



Utilização de concreto permeável produzido com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição para aplicação em calçadas e áreas de tráfego leve.

Use of permeable concrete produced with recycled aggregates from construction and demolition waste for application on sidewalks and light traffic areas.

Santos, S. M. A. G.¹.

Graduando, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Ferreira Júnior, E. L.²

Professor Me., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

¹sergioguedeseng@gmail.com; ²epaminondas@pucgoias.edu.br

RESUMO: O crescimento populacional nos centros urbanos e a consequente necessidade da expansão dos elementos públicos, implicou no surgimento de diversos problemas sociais, dentre tantos, a geração de resíduos e a impermeabilização do solo. Diante desse cenário, percebeu-se a importância de estudar alternativas capazes de mitigar a quantidade de resíduos sólidos descartados em aterros, e também de apresentar uma proposta sustentável do uso desses resíduos, a partir da implantação de pavimentos permeáveis advindo da utilização de resíduos de construção e demolição – RDC. Tal medida pode contribuir com um acréscimo significativo da infiltração das águas pluviais no solo, aumentando a recarga de água subterrânea e reduzindo a quantidade e a velocidade do escoamento superficial de água nos centros urbanos. Assim, esse trabalho estudou a eficácia do concreto permeável fabricado a partir da utilização de RDC, em substituição parcial e/ou total dos agregados minerais na fabricação de placas de concreto permeável. Para tanto, foram feitas misturas de concreto utilizando agregados provenientes de RDC, e suas propriedades mecânicas – resistência à compressão e à tração, e físicas – permeabilidade, foram verificadas. Os resultados obtidos demonstraram que para as misturas estudadas, os concretos com RDC apresentaram resultados satisfatórios, atendendo aos critérios mínimos normativos para produção de placas de concreto permeável.

Palavras-chaves: concreto permeável, resíduos de construção e demolição, drenagem urbana, placas de concreto.

ABSTRACT: Population growth in urban centers and the consequent need for expansion of public elements, resulted in the emergence of various social problems, among many, the generation of waste and soil sealing. Given this scenario, the importance of studying alternatives capable of mitigating the amount of solid waste discarded in landfills, and also of presenting a sustainable proposal for the use of these wastes, from the implementation of permeable pavements arising from the use of construction waste, was perceived. and demolition – RDC. Such a measure can contribute to a significant increase in the infiltration of rainwater into the soil, increasing groundwater recharge and reducing the amount and speed of surface water runoff in urban centers. Thus, this work studied the effectiveness of permeable concrete manufactured from the use of RDC, in partial and/or total replacement of mineral aggregates in the manufacture of permeable concrete slabs. For this purpose, concrete mixtures were made using aggregates from RDC, and their mechanical properties – compressive and tensile strength, and physical – permeability, were verified. The results obtained showed that for the studied mixtures, the concretes with RDC presented satisfactory results, meeting the minimum normative criteria for the production of permeable concrete slabs.

Keywords permeable concrete, construction and demolition waste, urban drainage, concrete slabs.

Área de Concentração: 01 – Construção Civil

1 INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado dos grandes centros urbanos trouxe a necessidade da expansão dos elementos públicos que afetou diretamente a impermeabilização do solo e uma das consequências desse adensamento urbano é a crescente redução de áreas necessárias para absorção de águas pluviais. Com essa impermeabilização de grande parte do solo, vê-se o aumento da quantidade e velocidade de águas que escoam pela superfície em direção as áreas ribeiras e dutos artificiais.

Outra consequência causada pelo desenvolvimento acelerado dos centros urbanos é a geração de resíduos, e dentre eles, os descartes de resíduo sólidos pela construção Civil. Os resíduos de construção e demolição – RCD é um exemplo clássico de materiais provenientes da construção civil que provocam impactos ambientais muito grandes. A geração desses resíduos advém de novas construções, manutenções, reformas e demolições, (JONH E AGOPYAN, 2000).

