

Concreto permeável com agregado da reciclagem de resíduos da construção e demolição: revisão bibliográfica**Permeable concrete with aggregate from construction and demolition waste recycling: literature review**

DOI:10.34117/bjdv6n9-684

Recebimento dos originais: 01/09/2020

Aceitação para publicação: 28/09/2020

Kelly Patrícia Torres Vieira Brasileiro

Especialista em Planejamento Urbano e Ambiental - UNIRV

Instituição atual: Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde

Endereço: Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Rio Verde, Goiás

e-mail: kellypatriciatv@hotmail.com

Bacus de Oliveira Nahime

Doutor em Ciências dos Materiais - UNESP

Instituição atual: Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde

Endereço: Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Rio Verde, Goiás

e-mail: bacusnahime@ifgoiano.edu.br

Michell Macedo Alves

Doutor em Engenharia de Estruturas - Universidade de São Paulo

Instituição atual: Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde

Endereço: Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Rio Verde, Goiás

e-mail: michell.macedo@ifgoiano.edu.br

Pâmela Millena Kunan

Especialista em Planejamento Urbano e Ambiental - UNIRV

Instituição atual: Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde

Endereço: Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Rio Verde, Goiás

e-mail: pamelakunan@gmail.com

Vitor Alvares

Mestrando em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade

Instituição: Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde

Endereço: Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Rio Verde, Goiás

e-mail: alvares.vitor@gmail.com

Igor Soares dos Santos

Mestrando em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade

Instituição: Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde

Endereço: Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Rio Verde, Goiás

e-mail: igorsoaresdosantos@gmail.com

Janekelly Vilela Santos

Pós-Graduanda em Projeto, Dimensionamento de Estruturas e Fundações
Instituição: Universidade de Rio Verde - UNIRV
Endereço: Fazenda Fontes do Saber, CP 104, CEP 75901-970, Rio Verde, Goiás
e-mail: jane.kelly.vilela@hotmail.com

Fausto Arantes Lobo

Mestre em Geotecnia e Construção Civil - UFG
Instituição atual: Universidade de Rio Verde - UNIRV
Endereço: Fazenda Fontes do Saber, CP 104, CEP 75901-970, Rio Verde, Goiás
e-mail: faustolobo@gmail.com

RESUMO

O concreto permeável contribui para o desenvolvimento sustentável. Utilizado na pavimentação externa contribui de forma positiva para amenizar os impactos do escoamento superficial das águas pluviais, pois permite que a água da chuva infiltre totalmente ou parcialmente no solo, aliviando o sistema de drenagem e diminuindo a velocidade da água. Esse projeto de revisão bibliográfica tem como objetivo avaliar qual a melhor dosagem e os melhores métodos de substituição dos agregados da reciclagem de resíduos da construção e demolição em concreto permeável em conformidade com a norma NBR 16416/2015. Visa buscar um estudo granulométrico desse resíduo e uma melhor proporção de substituição parcial do agregado em concreto permeável para continuação do estudo na fase experimental. O uso do agregado de resíduos de construção e demolição contribuirá para a destinação correta dos resíduos provenientes da construção civil. O estudo resume os ensaios e resultados de vários autores sobre o tema concreto permeável. Estruturou em tópicos que avalia a granulometria do agregado, absorção de água, resistência à compressão, resistência à tração, permeabilidade e microestrutura. Os resultados são comparados com os limites especificados em normas vigentes.

Palavras-chave: Concreto permeável, resíduos da construção civil, pavimentação.

ABSTRACT

Permeable concrete contributes to sustainable development. Used in external paving, it contributes positively to mitigate the impacts of the runoff of rainwater, as it allows rainwater to fully or partially infiltrate the soil, relieving the drainage system and decreasing the speed of the water. This literature review project aims to assess the Best dosage and the Best methods of replacing aggregates for recycling construction and demolition waste in permeable concrete in accordance with NBR 16416/2015. It aims to seek a granulometric study of this residue and a better proportion of partial replacement of the aggregate in permeable concrete to continue the study in the experimental phase. The use of construction and demolition waste aggregate will contribute to the correct disposal of waste from civil construction. The study summarizes the essays and results of several authors on the concrete permeable theme. Structured in topics that assesses the aggregate granulometry, water absorption, compressive strength, tensile strength, permeability and microstructure. The results are compared with the limits specified in current regulations.

