

# UTILIZAÇÃO DE FRESADO ASFÁLTICO COMO SUBSTITUINTE DE AGREGADOS NATURAIS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PARA UTILIZAÇÃO EM VIAS DE TRÁFEGO LEVE

**Antônio Daniel Boff Vieira**  
**Jonathan Rehbein dos Santos**  
**Lucas Alves Lamberti**  
**Tatiana Cureau Cervo**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Grupo de Estudos e Pesquisa em Pavimentação e Segurança Viária (GEPPASV)

## RESUMO

A impermeabilização do solo em áreas populosas associada a uma estrutura de drenagem inadequada propicia o acúmulo de água superficial, que gera problemas a sociedade. Uma solução estrutural é o uso de pavimentos de concreto permeável, que devido ao seu alto índice de vazios permite a percolação da água. Com isso, surge a possibilidade da incorporação de fresado asfáltico à mistura em substituição aos agregados virgens, visando uma melhoria de caráter econômico e ambiental. O presente trabalho buscou avaliar a viabilidade do uso de 30% de fresado asfáltico na produção de pavimentos de concreto permeável, comparando com uma mistura somente com agregados naturais. Com os resultados encontrados de resistências mecânicas e de condutividade hidráulica, comparado aos termos mínimos das normas vigentes, foi possível concluir que, nessa proporção, é viável a utilização do fresado na mistura.

## ABSTRACT

The waterproofing of the soil in populated areas associated with inadequate drainage structure, favors the accumulation of superficial water, it's creating a problems to society. A structural alternative is the pervious concrete pavements that due its high void content allows water percolation. Thus, appears the possibility of reclaimed asphalt pavement (RAP) incorporation to the mixture with replacing the natural aggregates, aiming at an improvement of economic and environmental character. This paper aimed to evaluate the RAP use with 30% in the pervious concrete pavements production, its compared with a natural aggregates mixture. The mechanical resistance and hydraulic conductivity results compared to current standards show that the use of RAP it is viable.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento das áreas urbanas e a utilização de estruturas impermeáveis nas cidades acabam por promover uma diminuição considerável na permeabilidade do solo, que, aliado a uma infraestrutura de drenagem ineficiente, ocasiona um acúmulo excessivo de água sobre os pavimentos, o que de fato ocorre nos grandes centros urbanos brasileiros. Tal problema afeta a segurança, qualidade e durabilidade das vias, além dos problemas sociais causados por inundações, ou seja, gera grandes prejuízos materiais e ainda coloca em perigo a vida de muitas pessoas, como infere Young et al (2015).

Uma alternativa para aumentar a permeabilidade é a utilização de concretos permeáveis como revestimento, pois eles permitem a percolação das águas pluviais e assim evitam grandes escoamentos superficiais. Eisenberg et al (2015) conceitua concreto permeável como a camada superior de um pavimento permeável que possui, aproximadamente, 20% de volume de vazios. Os autores ainda afirmam que a camada de concreto permeável deve possuir entre 10 e 20 centímetros de espessura e deve ser sustentada por uma base de agregados com graduação aberta, com cerca de 40% de vazios e espessura de camada variável. Huang et al (2009) associam o alto volume de vazios característico do concreto permeável à sua baixa resistência.

Para que o concreto tenha propriedades drenantes é necessário que ele possua um alto índice de vazios, para isso em sua composição há poucos ou não existem agregados miúdos, o que

acarreta na perda da resistência do mesmo. A resistência aos esforços no concreto drenante é reduzida devido sua estrutura porosa quando comparada a do concreto convencional, limitando seu uso a áreas de baixo carregamento (JABUR et al., 2015; BOOGAARD et al., 2014; GOMEZ-ULLATE et al., 2010), logo sua utilização fica restrita aos pavimentos que não sejam muito exigidos pelo tráfego. Portanto, são ideais para vias de tráfego leve (ALENCAR, 2013) que, conforme pode ser verificado na NBR 16416/2015, corresponde a um volume diário médio (VDM) de até 400 para veículos leves (automóvel, utilitário, motocicleta, ciclomotor, motoneta, caminhonete e camioneta) e VDM não superior a 20 para ônibus e caminhões.