Diante desse cenário, percebeu-se a importância de estudar alternativas capazes de mitigar a quantidade de resíduos sólidos descartados em aterros. E como uma proposta sustentável do uso desses resíduos, a implantação de pavimentos permeáveis advindo da utilização de resíduos de construção e demolição é uma medida que propicia um acréscimo significativo da infiltração das águas de chuva no solo, aumentando a recarga de água subterrânea e reduzindo a quantidade e velocidade do escoamento superficial de água nos centros urbanos.

Esse trabalho tem como objetivo estudar a eficácia do concreto permeável, fabricado a partir da utilização de resíduos da construção civil, em substituição parcial e/ou total dos agregados minerais convencionais, para a elaboração de pavimentos permeáveis, aplicados em áreas de tráfego leve, como: calçadas de pedestre, passeios públicos e áreas internas descobertas de edificações.

A utilização de um pavimento em concreto permeável fabricado a partir de material reciclado, em áreas propícias a esse sistema, irá reduzir a quantidade de resíduos da construção civil descartadas em aterros, diminuir a extração de matéria prima não renovável e contribuir para reter parte das águas pluviais diminuindo as vazões nos condutos e canais artificiais, minimizando os impactos causados durante o período chuvoso.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Resíduos de construção e demolição

A Resolução Nº 307 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2002), define o RCD da seguinte forma:

“Resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras da construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solo, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telha, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”.

Ainda de acordo com essa Resolução os resíduos da construção civil são classificados, de acordo com sua origem, ou classe, da seguinte forma: Classe A – São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis, como agregados. Estes são provenientes de construções, reformas, reparos e demolição de obras de construção civil e os resultantes da preparação e escavação de terrenos; Classe B – São os resíduos recicláveis para outras destinações; Classe C – São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; Classe D – São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção.

As quantidades de resíduos provenientes de construção e demolição não são pequenas e estes materiais não possuem um local regular para disposição. A deposição inadequada além de comprometer a paisagem, produz efeitos negativos quanto a questões ambientais, de saneamento e saúde pública. Nesse sentido, é muito importante pensar em formas viáveis de recicla-los.

Ainda de acordo com a Resolução Nº 307 do CONAMA, os geradores devem ter com objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Para Scremin (2007) os benefícios também são muitos, dentre eles estão à preservação das reservas de matérias primas não renováveis, o aumento de vida útil em aterros de inertes além da economia na aquisição de agregados, com a substituição de agregados naturais por reciclagem de entulhos.

Das várias possibilidades de aproveitamento de resíduos, a reciclagem de RCD pode ser aplicada para diversos fins, tais como: utilização em pavimentação na forma de brita corrida, como agregado para concreto de fins não estruturais, como agregado para confecção de argamassa de assentamento e revestimento, além de cascalhamento de estradas, preenchimentos de vazios em construções, preenchimento de valas de instalações, reforços de aterros, entre outros (ABRECON, 2020).

Vale ressaltar que independente da aplicação do RCD, o resíduo deve passar por processos de beneficiamento antes de se tornar um agregado reciclado, obedecendo alguns critérios estabelecidos por uma série de normas técnicas, as quais têm por objetivo estabelecer requisitos para aplicação de agregados reciclados em obras de engenharia (PIZONI, 2019).

2.2 Concreto Permeável

Lamb (2014) define concreto permeável como sendo um material cuja uma das principais características é apresentar uma grande quantidade de vazios interligados entre si que permitem a passagem de fluidos de forma facilitada, resultando em uma elevada permeabilidade.

Segundo Batezini (2013), o pavimento permeável é caracterizado por elevada porosidade e maior facilidade para drenagem. O autor comenta que devido a sua capacidade de deixar a água infiltrar através de sua estrutura porosa, a utilização dessas estruturas quando projetadas e implantadas podem contribuir para diminuição das vazões de picos que ocorrem durante um evento chuvoso.

A norma NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos (ABNT, 2015) considera três diferentes maneiras de infiltração de água, quais sejam: infiltração total - a água é direcionada ao subleito; infiltração parcial - apresenta uma tubulação de drenagem para complementar a infiltração ou sem infiltração; sem infiltração - a água é direcionada para uma tubulação de drenagem.

