidade foi executado com um corpo de prova para cada traço. Foi utilizado um tubo de PVC de 75 mm com 40 cm de altura por corpo de prova, silicone para vedar o concreto ao tubo e um recipiente com água para o ensaio. O tubo foi fixado junto ao concreto com silicone de tal forma para não haver vazamento de água no momento do ensaio. Além disso, foi marcada por dentro e por fora do tubo a altura de 25 cm, correspondente ao volume de 1 litro de água, para cronometragem do ensaio.

Para o ensaio de permeabilidade, demonstrado nas figuras 21 e 22, o objetivo foi alcançar coeficiente maior que 10^{-3} m/s. Pois, quanto menor o tempo de escoamento d'água, maior o seu coeficiente, consequentemente mais permeável.



Figura 21: Ensaio de permeabilidade. Figura 22: Ensaio de permeabilidade.

No ensaio permeabilidade do concreto, obtiveram-se os seguintes resultados. O tempo de passagem de água em cada ensaio e a velocidade de escoamento é mostrado na tabela 12. Com base nos resultados apresentados na tabela 12 é possível verificar que os valores de permeabilidade atenderam a NBR 16416 (ABNT, 2015).

Tabela 12: Resultados do ensaio de permeabilidade.

Agregado	Traço	Hcorpo (cm)	L (cm)	Área da seção (cm ²)	Tempo (s)	Velocidade (cm/s)	Vazão (cm ³ /s)	k (cm/s)
Natural	REF	10	25	44,18	7,19	3,48	153,61	1,39
Reciclado	T1	10	25	44,18	7,90	3,16	139,81	1,27
Reciclado	T2	10	25	44,18	8,49	2,94	130,09	1,18
Reciclado	T3	10	25	44,18	5,79	4,32	190,75	1,73

Fonte: Acervo do autor.

4. Conclusão

No geral, para resistência a compressão, os melhores resultados foram do traço T1, enquanto que, para resistência a tração na flexão, os melhores resultados foram do traço T2. Para o coeficiente de permeabilidade, todos os traços atenderam o mínimo solicitado pela norma. Pensando na empregabilidade deste material, o traço T2 é o mais satisfatório, pois atende aos parâmetros de implantação para tráfego de pedestres e tráfego leve. O concreto estudado também contribui para uma destinação sustentável dos resíduos da construção civil, pois utiliza o mesmo em sua composição. Com relação a redução do escoamento superficial, é uma alternativa viável, devido ao seu elevado teor de permeabilidade.

5. Referências

- ACIOLI, L. **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Dissertação de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 2015.
- ARAÚJO, D. L. *et al.* **INFLUÊNCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO**, REEC, Dez. 2015 – Jun. 2016. Vol. 11, Nº 1, 16-34.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas: NBR 12142: **Concreto - Determinação da resistência a tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos**. (ABNT, 2010), Rio de Janeiro, 2010.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas: NBR 16416: **Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos**. (ABNT, 2015), Rio de Janeiro, 2015.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas: NBR 5739: **Ensaio de compressão em corpos-de-prova cilíndricos**, (ABNT 2007), Rio de Janeiro, 2007.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR NM 45: **Agregados - Determinação da massa unitária e volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR NM 46: **Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2006.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR NM 53: **Agregados graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- BELUSSI, A.C.O.; Máximo, P.P.; Rodrigues, P.S.H.: **Uso de concreto permeável em pavimentos drenantes**. Centro Universitário Toledo, Araçatuba/SP, 2016.
- CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos. 2005.
- EVARISTO, F. A. F. *et al.* **AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE DE PAVIMENTOS COM REVESTIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL**. Belém, Pará. CONTECC 2017.
- LI, J. **Mix Design of Pervious Recycled Concrete**. GeoHunan International Conference – Material Design, Construction, Maintenance, and Testinf of Pavements. V. 195, n. 15, p. 103–108, Ago. 2009.
- NIGRI, Ilan Ricardo. **Pavimento Concreto Permeável** – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2017.