Considerando as vantagens do concreto permeável, há um aumento nas pesquisas relacionadas ao tema em busca do aperfeiçoamento do mesmo. Essas melhorias podem ser sobre as suas propriedades drenantes, mecânicas, econômicas ou ambientais. Uma alternativa que favorece dois destes fatores, econômicos e ambientais, é a incorporação de uma parte de material fresado à mistura em substituição dos agregados virgens. O fresado asfáltico, conhecido na literatura internacional por *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), é oriundo da restauração de pavimentos flexíveis deteriorados, através da remoção da camada superficial do revestimento asfáltico, podendo o mesmo apresentar granulometria bem variada, uma vez que depende fundamentalmente do processo de extração e desanexo da camada.

O RAP é considerado abundante e há uma tendência de cada vez mais aumentar essa disponibilidade, pois há grandes áreas com pavimentos degradados no Brasil, como mostra uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2017), onde quase 50% dos trechos avaliados apresentaram problemas. Além disso, como afirma Fonseca (2013), é natural que com o decorrer do tempo os pavimentos sofram desgaste, necessitando de intervenções que assegurem a trafegabilidade com segurança e economia. Os benefícios econômicos provenientes do uso do fresado são garantidos pela fartura deste material, pois sua aquisição se torna muito acessível, o que diminui os gastos com agregados e consequentemente o custo final de produção.

Os problemas ambientais dos últimos tempos evidenciam uma necessidade do aumento da sustentabilidade, uma vez que os recursos naturais são limitados. O fato de reutilizar o fresado contribui significativamente para isso, pois reduz o consumo de energia gasta para extração e transporte de matéria-prima. Além disso, com os recapeamentos das camadas superficiais do pavimento de rodovias, obtêm-se grandes quantidades desse resíduo que na maioria das vezes é depositado de modo irregular, prejudicando o meio ambiente.

Entretanto, a utilização do RAP nos concretos permeáveis não pode diminuir a eficiência do material de modo que impossibilite sua utilização frente as exigências das normas vigentes. Portanto, é necessário averiguar se com a adição do fresado ocorrerá alteração na condutividade hidráulica ou na resistência mecânica do concreto. A NBR 16416/2015, específica para pavimentos permeáveis de concreto, exige que para um pavimento ser considerado permeável ele deve ter um coeficiente de permeabilidade superior a 0,1 cm/s. Ainda, segundo a norma, para concretos permeáveis moldados no local, a resistência à tração na flexão deve ser superior a 2 MPa, sendo este o principal fator limitante para a máxima porosidade.

Dado isso, este trabalho visa avaliar a viabilidade do uso de fresado asfáltico na produção de

concreto permeável para utilização em vias de tráfego leve ou áreas de estacionamento, tendo em vista seu desempenho mecânico e sua capacidade drenante, buscando amenizar os acúmulos de água e seus provenientes problemas, além de atribuir uma destinação ao RAP.

## 2. METODOLOGIA

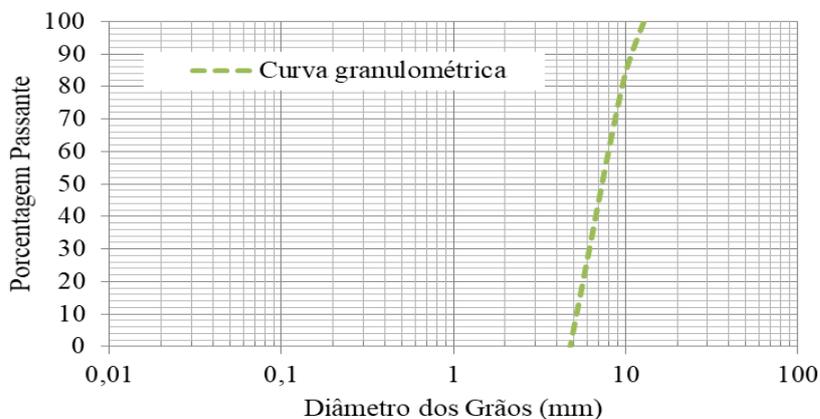
Neste item serão abordados sobre os procedimentos adotados, materiais utilizados, determinação do traço e ensaios realizados. Foram moldadas duas misturas, uma de referência (Mref) e outra mistura com a substituição de 30% do agregado natural por fresado asfáltico (Mfres).

