

**FACULDADE CAPIXABA DE NOVA VENÉCIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DO TRAÇO DE CONCRETO PERMEÁVEL  
QUANTO A SUA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E  
PERMEABILIDADE**

**IZABELA CRISTINA DE ASSUMPCÃO ALCÂNTARA  
MATHEUS SANTANA FLORÊNCIO**

**NOVA VENÉCIA - ES  
2017**

**ANÁLISE DO TRAÇO DE CONCRETO PERMEÁVEL  
QUANTO A SUA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E  
PERMEABILIDADE**

**IZABELA CRISTINA DE ASSUMÇÃO ALCÂNTARA  
MATHEUS SANTANA FLORÊNCIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
em Engenharia Civil apresentado à Faculdade  
Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX,  
como requisito parcial para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Eng. Civil William Martins  
Valente Muniz.

**NOVA VENÉCIA - ES  
2017**

# **ANÁLISE DO TRAÇO DE CONCRETO PERMEÁVEL QUANTO A SUA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E PERMEABILIDADE**

**IZABELA CRISTINA DE ASSUMPÇÃO ALCÂNTARA  
MATHEUS SANTANA FLORÊNCIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil apresentado à Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. Eng. Civil William Martins Valente Muniz  
Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX  
Orientador

---

Prof.  
Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX  
Examinador

---

Prof.  
Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX  
Examinador

## ANÁLISE DO TRAÇO DE CONCRETO PERMEÁVEL QUANTO À SUA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E PERMEABILIDADE

Izabela Cristina de Assumpção Alcântara<sup>1</sup>  
Matheus Santana Florêncio<sup>2</sup>  
William Martins Valente Muniz<sup>3</sup>

### RESUMO

No atual cenário da construção civil, é bem evidente que a impermeabilização dos pavimentos contribui bastante para as inundações e enchentes, visto que, a mesma não permite o escoamento rápido e eficaz das águas pluviais, deste modo, evidencia-se que o uso do concreto permeável em pavimentação para fluxos leves é uma solução na problemática da água, economicamente e sustentavelmente viável. No presente trabalho, foram confeccionados 12 corpos de prova, com relação água/cimento (a/c) de 0,30 onde foi analisado dois traços, um conforme Batezini (2013) com totalidade de agregado graúdo e o outro com substituição de 10% de agregado graúdo para miúdo, verificando quais são as influências que o agregado miúdo comete ao concreto permeável relacionando-o com o aumento de resistência à compressão e a diminuição da permeabilidade. Os valores encontrados para resistência à compressão estão na faixa de valores identificados por revisão bibliográfica que se enquadra em 3,5 a 28 MPa aos 28 dias, e quanto a função de permeabilidade, os valores obtidos atingiram o mínimo requerido em norma.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto permeável. Permeabilidade. Resistência.

### ABSTRACT

In today's civil construction's conjuncture, it is evident that the streets waterproofing is for much responsible in the case of floods and overflows, because it allows not a quick rain water drainage. Therefore, it is evident that paving the streets with pervious concrete is a good solution both economically and supportable. We made 12 demonstrations with water/cement at 0,30 analysing two features, one corresponding Batezini (2013) with total big material and the other one with 10% of small material, to find out what the influences the small material do on the pervious concrete relating it to the increase of resistance to the compression and the decrease of permeability. The results found toward resistance to the compression are according to the results identified in bibliographic review, between 3,5 and 28 MPa at 28 days. Toward the permeability function the results obtained reached the standard's minimum required.

**KEY-WORDS:** Permeable Concrete. Permeability. Resistance.

---

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia

<sup>3</sup> Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Vale do Rio Doce

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento significativo e desordenado do desenvolvimento urbano e a falta de planejamento do uso e ocupação do solo urbano têm gerado muitos impactos no ciclo hidrológico do planeta, onde a cada dia surgem mais áreas com superfícies impermeabilizadas, e colaborando ainda nesse processo, temos a ocupação inadequada das margens de rios e córregos, aumentando assim em grandes números as ocorrências de cheias, intensificando os problemas relacionados às enchentes nos rios e conseqüentemente as inundações das cidades (Batezini, 2013).