Segundo Lamb (2014), o concreto permeável apresenta bom desempenho e boa durabilidade quando utilizado em revestimento de pavimento em áreas de veículos leves, o que devido a sua capacidade drenante, permite seu emprego como equipamento urbano de mitigação dos níveis de impermeabilização intensificados pela grande urbanização das cidades.

No entanto, segundo Fernandes e Melo (2020), a baixa resistência mecânica e necessidade de manutenção

regular são fatores que demonstram desvantagem para esse tipo de revestimento em relação a outros materiais utilizados na fabricação desse sistema.

Os agregados reciclados de construção civil são heterogêneos e possuem uma porosidade mais elevada em relação aos agregados obtidos por meio de rochas comumente utilizados na produção de concreto. Essa porosidade pode resultar em um concreto mais poroso e como consequência pode haver a diminuição da resistência à compressão. Por outro lado, quando utilizado em pavimentos permeáveis a porosidade presente pode ser uma vantagem uma vez que o objetivo é aumentar a capacidade de drenagem dos elementos (TAVARES E KAZMIERCZAK, 2016).

De acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015), o pavimento permeável, independente do tipo de revestimento adotado, deve apresentar, quando recém-construído, um coeficiente de permeabilidade maior que 10^{-3} m/s, devendo ser avaliado em campo após a execução do pavimento pelo método do anexo A da referida norma.

3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos determinados nesta pesquisa, realizou-se procedimentos experimentais para avaliação mecânica e física de misturas de concreto confeccionados com teores variados de resíduos de demolição e construção, utilizados em substituição total ou parcial do agregado natural. Tais procedimentos foram divididos nas seguintes etapas:

3.1 Coleta, trituração e peneiramento dos agregados reciclados de construção e de demolição.

Os agregados reciclados provenientes de resíduos de demolição e construção – RDC utilizados nesse estudo foram obtidos a partir do descarte de resíduos de construções e demolições, por empresas de construção civil, e totalmente doados, já na condição triturada, pela empresa RNV Gestões e Soluções em Resíduos.

Na referida empresa, o material coletado é homogeneizado e triturado em dimensões granulométricas variadas. Para se obter a granulometria desejada ao uso na mistura, qual seja, agregado com diâmetro máximo característico – DMC, entre 6,3 mm e 12,5 mm – o material foi separado mecanicamente por um processo de peneiramento (Figura 1).

Figura 1 – Agregado RCD britado e peneirado.



Fonte: Próprio Autor (2021).

3.2 Caracterização dos Materiais

Os materiais utilizados nas misturas, apresentaram as seguintes características, mostradas na tabela 1:

Tabela 1 – Características dos materiais utilizados

Agregados			
Tipo	Natural	RDC	Norma Técnica
Dimensão Máxima Característica (mm)	12,5	12,5	NBR NM 248/2003
Módulo de Finura	6,43	6,44	NBR NM 248/2003
Massa Unitária (kg/dm ³)	1,54	1,31	NBR NM 45/2009
Massa Específica (g/cm ³)	2,72	2,21	NBR NM 52/2009
Absorção (%)	0,82	9,5	NBR NM 52/2009
Cimento Portland			
Tipo	CPV ARI	Norma Técnica	
Massa Específica (g/cm ³)	2,98	NBR NM 23/2001	
Finura (%)	1,8%	NBR 11579/2012	
Aditivo			
Tipo	Superplastificante	Norma Técnica	
Base Química	Policarboxilato	Dados do fabricante	
Teor de Sólidos	29%	Dados do fabricante	
Densidade (kg/l)	1,10 ±0,2	Dados do fabricante	

3.3 Definição dos traços

O concreto permeável foi produzido a partir da mistura de Cimento Portland, agregados graúdos, água e aditivo

superplastificante. Para produção das amostras, foram adotadas três misturas, variando a quantidade de agregado em cada uma delas, e mantendo a mesma relação água / cimento, assim nominadas: Mistura I (AGN), constituída de 100% de agregado graúdo natural; Mistura II (AGRDC100), constituída de 100% agregado graúdo de RDC, e Mistura III– (AGRCD) constituída de 50% de agregado graúdo natural e 50% de agregado graúdo de RDC. As proporções básicas para confecção do concreto foram adaptadas do estudo de dosagem experimental de Paula Júnior (2019) sobre o uso de agregados proveniente de resíduo de concretos em substituição ao agregado graúdo para utilização em concreto permeáveis.