Keywords: Permeable concrete, construction waste, paving.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento acelerado das cidades, dos centros urbanos e a ocupação desordenada resultam em áreas com pouca permeabilidade, diminuindo o escoamento superficial, e ocasiona problemas de drenagem, inundações e alagamentos. O concreto permeável utilizado na pavimentação externa contribui de forma positiva para amenizar os impactos do escoamento superficial das águas pluviais, pois permite que a água da chuva infiltre totalmente ou parcialmente no solo, aliviando o sistema de drenagem e diminuindo a velocidade da água (TUCCI, 2006).

O concreto permeável apresenta vários benefícios ambientais, a redução de escoamento e melhoria da infiltração de águas pluviais, melhoria da resistência à derrapagem da superfície do pavimento, melhoria da qualidade da água subterrânea e redução do efeito ilha de calor (XIE et al., 2019).

É considerado um concreto especial por possuir alto conteúdo de vazios e alta permeabilidade se comparados com o concreto convencional, por possuir elevada porosidade e boa drenabilidade. Permitem a passagem de água e podem ser usados para reduzir a taxa de escoamento de águas pluviais, absorção acústica e isolamento térmico. Considerado material ecológico, durável, sustentável, pode ser usado em diversas aplicações na engenharia civil e arquitetura, como em áreas de parques, áreas com pouco tráfego, passarelas para pedestres e ciclovias. Estudaram e entendem que pode ser possível usar agregado reciclado como agregado grosso em concreto permeável e obter propriedades semelhantes às feitas com agregados naturais (ZAETANG et al., 2016).

O projeto de concreto permeável com substituição parcial do agregado brita por agregado oriundo de resíduos da construção e demolição visa a reutilização e reciclagem dos resíduos da construção civil na tentativa de reduzir os impactos gerados pela indústria da construção civil e todos os setores envolvidos no processo. É um processo que reduz as áreas de extração dos agregados naturais e preserva os recursos naturais (MATAR & BARHOUN, 2020).

O concreto permeável com agregados reciclados é considerado duplamente sustentável, primeiro por permitir a passagem de água e ar através de suas camadas, permitindo que parte ou a totalidade da água infiltrada seja captada e conduzida por um destino correto ou simplesmente absorvida pelo subsolo e, segundo, por utilizar parte dos agregados oriundos da reciclagem. (ZAETANG et al., 2016).

Grandes quantidades de resíduos de construção e demolição são produzidos a cada ano e esses resíduos são enviados para aterros sanitários ou descartados de forma incorreta em vias públicas, lotes vazios, estradas vicinais e margem de rios e represas. O descarte desses resíduos é um problema social e ambiental. O uso dos resíduos de construção e demolição como agregados na produção de concreto contribui para reduzir o problema do armazenamento e destino dos resíduos,

possibilitando um destino correto aos entulhos e preservando os recursos naturais de agregados (ZAETANG et al., 2016).

Além de diminuir o consumo de agregados naturais, tem-se uma redução de custos, energia e poluição ao reduzir a extração e transporte (YAP et al., 2018).

Ao observar os países da União Européia, aproximadamente 46% dos resíduos de construção e demolição são reciclados. Desenvolveram estudos de classificação padrões de agregados reciclados e com testes desses agregados, fonte e conteúdo de resíduos. Uma maneira eficaz de eliminar o problema de desperdício na construção civil é reutilizar, reciclar e reduzir os materiais de construção (OZALP et al., 2016).

Os resíduos gerados pela construção civil podem ser utilizados na composição do concreto permeável com aplicação em tráfego leve, como calçadas, pistas de caminhada e ciclovias. A substituição parcial do agregado brita por agregado de resíduos promove uma destinação adequada destes, em atendimento a Resolução 307 CONAMA 2002. A fim de viabilizar o aproveitamento dos resíduos gerados pela construção civil em concreto permeável, através da usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição do Município de Rio Verde, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o assunto, o qual sinaliza mais estudos sobre as proporções e granulometria a serem utilizadas em conformidade com a norma NBR 16416/2015.