### 2.1. Traço

O traço utilizado foi definido a partir dos resultados obtidos por Melo et al. (2016), no qual foi concluído que aquele que possuía Materiais Secos  $M = 3,0$  e relação água/cimento =  $0,33$  obteve melhores resultados e, portanto, esse foi utilizado nessa pesquisa. Foram feitas duas misturas, uma de referência, somente com agregados virgens, e outra com adição de 30% de fresado asfáltico em substituição aos agregados naturais. Os agregados foram peneirados de forma a passarem na peneira 1/2", sendo que 20% do total é retido na 3/8", 50% retido na 1/4" e 30% na de número 4. Dessa forma, a composição resulta em uma curva granulométrica uniforme.

### 2.2. Materiais

O agregado utilizado possui origem vulcânica da cidade de Itaara/RS. A curva granulométrica obtida a partir do processo de peneiramento é apresentada na Figura 1. A Tabela 1 exhibe os ensaios de caracterização do agregado utilizado.



**Figura 1:** Gráfico da granulometria das misturas

**Tabela 1:** Caracterização do agregado

Módulo de finura	5,75
Diâmetro máximo característico (mm)	9,5
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,44
Massa unitária (c/cm <sup>3</sup> )	1,36
Perda por abrasão Los Angeles (%)	11,04
Absorção de água (%)	3,16

O cimento CPV-ARI foi utilizado para o desenvolvimento das amostras para evitar uma

possível inconsistência do concreto permeável durante a desmoldagem devido à ausência de finos. A Tabela 2 apresenta as propriedades do aglomerante.

**Tabela 2:** Caracterização do cimento CP V - ARI

Ensaio		Resultado
Expansibilidade à quente (mm)		0,23
Tempo de pega (h:min)	Início	03:41
	Fim	04:18
Consistência normal (%)		30
Finura na peneira #200 (%)		0,03
Finura na peneira #325 (%)		0,34
Resistência à compressão (MPa)	1 dia	22,3
	3 dias	39,7
	7 dias	45
	28 dias	52,9

O fresado asfáltico reciclado foi proveniente da BR-158 entre as cidades de Santa Maria e Itaara. O ensaio de Rotarex determinou o teor de ligante do material, o resultado está exposto na Tabela 3. Devido ao material possuir granulometria muito variada, foi realizado o peneiramento do fresado e utilizadas partículas passantes na peneira 1/2" e retidas na de número 4.

**Tabela 3:** Caracterização do fresado

Parâmetro	Amostra 1	Amostra 2
Peso inicial (g)	600,00	600,22
Peso final (g)	563,00	562,86
Peso do betume (g)	37,00	37,36
Teor de betume (%)	6,17	6,22
Média do teor de betume (%)	6,20	

### 2.3. Processo de Moldagem

Foram moldados corpos de prova (CPs) cilíndricos e prismáticos, sendo 3 CPs cilíndricos de tamanho 10x20 cm para cada idade (14 e 28 dias) para os ensaios de resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral, e 3 prismáticos de 10x10x40 cm para o ensaio de resistência à tração na flexão. Foram moldados também 3 CPs em tubos de PVC de 10 cm de diâmetro e 20 de cm altura para a realização dos ensaios de permeabilidade à carga constante e à carga variável.