Tucci (2007) esclarece que a malha urbana em expansão, assim como a construção de grandes edificações e a pavimentação de vias públicas, ocasionam a diminuição da superfície de absorção. Com isso, ocorre uma aceleração do escoamento das águas pluviais e elevam as chances de inundações, que por sua vez, quando intensas, podem resultar em grandes perdas econômicas, danos às construções e problemas para a população.

Como consequência disso, Tucci (2007) explica que as cidades sofrem com os alagamentos em dias de chuvas intensas, avenidas importantes são atingidas, impedindo o tráfego e ocasionando grandes congestionamentos de veículos. Além dos problemas relacionados com o tráfego, a transmissão de doenças é um fator que instiga a adoção de medidas para a solução de tantos problemas.

Atualmente no Brasil os estudos de desenvolvimento e desempenho do concreto permeável na área da construção civil têm sido bem escassos. E é um fato visível que tal inovação proporciona vantagens tanto econômicas quanto ambientais, de forma que é de suma importância que seja feito um estudo mais aprofundado sobre este assunto.

Batezini (2013) diz que tal importância está relacionada com a capacidade que este tipo de estrutura permeável possui de reduzir a necessidade de um sistema de gestão de águas pluviais e também de lagoas de captação, diminuindo potencialmente o custo de instalações relativas à drenagem dos pavimentos, auxiliando de maneira mais eficaz com a redução de impermeabilização e, conseqüentemente, com a ocorrência de enchentes nas cidades.

O pavimento de concreto permeável tem grande contribuição para amenizar esses efeitos negativos causados pela impermeabilização incorreta do solo. Possuem a função de infiltrar e armazenar a água que antes iria escoar pelo mesmo e possuir o destino anteriormente citado. (CASTRO, 2015, p.12)

SCHWETZ *et al.* (2015) explica que para a produção do concreto permeável é muito importante que se formem vazios conectados, caso fundamental para garantir a permeabilidade das águas pluviais. Por esse motivo, na maioria das misturas, não se utiliza de agregado miúdo (areia), logo o concreto é executado com apenas cimento, água e agregado

graúdo. Devido à sua alta porosidade, a resistência desse concreto pode ser mais reduzida, quando relacionada ao concreto convencional. Por consequência, seu uso é geralmente limitado a áreas de tráfego leve ou pouco intenso.

Conforme *American Concrete Institute (ACI), 2006 (apud Schwetz et al., 2015)*, as misturas de concreto permeável habitualmente tendem a adquirir resistências de compressão na escala de 3,5 MPa a 28 MPa. Ou seja, apesar do elevado índice de vazios, o contato entre os agregados graúdos que compõem o esqueleto do concreto permeável garante uma resistência razoável.

O presente assunto gera uma motivação aos pesquisadores por se tratar de uma solução para uma problemática que abrange diversos locais, onde o estudo intensivo e minucioso deste recurso apresentado e a execução do mesmo abrem novos caminhos para a sustentabilidade na construção civil, que é um dos assuntos da atualidade, estabelecendo novas reformas nos sistemas de escoamento e captação das águas pluviais, preservando assim um dos recursos essenciais à sociedade, marcando mais um avanço inovador da construção civil com uma colaboração sustentável.

O seguinte projeto delimita-se ao estudo dos traços do concreto permeável, sendo um elaborado por Batezini (2013) e o outro uma adaptação do traço com substituição de 10% do agregado total do traço inicial para o uso de agregado miúdo, com a utilização de agregados da região de Nova Venécia - Espírito Santo.

Tendo como objetivo analisar os dois tipos de traço e quais as influências em que são submetidos pela adição de agregado miúdo, analisando a resistência mecânica à compressão e o coeficiente de permeabilidade de acordo com o mínimo requerido pela NBR 16416 de Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos (2015).

## **2 METODOLOGIA DA PESQUISA**

A metodologia empregada é de caráter exploratório experimental de abordagem quantitativa que se trata de uma análise de dois traços, um desenvolvido por Batezini (2013) e o outro com substituição de 10% de agregado graúdo para miúdo.