O objetivo da pesquisa foi realizar uma revisão literária para avaliar qual a melhor dosagem e os melhores métodos de substituição dos agregados da reciclagem de resíduos da construção e demolição em concreto permeável em conformidade com a norma NBR 16416/2015.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O embasamento teórico foi realizado a partir de uma revisão bibliográfica com consultas à norma ABNT NBR 16416/2015, em livros e revistas científicas consultadas através das plataformas ScienceDirect e Scielo.

Os assuntos abordados foram concreto permeável e concreto permeável com agregados da construção e demolição.

Após definido o banco de dados para a seleção dos artigos e elaboração da revisão atualizada, iniciou a busca a partir da definição das palavras-chave: concreto permeável, resíduos da construção civil, pavimentação, no período entre os anos de 2014 a 2020.

Consultou artigos com pelo menos uma das palavras-chave no título, sendo excluídos os artigos que não tinham a palavra-chave no título. Após ler os textos dos artigos selecionados, excluiu os não relacionados ao tema.

O estudo resume os procedimentos experimentais, ensaios e resultados de cinco autores sobre o tema concreto permeável, em que prepararam amostras com proporções de substituições variando de 0 a 100% de agregados naturais por agregados reciclados, variaram o fator água e realizaram testes para comparação dos resultados com os limites especificados em normas vigentes.

Tabela 1: Publicações utilizadas como referencial (Tabela elaborada pelo próprio autor).

Ano	Autores	Título
2016	OZALP et al.	Efeitos de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição nas propriedades mecânicas e de permeabilidade de tubos de calçada, meio-fio e concreto
2016	ZAETANG et al.	Propriedades do concreto permeável contendo agregado de bloco de concreto reciclado e agregado de concreto reciclado
2018	YAP et al.	Caracterização de concreto permeável com agregado natural misturado e agregados de concreto reciclado
2018	ALIABDO et al.	Investigação experimental sobre índices de permeabilidade e resistência de concreto permeável modificado com agregado de concreto reciclado
2020	IBRAHIM et al.	Características hidráulicas e de resistência do concreto permeável contendo um grande volume de resíduos de construção e demolição como agregados

O estudo está estruturado em tópicos que avalia a granulometria do agregado, absorção de água, resistência à compressão, resistência à tração, permeabilidade e microestrutura.

Tabela 2: Granulometria e proporção estudada (Tabela elaborada pelo próprio autor).

Autor	Granulometria (mm)	Proporção agregados grossos reciclados (%)	Proporção agregados finos (%)	Relação água/cimento
OZALP et al., 2016	5–12	0, 15, 20, 25, 30 e 40	0	0,4
	12–22	0, 15	0	
ZAETANG et al., 2016	4,75 - 9,50	0, 20, 40, 60, 80 e 100	0	0,24
YAP et al., 2018	4,5 e 9,5	20, 40, 60, 80 e 100	0	0,35
ALIABDO et al., 2018	9,5 e 19	0, 50 e 100	20	0,30
IBRAHIM et al., 2020	4,75 e 10	100	0, 10	0,30, 0,35 e 0,40

2.1 GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS

Os agregados grossos reciclados estudados foram de 5–12 e 12–22 mm, com substituições de 0, 20, 30 e 40% (OZALP et al., 2016).

Estudaram misturas com agregado grosso de bloco de concreto reciclado e agregado grosso de concreto reciclado, triturados e peneirados diâmetros 4,75–9,50 mm e substituições de agregado natural por agregado grosso reciclado nas proporções de 0, 20, 40, 60, 80 e 100% e relação água / cimento constante 0,24 (ZAETANG et al., 2016).

Estudaram o concreto permeável com agregados 100% naturais (NA) e diferentes graus de substituição 0, 20, 40, 60, 80 e 100% de agregados reciclados (RCA), de tamanhos entre 4,5 e 9,5 mm, pois foi relatado que uma quantidade menor de pasta de cimento é suficiente para revestir os agregados dentro desse intervalo (YAP et al., 2018).

Analisaram as porcentagens de concreto permeável com agregados reciclado de 0, 50 e 100%. Os tamanhos utilizados foram 9,5 mm e 19 mm (ALIABDO et al., 2018).