No entanto, dada as características do material utilizado nessa pesquisa, que possui alto teor de absorção, fez-se necessário alterar as proporções de agregado, mantendo a mesma relação água /cimento das misturas. As proporções de cada mistura, e respectivo consumo de materiais, estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Consumos dos materiais utilizados

Consumo do cimento, água e agregados utilizados.						
Mistura	Cimento (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	AGN (kg/m ³)	AGCD (kg/m ³)	Aditivo (g)	a/c
I (AGN)	505,61	166,85	1799,97		400	0,33
II (ARCD100)	675,02	222,93		1211,64	476	0,33
III (ARDC50)	571,35	188,00	753,92	753,92	403	0,33

O agregado proveniente de resíduos de construção e demolição apresenta uma grande porosidade, o qual pode ser observado na taxa de absorção apresentada na Tabela 2. Já o agregado natural tem quase 12 vezes menos absorção que o de RCD. Dito isso, por essa diferença foi necessário o ajuste nos traços, já que a água que era necessária para dar trabalhabilidade na mistura 100% natural não foi suficiente para homogeneizar, quando se adicionava o agregado de RCD.

3.4 Moldagem e cura dos corpos de prova e das placas de concreto permeável

Para cada mistura, foram moldados 8 corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, conforme NBR5738 (ABNT, 2016), 4 vigas de 100x100x400 mm, para ensaio de resistência à tração na flexão, conforme NBR 12142 (ABNT, 2019) e duas placas de dimensões (L x C x H) de 50 x 50 x 6 cm para determinação de coeficiente de permeabilidade, de

acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015). Após moldagem, as amostras foram mantidas em câmara úmida até a idade de ensaio. As amostras foram ensaiadas nas idades de 7 e 28 dias (resistência mecânica) e aos 28 dias para avaliação da permeabilidade.

3.5 Ensaios mecânicos para a avaliação da resistência à compressão e à tração das amostras de concreto.

O ensaio de resistência mecânica à compressão das amostras foi realizado conforme descrito pela norma NBR 5739 (ABNT, 2018). O equipamento utilizado foi a prensa EMIC PC100, com capacidade máxima de 100 toneladas – Figura 2.

Figura 2 – Ensaio de compressão axial.



Fonte: Próprio Autor (2021).

O ensaio de resistência mecânica à tração na flexão, foi realizado conforme NBR 12142 (ABNT, 2019) – Figura 3. O cálculo para a determinação da resistência à tração na flexão está indexado à forma de ruptura da amostra.

Figura 3 – Posicionamento e análise de fissuras no ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Adaptado da NBR 12142 (ABNT, 2019).

As fórmulas para cálculo da resistência à tração na flexão estão apresentadas nas Equações (1) e (2):

$$f_{ct,f} = \frac{p * l}{b * d^2} \quad \text{(Equação 1)}$$

Se caso a ruptura da amostra ocorra fora do terço médio, a uma distância deste não superior a 5% de l , a resistência à tração na flexão deve ser calculada pela equação 2

$$f_{ct,f} = \frac{3 * f * a}{b * d^2} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

$f_{ct,f}$ é a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);

f é a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em newtons (N);

l é a dimensão do vão entre apoios, expressa em milímetros (mm);

b é a largura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

3.6 Ensaio físico para a avaliação da permeabilidade das placas de concreto.

O ensaio de permeabilidade foi realizado conforme prescreve a norma NBR 16416 (ABNT, 2015). Para esse ensaio, as placas de concreto foram limpas de modo a não ter sedimentos e outros materiais aderidos à placa que possam interferir nas medições efetuadas. Assim, um anel de infiltração foi posicionado e vedado com massa de calafetar na área de contato com a placa, para que não houvesse vazamento nas laterais - Figura 4.

Figura 4 – Equipamento para ensaio de permeabilidade.