Para realização da pesquisa foram utilizados os equipamentos dos Laboratórios de Construção Civil da Faculdade Capixaba de Nova Venécia e do Departamento de Estradas e Rodagem do Espírito Santo (DER-ES), ambos localizados em Nova Venécia – Espírito Santo. Todos os procedimentos para obtenção dos resultados foram realizados conforme especificam as seguintes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR NM 248 – Agregados - Determinação da composição granulométrica (2003), NBR 5738 – Concreto -

Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos (2015), NBR 5739 – Concreto - Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos (2007), NBR 12655 – Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação (2015) e NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos (2015).

Os materiais utilizados para realização da pesquisa foram: cimento CP III 40 RS, brita 0, areia e água. O agregado graúdo, brita 0, usado na mistura é do tipo granítico proveniente do britador Mineração Colúmbia (MCL) de Nova Venécia – Espírito Santo, com uma variação entre o diâmetro de 4,8mm à 12,5mm e sua caracterização granulométrica e características são apresentadas no gráfico 1 e tabela 1, respectivamente.

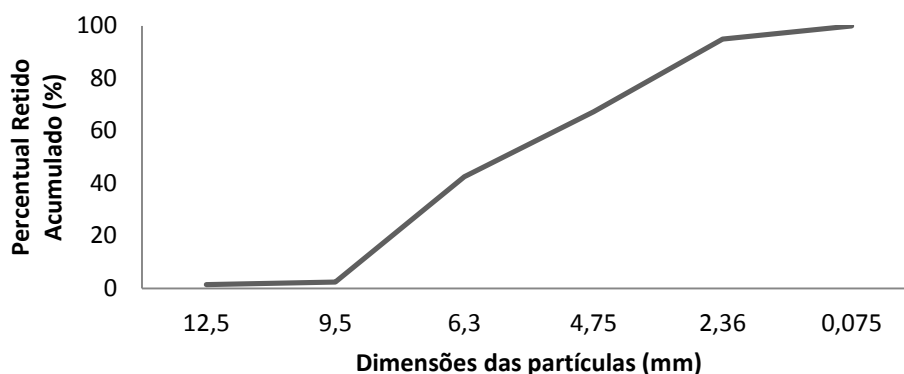


Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado graúdo utilizado

Fonte: Departamento de Estradas e Rodagens do Espírito Santo (DER-ES) – Adaptada pelos Autores (2017)

Tabela 1 - Características do agregado graúdo utilizado

<b>Característica</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
Diâmetro máximo	mm	9,5
Módulo de Finura	-	4,01
Massa Específica	kg/m <sup>3</sup>	2789
Massa Unitária Solta	kg/m <sup>3</sup>	1686
Massa unitária compactada	kg/m <sup>3</sup>	1716
Teor de Pulverulento	%	1,8

Fonte: Departamento de Estradas e Rodagens do Espírito Santo (DER-ES) – Adaptada pelos Autores (2017)

O agregado miúdo utilizado nesta pesquisa é oriundo do areal Miotto de Nova Venécia – Espírito Santo. É apresentado no gráfico 2 e tabela 2, a curva granulométrica e caracterização, respectivamente.

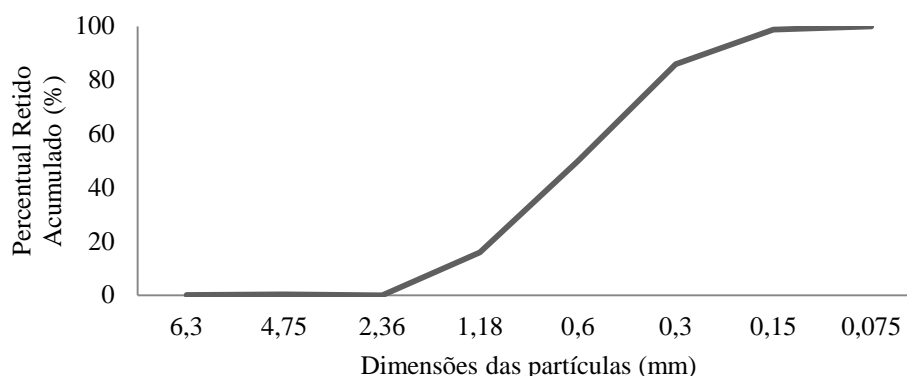


Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado miúdo utilizado

Fonte: Departamento de Estradas e Rodagem do Espírito Santo (DER-ES) – Adaptada pelos Autores (2017)