Estudaram agregados reciclados de tamanhos entre 4,75 e 10 mm na confecção de concreto permeável. Analisaram amostras com agregados grossos reciclado, amostras com agregados grossos reciclados mais 10% de agregados recicláveis finos e amostras com agregados grossos reciclados mais 10% de agregados finos areia de rio. Variaram a relação água cimento nos fatores 0,30, 0,35 e 0,40. A proporção do concreto considerou o volume necessário que não alterasse o conteúdo do vazio alvo de 15%, de acordo com a ACI 522R (IBRAHIM et al., 2020).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os autores pesquisados estudaram o comportamento das amostras de concreto permeável produzidas com substituições variando de 0 a 100% de agregados naturais por agregados reciclados e as compararam às amostras sem agregados reciclados, em que observaram a influência dos parâmetros voltados para a granulometria do agregado, absorção de água, resistência à compressão, resistência à tração, permeabilidade e microestrutura, e os limites especificados em normas vigentes.

Tabela 3: Resumo dos resultados encontrados (Tabela elaborada pelo próprio autor).

Autor	Proporção agregados grossos reciclados (%)	Absorção água (%)	Resistência a compressão (MPa)	Resistência a tração (MPa)
OZALP et al., 2016	0, 15, 20, 25, 30 e 40	10% maiores comparados com os agregados naturais	36, 34, 30, 33, 29, 22	3,9; 4,2; 2,9; 3,7; 3,0; 3,1
	0, 15		38, 37	4,4; 4,3
ZAETANG et al., 2016	0, 20, 40, 60, 80 e 100	5 vezes superior ao agregado natural	Encontrou valores de resistência ideal em substituições variando de 40 a 60%.	As forças de tração à flexão e à ruptura de concretos permeáveis tiveram pouca variação. Reduziram ligeiramente com os altos níveis de substituição.
YAP et al., 2018	20, 40, 60, 80 e 100	10 vezes superior ao agregado natural	Variou de 11,4 a 5,5. As misturas de agregados reciclados 20% mostrou resistência compressiva muito próxima à mistura	As amostras contendo alta quantidade de agregados reciclados 60, 80 e 100% sofreram redução de 30 a 32%

			controle. A menor resistência de 5,5 MPa foi observada nas misturas agregados reciclados 80 e 100%.	
ALIABDO et al., 2018	0, 50 e 100	2 vezes superior ao agregado natural	Com agregado reciclado de 9,5 mm houve redução de 5% e 31% para substituições de 50% e 100%, respectivamente. Para agregado reciclado de 19 mm houve redução de 17% e 42%.	Para substituições de 50 e 100% de agregados reciclados houve redução de 18,8 e 41,2% respectivamente, para o tamanho agregado 9,5 mm e, de 34% e 54% para agregado 19. mm.
IBRAHIM et al., 2020	100	8% maiores comparados com os agregados naturais	As amostras sem finos variaram entre 8 a 10 MPa, as amostras com finos reciclados variaram entre 9 a 12 MPa. A maior resistência à compressão foi obtida em amostras com areia de rio que variaram entre 12 a 15 MPa.	O concreto sem finos apresentou menores resultados variando de 0,98 a 1,32 MPa. As amostras de concreto com agregados finos variaram de 1,35 MPa a 1,67 MPa e, as amostras com areia de rio variaram de 1,55 MPa a 2,08 MPa.

3.1 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Encontraram valores de absorção de água dos agregados reciclados até 10% maiores comparados com os agregados naturais (OZALP et al., 2016).

Encontraram valores de absorção de água com agregados reciclados superiores aos produtos de referência (OZALP et al., 2016).

As absorções de água do agregado de bloco de concreto reciclado e agregado de concreto reciclado foram aproximadamente dez vezes superiores ao agregado natural, sendo os índices de absorção de 5,18, 4,58 e 0,46 respectivamente (ZAETANG et al., 2016).

Observaram que os agregados reciclados exibem valores mais altos de absorção de água do que os agregados normais (YAP et al., 2018).

O agregado reciclável estudado é composto por agregados naturais e pasta de cimento antiga, caracterizada com menor densidade e maior porosidade e absorção de água. O coeficiente de absorção do agregado grosso foi igual a 8% (IBRAHIM et al., 2020).

3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Observaram que as taxas de substituição de agregados resultam na redução da resistência à compressão. Uma redução de 11% da resistência à compressão nas amostras com substituição de 25% e redução de resistência à compressão de 4% nas amostras de substituição de 15% de agregados. Observaram também, que as misturas produzidas com os agregados grossos reciclados

tiveram melhores resultados de resistência comparadas as misturas com os agregados finos reciclados (OZALP et al., 2016).