O coeficiente de permeabilidade é dado pela Equação (3).

$$k = \frac{C * m}{(d^2 * t)} \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

k = Coeficiente de Permeabilidade (mm/h);

m = Massa de água (kg);

d = Diâmetro do cilindro de infiltração (mm);

t = Tempo de percolação de toda massa de água;

C = Fator de conversão de unidades do sistema SI, expressando valor igual a 4583666000.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros mínimos exigíveis pela NBR 16416

Para aplicação de concretos permeáveis, sejam eles em placas, pavers ou moldados in loco, a NBR 16416 preconiza que o projeto de um pavimento deve considerar o uso e o local de implementação do pavimento, atendendo concomitantemente aos dimensionamentos mecânicos e hidráulicos, e então apresenta parâmetros mínimos exigíveis conforme a finalidade do elemento. Estes parâmetros, e respectivos ensaios, são apresentados na Tabela 3

Tabela 3 – Parâmetros mecânicos para concretos permeáveis

Tipo de revestimento	Tipo de Solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência Mecânica característica (MPa)	Método de Ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou área vazadas)	Tráfego de pedestres	60	≥35,0 ^a	NBR 9781
	Tráfego leve	80		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60	≥20,0 ^a	NBR 9781
	Tráfego leve	80		
Placa de concreto Permeável	Tráfego de pedestres	60	≥2,0 ^b	NBR 15805
	Tráfego leve	80		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60	≥1,0 ^c	NBR 12142
	Tráfego leve	100	≥2,0 ^c	

a – Determinação da resistência à compressão, conforme ABNT NBR 9781
 b – Determinação da resistência à flexão, conforme ABNT NBR 15805
 c – Determinação da resistência à tração na flexão, conforme ABNT NBR 12142

4.2 Resistência mecânica à compressão

Conforme apresentado, a NBR 16416 (ABNT, 2015) não apresenta exigências quanto a resistência à compressão em placas de concreto permeável. No entanto, este trabalho optou por realizar tais ensaios, para que os resultados fossem tidos como parâmetros acadêmicos. Tais resultados estão apresentados na Tabela 4.

Observa-se que os melhores valores de resistência à compressão foram obtidos pela mistura I, utilizando o agregado natural. Ainda que com teores maiores no consumo de cimento, a substituição do agregado natural por agregado proveniente de RDC (Misturas II e III), apresentaram decréscimo de resistência em relação a mistura I e é tanto maior, quanto maior o índice de substituição do agregado natural pelo agregado de RDC. Esse fato se deve a natureza da composição granulométrica do agregado de RDC, que nestes teores de substituição estudados (50% e 100%) tornam a mistura seca, e pouco coesa. Tais resultados eram esperados e foram também obtidos no trabalho de Fernandes e Melo (2020), que apontou que uma das características que o concreto permeável pode apresentar é uma resistência à compressão menor quando comparada ao um concreto tradicional.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios a compressão.

Resultados do teste de compressão axial – 07 dias						
		TENSÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MEDIA SANEADA	DESVIO PADRÃO
100% Natural (I)	CP1	10,24	12,59	18,67	10,31	0,711
	CP2	9,77		22,40		5,268
	CP3	10,93		13,19		5,979
	CP4	19,42		54,25		
100% RCD (II)	CP1	7,82	7,65	2,29	8,32	5,972
	CP2	5,63		26,36		
	CP3	8,75		14,45		5,210
	CP4	8,38		9,61		0,762
50% RCD + 50% Natural (III)	CP1	9,53	9,49	0,42	9,81	2,821
	CP2	9,59		1,05		2,209
	CP3	8,54		10,01		
	CP4	10,3		8,54		5,031

Resultados do teste de compressão axial – 28 dias						
		TENSÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MEDIA SANEADA	DESVIO PADRÃO
100% Natural (I)	CP1	8,20	8,50	3,50	8,23	0,365
	CP2	8,07		5,03		1,944
	CP3	8,42		0,91		2,309
	CP4	9,30		9,44		
100% RCD (II)	CP1	5,93	5,26	12,79	5,80	2,300
	CP2	3,64		30,77		
	CP3	5,45		3,66		5,980
	CP4	6,01		14,31		3,680
50% RCD + 50% Natural (III)	CP1	8,02	7,39	8,56	8,12	1,191
	CP2	7,80		5,58		3,901
	CP3	5,20		29,61		
	CP4	8,53		15,47		5,092