Tabela 2 - Características do agregado miúdo utilizado

Característica	Unidade	Valor
Módulo de Finura	-	2,53
Massa Específica	kg/m <sup>3</sup>	2618
Massa Unitária média	kg/m <sup>3</sup>	1503
Inchamento	%	27
Diâmetro Máximo	mm	1,18

Fonte: Departamento de Estradas e Rodagem do Espírito Santo (DER-ES) – Adaptada pelos Autores (2017)

O cimento utilizado foi o CP III 40 RS produzido pela empresa Cauê, originário da fábrica de Santana do Paraíso no estado de Minas Gerais. Conforme Batezini (2013), o cimento utilizado é adequado para a fabricação do concreto permeável, onde tal aglomerante aponta altos índices de resistência a sulfatos, que se destaca como um aspecto essencial para o tipo de concreto trabalhado, pois apresentam uma quantidade maior de vazios. A caracterização do cimento utilizado é exposta na tabela 3, a seguir.

Tabela 3 - Características do cimento utilizado

Característica	Unidade	Valor
Percentual passante na # 325	%	3,2
Percentual passante na # 200	%	0,3
Massa Específica	kg/m <sup>3</sup>	2,94
Tempo de pega	min	206-276
Resistência à Compressão	03 dias	19,8
	07 dias	32,8
	28 dias	46,6

Fonte: Ensaios realizados pela empresa CAUÊ - Adaptado pelos autores (2017)



Por meio de pesquisa bibliográfica foi adotado o procedimento de dosagem, realizando o estudo de duas misturas, uma conforme o traço realizado por Batezini (2013) e a outra com substituição de 10% do agregado graúdo para miúdo do referido traço. A tabela 4 caracteriza os dados do traço 1, conforme Batezini (2013).

Tabela 4 - Caracterização do traço 1

<b>Materiais</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valores</b>
Consumo do cimento	(kg/m <sup>3</sup> )	374
Consumo do agregado	(kg/m <sup>3</sup> )	1660
Relação a/c em massa	-	0,3
Relação cimento/agregado em massa	-	1:4,44

Fonte: Batezini (2013) – Adaptado pelos autores (2017)

Para a mistura dos materiais foi empregado o mesmo método de Batezini (2013), elaborado por Schaefer *et al.* (2006), seguindo esse procedimento é obtido um aumento de resistência mecânica e ainda uma melhoria na condutividade hidráulica do material utilizado.

O método consiste em adicionar na betoneira toda a quantidade de agregado juntamente com 5% do peso total de cimento e misturar por 1 minuto. Em seguida, coloca-se o restante dos materiais misturando-os por mais 3 minutos. Por fim, deixa-se por 3 minutos a mistura repouso, misturando por mais 2 minutos.

Para a conferência e um maior controle da mistura trabalhada, foi feito um acompanhamento visual do processo adotado, onde após a mistura completa dos componentes, foi realizado um exame tátil visual dos materiais e constatado que a mistura estava de acordo com o processo criado por Schaefer *et al.* (2006), juntamente com o resultado, onde os materiais deveriam estar cobertos com a pasta de cimento de forma brilhosa, sem apresentar fragmentação.

Foram moldados 12 corpos de provas cilíndricos para realização do estudo, dispondo cada qual a sua idade de rompimento e o referido traço, nas dimensões de 10 x 20 cm para o ensaio de resistência à compressão, onde em um processo anterior a moldagem, foi aplicada camadas de óleo mineral nos corpos de prova a fim de facilitar o procedimento de desmoldagem. E ainda para o ensaio de permeabilidade foram moldadas quatro placas de 350 x 350 x 80 mm, sendo duas para cada traço, em formas de madeira com as medidas citadas.

No processo de moldagem, como mostra a figura 1, o concreto foi colocado nos corpos de provas por meio de uma concha metálica, em camadas de alturas aproximadamente iguais, onde segundo a NBR 5738 (2015), para dimensões básicas de 100 mm, utilizam-se duas

camadas de concreto, com o tipo de adensamento manual, sendo aplicados para esse processo 15 golpes por camada com o auxílio de uma haste metálica.