A substituição de agregados reciclados foi satisfatória, resultou na melhoria da resistência do concreto permeável. A resistência à compressão do concreto de controle sem agregados reciclados foi de 13,4 MPa. Para os ensaios com amostras com agregados de blocos de concreto reciclado obteve 17,0 MPa com substituição de 40%. Para a agregado de concreto reciclado obteve 15,0 MPa com substituição 60%. Os aumentos no conteúdo de agregados reciclados acima dos citados resultaram em diminuição da resistência à compressão do concreto permeável. O aumento na resistência à compressão foi devido a um aumento na ligação entre as superfícies rugosa e porosa dos agregados reciclados e da pasta de cimento, e também, devido à abrasão da superfície e ao esmagamento das partículas de agregado de blocos de concreto reciclado que reduziu o vazio do concreto e o tornou mais denso e resistente (ZAETANG et al., 2016).

Testaram as forças compressivas aos 1, 7 e 28 dias de idade. A maior compressão de 11,4 MPa foi relatada na mistura de controle sem agregados reciclados. As misturas com agregados reciclados substituídos 20%, mostrou resistência compressiva muito próxima à mistura de controle. A menor resistência de 5,5 MPa foi observada nas misturas com substituição de agregados reciclados 80 e 100%. As resistências à compressão de misturas contendo baixo conteúdo de agregados reciclados 20 a 40% e alto conteúdo de 60 a 100% mostraram redução da força de 1 a 13% e 20 a 40%, respectivamente. Explica que a redução da resistência se deve ao volume de pasta, a relação pasta de agregado/cimento e má ligação de pasta de cimento agregado em misturas com substituições de agregados reciclados (YAP et al., 2018).

Consideram aceitáveis uma resistência à compressão na faixa de 10 a 13 MPa para estacionamentos, proteção de pedras, pavimentos de drenagem e produtos de concreto pré-moldado poroso. Uma resistência menor é aceitável para passarelas para pedestres pois o concreto permeável não será sujeito a cargas veiculares, assim, as misturas com agregados reciclados desenvolvidas nesta pesquisa foram apropriadas para ensaios e passarelas de pedestres (YAP et al., 2018).

Verificaram que o uso de agregado de concreto reciclado tem um efeito significativo na resistência à compressão que o aumento do conteúdo agregado reciclado diminui a resistência à compressão do concreto obtido. A redução na resistência à compressão do concreto em 28 dias com agregado de 9,5 mm é de 5% e 31% para os níveis de agregado reciclado de 50% e 100%, respectivamente, comparados com a mistura de controle. Para o tamanho de agregado de 19 mm, essa redução em 28 dias da resistência à compressão é de 17% e 42% para níveis de agregado reciclado de 50% e 100%, respectivamente. Os resultados mostram um aumento na resistência à compressão do concreto permeável com a diminuição do tamanho do agregado de 19 mm para 9,5

mm. Mencionam que os resultados alcançados cumprem o estabelecido pelo ACI 522R, e que o uso do agregado 19,00 mm atingiu o limite mínimo (ALIABDO et al., 2018).

As misturas de concreto permeável sem finos produziram menor resistência, seguidas pelas amostras de concreto contendo agregados finos reciclados. A resistência à compressão para as amostras sem finos variaram entre 8 a 10 MPa e para as amostras com finos reciclados variaram entre 9 a 12 MPa. A maior resistência à compressão foi obtida em amostras com areia de rio que variaram entre 12 a 15 MPa (IBRAHIM et al., 2020).

3.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

As variações não foram significativas em relação a força de tração (OZALP et al., 2016).

Para as forças de tração à flexão a influência dos agregados reciclados foi pequena. Para as amostras com agregado de bloco de concreto reciclado as forças de tração à flexão foram praticamente as mesmas. Para as amostras com agregado de concreto reciclado reduziram para altos níveis de substituição. A resistência à tração da amostra com 100% de substituição foi de 2,8 MPa em comparação a 4,1 MPa do concreto de controle (ZAETANG et al., 2016).