Percebe-se que, em todas as misturas há uma queda da resistência à compressão na idade de 28 dias. Essa queda está associada a grande porosidade do concreto, característica principal desse material. Em concretos plásticos, em que se aplica a Lei de Abrams, com o avanço da idade aumenta a taxa de hidratação do cimento e conseqüentemente, a consumo de água, o que proporciona uma diminuição dos poros e um aumento da resistência do concreto. Já nos concretos porosos acontece o inverso, nas primeiras idades os poros estão menores, à medida que ocorre a hidratação do cimento e a perda de água, esses poros se unem amentando cada vez mais os vazios do concreto criando assim, os macro poros. Esse amento de porosidade acaba diminuído a resistência, entretanto, aumenta a permeabilidade, característica principal procurada nessa pesquisa.

4.3 Resistência mecânica à tração por flexão

Para a resistência mecânica à tração a NBR 16416 estabelece para concreto permeável moldado no local com tipo de solitação sendo de tráfego leve um valor superior ou igual à 2,0 MPa.

Os resultados deste ensaio estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios a tração na flexão.

Mistura	Tensão Média (MPa) x idade	
	7 dias	28 dias
I (AGN)	4,76	3,45
II (ARDC100)	2,87	2,31
III (ARDC50)	3,44	2,99

Pelos dados apresentados, observa-se que os valores para as três misturas foram superiores ao exigido pela norma.

Da mesma forma que observado nos resultados de resistência à compressão, os melhores valores de resistência à tração na flexão foram obtidos pela mistura I, utilizando o agregado natural, nesse caso, também a substituição do agregado natural por agregado proveniente de RCD (Misturas II e III), apresentaram decréscimo de resistência em relação a mistura I, quanto maior o índice de substituição do agregado natural pelo agregado de RCD.

Novamente, se nota a queda de resistência, também na tração por flexão, de 7 para 28 dias.

4.4 Permeabilidade

Os resultados para o coeficiente de permeabilidade das misturas, realizado conforme orientação normativa, são apresentados a seguir na Tabela 5.

A NBR 16416 (ABNT, 2015) estabelece que os valores mínimos do coeficiente de permeabilidade do pavimento recém-construído, para todos os tipos de pavimento permeável, devem ser maiores que 10^{-3} m/s ou 0,001 m/s.

Tabela 5 – Coeficientes de Permeabilidade obtidos para as misturas

Mistura	Tempo de Pré-molhagem (s)	Tempo de percolação da massa de água (s)	Coeficiente de Permeabilidade (mm/h);	Coeficiente de Permeabilidade médio (m/s);
I	37	30,61	5.609,56	$3,02 \times 10^{-3}$
	17	53,18	16.144,10	
II	7	16,5	52.032,91	$1,63 \times 10^{-2}$
	5	13,1	65.537,64	
III	7	23,01	37.311,74	$9,26 \times 10^{-3}$
	9	29,23	29.371,98	

Observa-se pelos resultados apresentados na Tabela 5 que todas as misturas apresentaram resultados de permeabilidade maiores que o mínimo exigido por norma.: 0,00302 m/s; 0,0163 m/s; 0,00926 m/s, respectivamente.

Os resultados obtidos pelas amostras com substituição de agregado de RCD apresentam maiores resultados de permeabilidade, o que é um fato consistente, dada a maior porosidade dessas misturas. No entanto, a

permeabilidade não pode estar associada somente ao número de poros, mas a forma com que esses poros se estruturam, facilitando ou não a passagem da água através deles.

Assim, a mistura com utilização de agregado natural (Mistura I – AGN) possui uma estrutura porosa mais organizada, que apesar de porosa, não é permeável, em função de que, para essa característica, os poros devem estar conectados, permitindo a passagem do fluido. E ainda, tal mistura foi a que apresentou maior teor de pasta, quando comparada as outras misturas, concentrando grande quantidade de pasta na parte inferior da placa, reduzindo a sua permeabilidade.