Figura 1 – Processo de compactação dos corpos de prova  
Fonte: Autores (2017)

Finalizada a moldagem dos corpos de prova, os mesmos ficaram separados de acordo com o traço confeccionado, conforme figura 2, sendo que 24 horas depois desse processo, foram desmoldados, como mostra figura 3, e introduzidos em um tanque de água, novamente de acordo com o traço e idades de rompimento, para que iniciasse o procedimento para a cura apropriada do concreto.



Figura 2 - Corpos de prova após moldagem  
Fonte: Autores (2017)



Figura 3 - Corpos de prova desmoldados  
Fonte: Autores (2017)

Para realização do ensaio de compressão, os corpos de prova foram ensaiados nas idades de 7 e 28 dias, em uma prensa eletro hidráulica digital com capacidade de 100 toneladas para verificação de sua resistência a compressão seguindo as condições segundo a NBR 5739 (2007), conforme mostra as figuras 4 e 5.



Figura 4 e 5 - Ensaio de resistência à compressão – Traço 1 e Traço 2, respectivamente, aos 28 dias.  
Fonte: Autores (2017)

E para o ensaio de permeabilidade, em uma primeira etapa, através de um modo empírico foi verificado a vazão pelas amostras confeccionadas, onde foi considerado uma fórmula que estabelece uma relação entre volume infiltrado nas placas de concreto permeável em um certo tempo, seguindo a fórmula abaixo:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Temos:

Q = Vazão (l/s)

V = Volume (l)

T = Tempo (s)

O procedimento foi iniciado com uma análise da área da placa, verificando se havia a presença de partículas, ou qualquer tipo de sujeira que poderia prejudicar o ensaio, impedindo a percolação da água pela placa. A área de ensaio da placa foi molhada, e então o cilindro foi abastecido em todo seu volume com água, totalizando 1 litro, e em seguida foi completamente despejada a água na superfície da placa, e iniciado a contagem do tempo no momento que ocorre a infiltração da água na placa, parando o cronômetro após a passagem de todo o volume de água.

Ainda foi determinado o coeficiente de permeabilidade (k), para que houvesse uma comparação como dita a NBR 16416 (2015), onde o coeficiente encontrado deve ser maior que 0,001 m/s. Esse ensaio foi realizado de forma a identificar a velocidade que um volume de água infiltra pela placa de concreto permeável. Para tal ensaio foi utilizado uma série de equipamentos descritos abaixo:

- a) anel de infiltração: cilíndrico vazado com diâmetro de  $(300 \pm 10)$  mm e altura mínima de 50 mm. Internamente o cilindro deve ter duas linhas de referência com distâncias de 10 mm e 15 mm em relação à face da inferior do anel. O material deve ser resistente à água, com rigidez suficiente para não deformar quando cheio;
- b) balança com precisão de 0,1 g;
- c) recipiente com volume mínimo de 20 l, que permita o derramamento controlado do volume de água;
- d) cronômetro com precisão de 0,1 s;
- e) massa de calafetar epóxi;
- f) água potável.

O método aplicado nesse ensaio foi conforme a NBR 16416 (2015), onde na área da placa foi fixado o cilindro vazado, e sua área de contato foi vedada por uma massa de calafetar epóxi, no intuito de vedar o sistema evitando o vazamento da água utilizada no ensaio. Foi feito então a primeira parte do ensaio, procedimento nomeado como pré-molhagem, onde foi verificado o volume de água que seria empregado no ensaio, como ilustra a tabela 5.

Tabela 5 - Determinação de água para o ensaio.

<b>Tempo de pré-molhagem (s)</b>	<b>Volume de água para ensaio (l)</b>
$\leq 30$	$18 \pm 0,05$
$> 30$	$3,60 \pm 0,05$

Fonte: NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto: requisitos e procedimentos (2015)

Após a identificação do volume de água, foi iniciado o ensaio com o despejo da água entre as duas marcações de referência situadas à 10mm e 15mm da parcela inferior do cilindro, sem ultrapassar esses limites, e cronometrando o tempo com o auxílio de um cronômetro, a partir do contato da água com a superfície da placa, e parando a contagem quando não houvesse água livre sobre a superfície da placa, conforme ilustrado na figura 6.