O primeiro passo para realizar a mistura foi adicionar na betoneira todas as frações de agregados e 5% do peso do cimento e então misturou-se por 1 minuto. Em seguida adicionou-se o restante do cimento (95%) e 90% da água e misturou-se o material por 3 minutos, deixando a mistura em repouso por 3 minutos. Durante a pausa, a trabalhabilidade do concreto foi verificada. Como afirma TENNIS (2004), para este tipo de mistura o ensaio de abatimento de tronco de cone resulta em valores inferiores a 50 mm, sendo assim necessário verificar a consistência através de uma análise visual, ou seja, comprimir com a mão uma amostra da mistura e verificar a coesão obtida. Caso esteja com baixa coesão, deve-se adicionar mais água. A Figura 2 exibe uma amostra ainda sem coesão e, posteriormente, já coesa. Como a amostra não estava coesa satisfatoriamente, foi adicionado a água

remanescente e misturou-se por mais 2 minutos, assim finalizando o processo. Foi adotado o mesmo procedimento para o traço de referência e o traço com fresado, com o fresado adicionado junto com os agregados.



**Figura 2:** (A) Mistura sem coesão; (B) Mistura coesa

A compactação dos CPs cilíndricos deu-se em 3 camadas, cada uma recebendo 15 golpes com um bastão metálico. Após isso, foram levados a mesa vibratória por cerca de 7 segundos. Os CPs prismáticos passaram por processo semelhante, sendo que as diferenças estão no fato de terem sido feitos em 2 camadas, cada uma delas recebendo 25 golpes. Imediatamente após a moldagem, os CPs foram levados para a câmara úmida e lá foram mantidos até a data de realização dos ensaios. Eles foram desmoldados após 7 dias para garantir que eles já haviam obtido resistência suficiente para suportar o peso próprio.

## 2.4. Ensaios

Foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial (NBR 5739/2007), resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222/2011) e resistência à tração na flexão (NBR 12142/2010), além dos ensaios de condutividade hidráulica a cargas constante e variável e a determinação do índice de vazios.

### 2.4.1. Ensaio de resistência à compressão axial (NBR 5739/2007)

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado em uma prensa hidráulica, conforme mostra a Figura 3. Para que houvesse uma melhor distribuição de carga do pistão e evitar imprecisões, as faces dos CPs foram planificadas com uma pasta a base de enxofre. O ensaio foi realizado aos 14 e 28 dias.



**Figura 3:** Ensaio de resistência à compressão axial

#### 2.4.2. Ensaio de resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222/2011)

Foram colocadas duas chapas de fibra de madeira, uma em cima e outra embaixo, para a melhor distribuição dos esforços, conforme orienta a norma. Na placa superior apoiou-se uma placa de aço e o pistão da prensa. A aplicação de carga é feita até a ruptura do CP. O ensaio foi realizado aos 14 e 28 dias. A execução do ensaio é vista na Figura 4.



**Figura 4:** Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

#### 2.4.3. Ensaio de resistência à tração na flexão (NBR 12142/2010)

Se considerarmos o uso do concreto permeável em vias de tráfego leve este ensaio é determinante para a utilização, pois, conforme comentado anteriormente, a NBR 16416/2015 exige uma resistência mínima de 2 MPa. O ensaio foi realizado aos 14 e 28 dias. A Figura 5 ilustra a realização do ensaio.



**Figura 5:** Ensaio de resistência à tração na flexão

#### 2.4.4. Ensaios de condutividade hidráulica

O ensaio submetido à carga constante determina o coeficiente de permeabilidade do material conforme a NBR 13292/1995. O ensaio consiste na quantificação do volume de água percolado pela amostra em um tempo determinado. Já o ensaio sob carga variável é realizado de acordo com a NBR 14545/2000 e consiste na verificação do tempo necessário para uma variação pré-determinada na carga de água. Os dois procedimentos são mostrados na Figura 6.