Os efeitos da substituição dos agregados de reciclagem nas forças de tração são semelhantes a resistência à compressão, em que o aumento no conteúdo de agregado de concreto reciclado diminui a força. Um concreto quebradiço, frágil, resultará em uma perda completa e instantânea da capacidade de carga e é extremamente inseguro. As razões de fragilidade foram expressas como razões de resistência à compressão e flexão. Verificaram que as amostras contendo alta quantidade de RCA 60, 80 e 100% sofreram redução de 30-32% na resistência à flexão (YAP et al., 2018).

O aumento dos níveis de substituição do agregado reciclado diminui a resistência à flexão do concreto permeável. A diminuição da resistência à flexão para 50 e 100% de agregados reciclados é de 18,8% e 41,2%, respectivamente para o tamanho agregado 9,5 mm e de 34% e 54% no caso de agregado 19. mm. O efeito negativo do uso de agregado reciclado pode ser atribuído às más características da zona de transição que afeta a resistência à tração do concreto. A comparação entre as resistências à ruptura e à flexão indicam que o uso de agregado reciclado de 50% e 100% produzem resistências à tração inferiores às faixas recomendadas (ALIABDO et al., 2018).

A incorporação de agregados finos reciclados e areia do rio nas misturas de concreto permeável melhorou a resistência à tração de ruptura do concreto permeável, com melhor resultado para as amostras com areia de rio. O concreto sem finos apresentou os menores resultados de resistência à tração variando de 0,98 a 1,32 MPa. As amostras de concreto contendo agregados finos apresentaram resistências variando de 1,35 MPa a 1,67 MPa, enquanto as amostras com areia de rio variaram de 1,55 MPa a 2,08 MPa (IBRAHIM et al., 2020).

3.4 PERMEABILIDADE

O concreto com substituições de agregados apresentaram uma estrutura porosa e permeável. Os menores valores de permeabilidade foram observados no concreto de referência sem agregados reciclados (OZALP et al., 2016).

Os coeficientes de permeabilidade à água tiveram pouca variação, mas aumentaram de acordo com o aumento da substituição do agregado de concreto reciclado. Pode ser associado a baixa densidade aparente do agregado associada à argamassa aderida, que era menos sólida e continha mais vazios que a amostra de controle confeccionada com agregados naturais. Já para o agregado grosso de bloco de concreto reciclado, pastas preencheram os vazios, tiveram concreto permeável com baixo conteúdo de vazios e os índices de permeabilidade diminuíram conforme aumentava a adição do resíduo (ZAETANG et al., 2016).

O concreto permeável permite que a água passe por sua estrutura. Avaliaram o desempenho do concreto permeável e todas as misturas obtiveram boa aparência física com boas estruturas de poros interconectados. A faixa do coeficiente de permeabilidade encontrado variou entre 1,42 a 2,64 cm/s. O concreto permeável com valores de permeabilidade entre 0,1 e 3,3 cm/s é adequado para ser usado como camada de drenagem para pavimentos ou blocos de concreto. As misturas RCA 20% e RCA 40% apresentaram coeficientes de permeabilidade próximos ao da mistura controle NA. A taxa de permeabilidade aumenta em 31-65% em relação à mistura de controle para as amostras de RCA acima de 40%. A permeabilidade do concreto permeável pode ser explicada pela fraca ligação de pasta agregada, atribuído ao tamanho do poro, agregados e proporções de mistura. Observaram que a permeabilidade aumenta com a diminuição da resistência à compressão (YAP et al., 2018).

Observaram que o aumento do agregado reciclado aumenta a permeabilidade à água. A porcentagem para o agregado de tamanho 19 mm é de 7,4% e 13,7% para substituição de agregado reciclado de 50% e 100%, respectivamente e para o tamanho de 9,5 mm, as porcentagens de aumento são de 13,3% e 18,8% (ALIABDO et al., 2018).

Os coeficientes de permeabilidade tiveram pouca variação, encontraram 2,465 cm/s para a relação água/cimento 0,30, 2,531 cm/s para a relação água/cimento 0,35 e 2,497 cm/s para a relação água/cimento 0,40 (IBRAHIM et al., 2020).