Figura 6- Ensaio de permeabilidade  
Fonte: Autores (2017)

O cálculo estabelecido pela NBR 16416 (2015) para o coeficiente de permeabilidade se encontra abaixo:

$$k = \frac{C \cdot m}{(d^2 \cdot t)}$$

Temos:

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.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 CONCRETO PERMEÁVEL E SUA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

De uma forma geral, como o concreto permeável não possui uma definição efetiva, o mesmo, é denominado por vários autores e por Lamb (2014) como um concreto que apresenta um

elevado índice de vazios que permite a percolação de água em sua estrutura, tornando-se permeável.

[...] concreto permeável é um concreto com elevado número de vazios que são intencionalmente incorporados ao concreto, contrapondo-se aos concretos convencionais, cujo objetivo é o alcance da maior densidade possível, já que os concretos permeáveis devem conter poros para permitir a infiltração de água. (LAMB, 2014, p.53).

O concreto permeável é reconhecido por causa de suas características que apresentam elevada porosidade e permeabilidade facilitando o escoamento e a drenagem de águas em sua superfície. Castro (2015) explica que esse tipo de concreto tem como objetivo reparar os constantes efeitos da urbanização diretamente na fonte do problema apresentado, ligado as frequentes inundações, na tentativa de impedir que as águas pluviais alcancem as redes drenagem, evitando um sobre carregamento visto que nas maiorias das vezes as redes já estão obstruídas.

Batezini (2013) elucida que o concreto permeável se trata de uma combinação equilibrada de água e cimento que estabelecem ao redor do agregado graúdo uma camada grossa, criando uma forte ligação entre os agregados.

[...] o concreto permeável pode apresentar bons desempenho e durabilidade quando utilizado como revestimento de pavimentos em áreas de veículos leves, o que, aliado à sua capacidade drenante, permite o seu emprego como equipamento urbano de mitigação dos níveis de impermeabilização intensificados pela urbanização das cidades. (LAMB, 2014, p.57).

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental (EPA) *apud* Sumanasooriya *et. al* (2010), a utilização do concreto permeável se encontra como um dos melhores mecanismos em custo-benefício para a atenuação do escoamento das águas pluviais.

Conforme Batezini (2013), o concreto permeável possui essas características devido a sua composição, em que se assemelha ao concreto Portland convencional, mas o diferem por possuir uma baixa quantidade ou nada de agregado miúdo, característica que se relaciona diretamente com a porosidade do material.

A presença de uma quantidade pequena ou nula de agregado miúdo na composição do concreto permeável faz com que o mesmo apresente uma textura com uma maior rugosidade em sua superfície quando comparado ao concreto convencional. (TENNIS *et al.* (2004, *apud* LAMB, 2014)).

A redução ou até mesmo a eliminação do agregado miúdo na mistura do concreto, acarreta em um aumento no índice de vazios entres valores de 0,1 e 0,3. Portanto, a água oriunda das precipitações entrará em processo de percolação através dos poros da peça de concreto,

reduzindo significativamente o volume de escoamento superficial (HENDERSON *et al.* (2009, *apud* BATEZINI, 2013)).

A relação cimento/agregado e o procedimento de compactação ou adensamento a ser utilizado na produção de concretos permeáveis são os dois fatores mais importantes da mistura, que afetam diretamente as características mecânicas do material. (ACI, 2006 (*apud* BATEZINI, 2013) p.28).

Por meio de estudos do comportamento do concreto permeável Lian e Zhuge (2010), citado por Monteiro (2010) atribuíram o comportamento mecânico do mesmo devido ao tipo de agregado utilizado e não a sua composição granulométrica. Devido às características particulares de cada agregado, aqueles que possuem alta absorção não competem a uma alta resistência a compressão. Batezini (2013) diz que a resistência à compressão e a permeabilidade são inversamente proporcionais, pois quanto maior o índice de vazios menor será sua resistência mecânica.