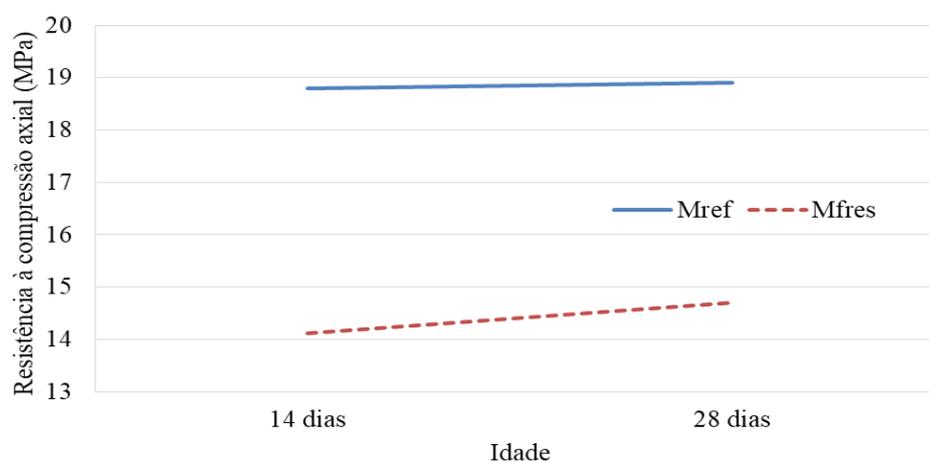
**Figura 6:** (A) Carga variável; (B) Carga constante

#### 2.4.5. Determinação do índice de vazios

O índice de vazios das amostras foi determinado seguindo a norma BS EM 12390-7/2009. Para a realização dos cálculos foram determinados os pesos seco e submerso e as dimensões de cada corpo de prova.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

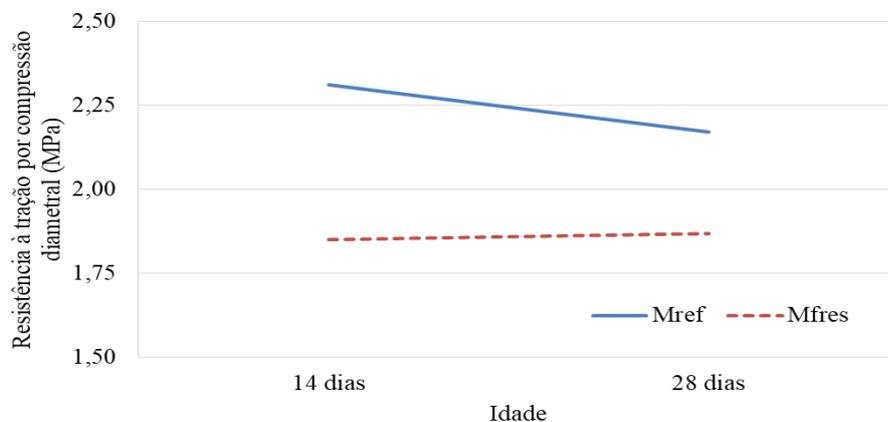
Os índices de vazios das misturas obtiveram uma diferença mínima. Enquanto a Mref apresentou 17,40% de vazios, a Mfres possui 17,10%. O resultado do ensaio de resistência à compressão axial das misturas é exposto na Figura 7. A substituição do agregado natural por resíduo de fresado asfáltico reduziu cerca de 22% da resistência à compressão axial aos 28 dias. Houve pouca variação nas resistências dos 14 para os 28 dias devido a utilização do CPV - ARI, que possui alta resistência inicial devido a uma hidratação acelerada.