3.5 MICROESTRUTURA

Ao analisarem as amostras em microscópio de mão, as imagens ampliadas mostraram que a maior quantidade de colagem de pasta agregada era visível na amostra de controle com agregados naturais e a quantidade de ligação diminui à medida que a substituição com agregados reciclados

foi aumentada para 60% e 100%. A presença de argamassa aderida na amostra de agregado reciclado absorve a água da mistura e reduz a quantidade de pasta de cimento que resulta em pouca ligação entre a pasta de cimento e o agregado grosso que reduz a resistência à compressão. Análises microestruturais foram conduzidas para examinar o caminho de propagação da trinca. Utilizaram o microscópio eletrônico de varredura por emissão de campo (FESEM) e a espectroscopia de raios-X dispersiva por energia (EDX) para estudar os mecanismos de falha nas misturas de NA e RCA. A amostra RCA100 apresenta menos ramificação, enquanto o plano de falha da amostra de NA apresentou maior ramificação e desvio de direção. Uma propagação de fissuras ramificadas resulta em maior resistência à compressão, pois é necessária mais energia para causar falhas no concreto (YAP et al., 2018).

Avaliaram a microestrutura das amostras de concreto permeável com agregados reciclados e a micrografia FESEM de amostras fraturadas sem finos, após um teste de compressão, mostra uma superfície fraturada plana com alterações mínimas em sua propagação do caminho da fissura. Devido à ausência de agregados finos na mistura de concreto permeável ocorreu falha da mistura sem desvio significativo no caminho da fratura, que ocasiona redução na resistência à ruptura. Para as amostras com finos reciclados e areia de rio a superfície da fratura é muito rugosa e irregular, e esse desvio do caminho de propagação de fissuras mostra uma maior absorção de energia, resultando em maior resistência à compressão (IBRAHIM et al., 2020).

4 CONCLUSÃO

Os resultados encontrados sugerem que taxas mais baixa de substituição de agregados reciclados sejam utilizadas para garantir as propriedades padrões do produto. Valores encontrados de resistência ideal em substituições de agregados naturais por agregados reciclados variando de 40 a 60%, granulometria variando de 4,5 a 9,5 mm e uma relação água/cimento variando entre 0,35 e 0,40 (OZALP et al., 2016), (ZAETANG et al., 2016), (YAP et al., 2018).

Os autores pesquisados entendem ser possível usar agregados reciclados em concreto permeável e obter propriedades físicas e mecânicas semelhantes às feitas com agregados naturais.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 16416/2015. Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ALIABDO, A. A.; ELMOATY, A. E. M. A.; FAWZY, A. M. (2018) Experimental investigation on permeability indices and strength of modified pervious concrete with recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, Vol.193, pp.105-127.

IBRAHIM, A.; MAHMOUD, E.; YAMIN, M.; PATIBANDIA, V. C. (2014) Experimental study on Portland cement pervious concrete mechanical and hydrological properties. *Construction and Building Materials*, Vol.50, pp.524-529.

IBRAHIM, H. A.; GOH, Y.; NG, Z. A.; YAP, S. P.; MO, K. H.; YUEN, C. W.; ABUTAHA, F. (2020) Hydraulic and strength characteristics of pervious concrete containing a high volume of construction and demolition waste as aggregates. *Construction and Building Materials*, Vol.253, 119251.

MATAR, P.; BARHOUN, J. (2020) Effects of waterproofing admixture on the compressive strength and permeability of recycled aggregate concrete. *Journal of Building Engineering*, Vol.32, 101521.

ÖZALP, F.; YILMAZ, H. D.; KARA, M.; KAYA, O.; SAHIN, A. (2016) Effects of recycled aggregates from construction and demolition wastes on mechanical and permeability properties of paving stone, kerb and concrete pipes. *Construction and Building Materials*, Vol.110, pp.17-23.

TUCCI, C. E. M. *Gestão de águas pluviais urbanas: saneamento para todos*. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2006.

XIE, N.; AKIN, M.; SHI, X. (2019) Permeable concrete pavements: A review of environmental benefits and durability. *Journal of Cleaner Production*, Vol.210, pp.1605-1621.

YAP, S. P.; CHIEN, P. Z. C.; GOH, Y.; IBRAHIM, H. A.; MO, K. H.; YUEN, C. W. (2018) Characterization of pervious concrete with blended natural aggregate and recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*, Vol.181, pp.155-165.

ZAETANG, Y.; SATA, V.; WONGSA, A.; CHINDAPRASIRT, P. (2016) Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycle concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, Vol.111, pp.15-21.