5 CONCLUSÕES

Os ensaios realizados para as misturas estudadas mostraram que é possível a utilização de agregados reciclados a partir de resíduos de demolição e construção em placas de concreto para uso em calçadas e pisos de baixo tráfego. Para a mistura com substituição de 50% do agregado natural por agregado RDC, os valores obtidos nos testes de resistência à tração por flexão mostraram desempenho de até 50% acima do valor mínimo exigido por norma. Também, o teste para permeabilidade, fator relevante para esse estudo, obteve resultados expressivos, visto que todas as misturas ficaram acima do valor exigido por norma e as misturas com RCD apresentaram os maiores valores de coeficiente de permeabilidade, no caso da mistura II, cerca de 56% maior que a mistura I, produzida com agregado natural.

Tão importante quanto obter resultados quantitativos de propriedades físicas e mecânicas satisfatórios, é não negligenciar a importância da utilização destes materiais com vista à sustentabilidade. É real e visível a enorme quantidade de resíduos de construções e demolições que são diariamente destinados ao aterro sanitário, e esse trabalho comprovou que com projetos e estudos voltados para a utilização e reciclagem desses materiais poderá obter benefícios econômicos, social e ambiental, como por exemplo, na utilização de pisos drenantes obtidos a partir da reciclagem e reutilização de resíduos.

Como sugestão para continuação dos estudos e prosseguimento da pesquisa, sugere-se o estudo de outros teores de adição de agregado de RDC, inferiores a 50%, e com variação da composição granulométrica, com dimensões entre 4,8 mm e 6,3 mm.

6 AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida.

À minha família, minha esposa, pelo apoio durante toda essa jornada.

A RNV por ter doado o material utilizado nesse estudo e torná-lo possível.

Ao professor Epaminondas por ter aceitado o convite para ser meu orientador e desde então tem se empenhado para me ajudar na realização deste trabalho.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR5738 - Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR 12142 - Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto: Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR NM 11.579: 2012 – Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR NM 23: 2001 – Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR NM 52: 2009 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR NM 248: 2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BATEZINI, R. Estudo preliminar de concreto permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves. São Paulo, 2013, 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n ° 307, de 05 de julho de 2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

FERNANDES, G.S.; MELO, C.E.L. de. Estudos das características físicas e hidráulicas de concretos permeáveis com RCD. Paranoá: Cadernos De Arquitetura E Urbanismo nº26, p. 205-218, 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Desastres naturais: 59,4% dos municípios não têm plano de gestão de riscos, 2019. Disponível em <<https://censo2021.ibge.gov.br/2012-agencia-de-noticias/noticias/21633-desastres-naturais-59-4-dos-municipios-nao-tem-plano-de-gestao-de-riscos.html>> Acesso em: 27 de setembro de 2020.

LAMB, G.S. Desenvolvimento e Análise do desempenho de elementos de drenagem fabricados de em concreto permeável. Porto Alegre, 2014, 152p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PAULA JÚNIOR, A.C. Estudo do potencial de aplicação de resíduo de concreto em substituição ao agregado graúdo para concreto permeáveis. 141p., il. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2019.

SCREMIN, L.B. Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição para municípios de pequeno porte. Florianópolis, 2007, 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina.

TAVARES, L.M.; KAZMIERCZAK, C.S. Estudo da influência dos agregados de concreto reciclado em concretos permeáveis. Revista IBRACON, V.9, p. 75 – 90, fevereiro, 2016.

RESOLUÇÃO n° 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante **SÉRGIO MURILO DE ALMEIDA GUEDES DOS SANTOS** do Curso de **ENGENHARIA CIVIL**, matrícula **2015.2.0025.0815-8**, telefone: **61 98266-2019**, e-mail: sergioguedeseng@gmail.com na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autorizam a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **UTILIZAÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PRODUZIDO COM AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA APLICAÇÃO EM CALÇADAS E ÁREAS DE TRÁFEGO LEVE** gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 17 de dezembro de 2021.

Assinatura do autor:



Nome completo do autor: **SÉRGIO MURILO DE ALMEIDA GUEDES DOS SANTOS**

Assinatura do professor orientador:



Nome completo do professor-orientador: **EPAMINONDAS LUIZ FERREIRA JÚNIOR**