**Figura 7:** Gráfico da resistência à compressão axial em 14 e 28 dias

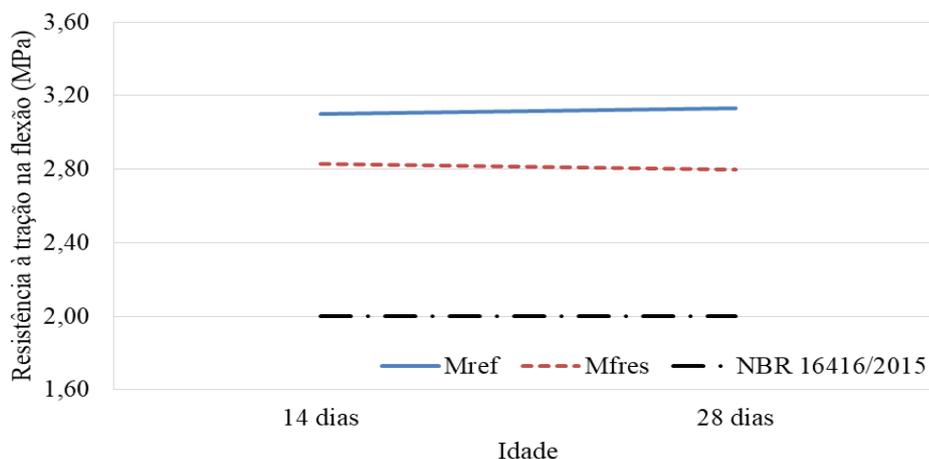
A Figura 8 exibe as resistências à tração por compressão diametral da mistura de referência e

da mistura com fresado asfáltico. Da mesma forma que para o ensaio de resistência à compressão axial, a utilização do RAP diminuiu a resistência à tração por compressão diametral do concreto permeável. Observa-se que houve uma redução na resistência da mistura de referência, que pode ser explicada também pela utilização do CPV.



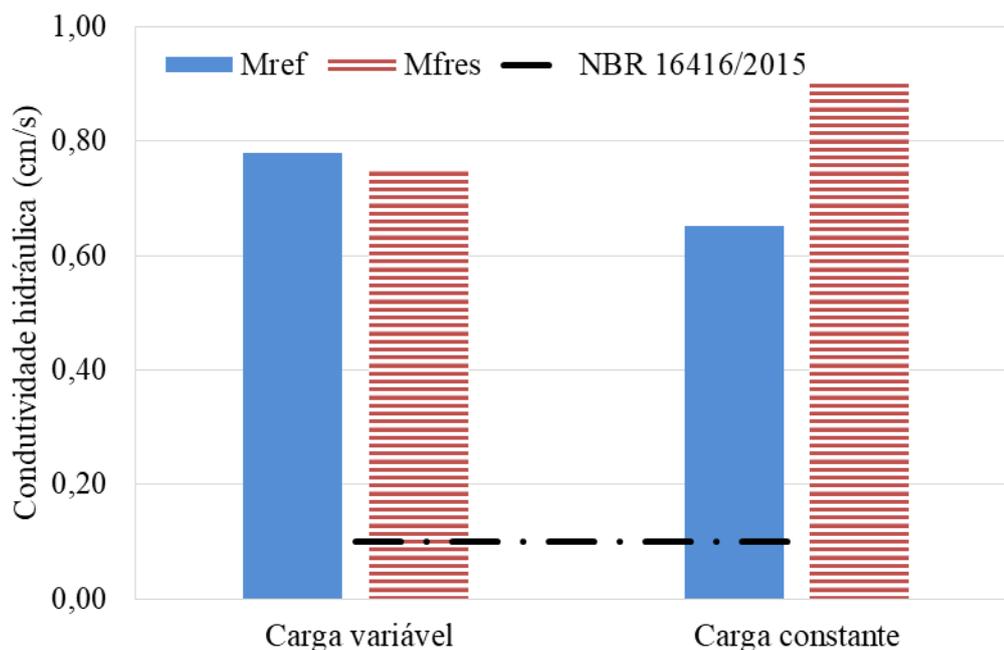
**Figura 8:** Gráfico da resistência à tração por compressão diametral em 14 e 28 dias

As resistências à tração na flexão das misturas e o valor mínimo exigido pela NBR 16416/2015 para a utilização do concreto permeável moldado no local são apresentados na Figura 9. Assim como nas resistências anteriores houve redução na resistência à tração na flexão quando utilizado o fresado como parte dos agregados. Entretanto, bem como a mistura de referência, a mistura com fresado superou o mínimo exigido pela normativa de 2 MPa.



**Figura 9:** Gráfico da resistência à tração na flexão em 14 e 28 dias

Os resultados dos ensaios de condutividade hidráulica à carga variável e à carga constante das misturas analisadas estão dispostos na Figura 10. Também é mostrado o valor mínimo exigido em norma para o parâmetro. Verifica-se que tanto a mistura de referência quanto a mistura com fresado em ambos os ensaios obtiveram resultados adequados se comparado com o valor exigido pela norma vigente.



**Figura 10:** Gráfico da condutividade hidráulica das misturas.

#### 4. CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho era verificar se mesmo com a utilização de resíduos de fresado asfáltico como substituinte de 30% dos agregados naturais seria possível a utilização do concreto permeável em vias de tráfego leve. Diante dos resultados, nota-se que a utilização do fresado diminuiu parcialmente as resistências mecânicas do concreto permeável, porém a exigência da NBR 15416/2015 de 2 MPa de resistência à tração na flexão quando o concreto for moldado no local foi atingida. Quanto a condutividade hidráulica, a mistura com fresado superou o mínimo de 0,1 cm/s exigidos pela mesma norma tanto no ensaio à carga constante quanto no ensaio à carga variável. Portanto, para as misturas estudadas neste trabalho, pode-se considerar que é possível produzir concreto permeável com RAP em sua composição e atender aos valores mínimos da norma vigente.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1995) *NBR 13292 – Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante - Método de ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, SP: ABNT.
- ABNT (2000) *NBR 14545 – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ: ABNT. 12 p.
- ABNT (2007) *NBR 5739 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ: ABNT. 9 p.
- ABNT (2010) *NBR 12142 – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ: ABNT. 5p.
- ABNT (2011) *NBR 7222 – Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ: ABNT. 5 p.
- ABNT (2015) *NBR 16416 – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e Procedimentos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ: ABNT. 25 p.
- Alencar, P. C. D. *Avaliação Experimental do Concreto Poroso na Atenuação do escoamento Superficial em Parcelas Urbanizadas*. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, 2013. 174 p.
- BS 12390-7 (2009) *Testing hardened concrete - Part 7: Density of hardened concrete*, London.
- Boogaard, F.; Lucke, T.; Giesen, N. van de; Ven, F. van de (2014) *Evaluating the infiltration performance of eight dutch permeable pavements using a new full-scale infiltration testing method*. Water Journal.

- CNT (2017) *Pesquisa CNT de rodovias 2017: relatório gerencial*. Confederação Nacional Do Transporte, Brasília, DF: CNT: SEST: SENAT.
- Eisenberg, B.; Lindow, K. C.; Smith, D. R. *Permeable Pavements*. The Low Impact Development Committee, The Urban Water Resources Research Council, The Environmental and Water Resources Institute and The American Society of Civil Engineers, USA, 2015. 249 p.
- Fonseca, L. (2013) *Análise das soluções de pavimentação do programa crema 2ª etapa do departamento nacional de infraestrutura de transportes*. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro.
- Gomez-Ullate, E.; et al. (2010) *Analysis and contrast of different pervious pavements for management of storm-water in a parking area in northern Spain*. Water Resour Manage.
- Huang, B.; Wu, H.; Shu, X.; Burdette, E. G. *Laboratory Evaluation of Permeability and Strength of Polymer-Modified Pervious Concrete*. Construction and Building Materials, 2009. 6 p.
- Jabur, A. S.; et al (2015) *Determinação da capacidade de infiltração de pavimentos permeáveis*. Revista Brasileira de Recurso Hídricos, vol 20 n°4, Porto Alegre.
- Tennis, P. D.; Leming, m. L.; Akers, D. J (2004) *Pervious Concrete Pavements*. EB302.02, Portland Cement Association, Skokie Illinois , e National Ready Mixed Association, Silver Spring Maryland, USA, 36 p.
- Young, C.; Aguiar, C.; Souza, E. (2015) *Custo econômico dos eventos climáticos extremos no Brasil nos anos de 2002 – 2012*. Observatório do Clima, São Paulo.