A capacidade de carga desses concretos pode ser aumentada com a instalação de um subleito bem compactado de agregados graúdos sob o pavimento. Com um controle apropriado de preparação do subleito, compactação do concreto, e cura, os pavimentos de concreto drenante podem durar de 20 a 40 anos com pouca ou nenhuma manutenção (MEHTA e MONTEIRO, 2014, p.595).

A proporção de cada material na constituição do concreto permeável assim como sua compactação e abatimento, implica na variação do índice de vazios e sua massa específica, características estas que se relacionam diretamente no seu comportamento mecânico, segundo Tennis *et al.* (2004, *apud* Batezini, 2013) para que o material possua boas características de permeabilidade e resistência, é sugerido adotar 20% em índice de vazios.

A utilização de agregado miúdo aumenta a resistência, apesar de representar uma pequena perda de permeabilidade. O teor de finos entre 9,5 a 4,75 mm recomendado é de cerca de 20% o que garante pouca interferência no comportamento do concreto, ou seja, o concreto irá apresentar boa resistência e permeabilidade (YANG *et al.* (2008, *apud* MONTEIRO, 2010). p.15).

De acordo com ACI (2010), citado por MONTEIRO (2010), o índice de vazios deve apresentar variação de 15% a 35%, assumindo assim no estado endurecido um comportamento mecânico de resistência à compressão simples entre 2,8 a 28 MPa aos 28 dias. O concreto permeável pode atingir em média uma resistência à compressão de 20MPa, onde tal resistência está associada a um planejamento estrutural e técnicas construtivas singulares, incluindo ainda a utilização de aditivos químicos (METHA e MONTEIRO, 2014).

Portanto, por apresentar uma baixa resistência mecânica em relação ao concreto Portland convencional, o concreto permeável não é recomendado para pavimentação de vias de alto fluxo de veículos, sendo assim, o seu uso é sugerido em casos de ciclovias e calçadas, ou em

casos extremos de vias de fluxo leve, para que desempenhe seu papel no auxílio da percolação de água superficial.

### 3.2 PERMEABILIDADE

A característica que difere o concreto poroso ou permeável dos outros tipos de concreto é a sua capacidade de percolação da água entre os vazios que o compõe, fato este que ocorre devido ao seu coeficiente de permeabilidade. Deste modo, permeabilidade é definida como a propriedade que possibilita o caminho da água por meio do material (TARTUCE (1990, *apud* MONTEIRO, 2010)).

Condutividade hidráulica (ou taxa de percolação ou coeficiente de permeabilidade) é um dos parâmetros mais importantes do concreto permeável e pode ser definida como a taxa de infiltração da água através de sua estrutura. Valores típicos de condutividade hidráulica de concretos permeáveis para revestimento de pavimentos variam entre 0,21 cm/s e 0,54cm/s (TENNIS *et al.* (2004, *apud* BATEZINI, 2013). p.31).

Segundo Polastre e Santos (2006) *apud* Lamb (2014) para que o concreto desempenhe seu papel de permeabilidade, deve haver um elevado índice de vazios, e em sua composição o consumo de agregado miúdo deve ser pouco ou nulo, para que deste modo, ocorra à percolação de água.

Mulligan (2005), citado por Castro (2015), explica que a utilização do concreto permeável nos Estados Unidos da América (EUA) começou com o objetivo de melhorar a permeabilidade das zonas urbanizadas em alguns estados como Utah, Novo México e Flórida, porém foram obtidos resultados muito satisfatórios, levando a propagação dessa nova tecnologia aos demais estados, despertando assim um grande interesse de fornecedores em disseminar tal material, gerando ainda a *National Pervious Concrete Association* (NPCA), marcando o início de estudos específicos e aplicações mais aprofundadas.

A excelente permeabilidade se destaca como o principal motivo deste material estar sendo estudado e produzido atualmente. O concreto permeável quando aplicado em pavimentação externa, ou passeios, possibilita a percolação das águas pluviais, que entra diretamente no solo, proporcionando a redução da vazão que é direcionada ao sistema de drenagem urbano (COSTA, 2011).

Costa (2011), ainda salienta que o emprego do concreto permeável contribui com a manutenção de aquíferos e a atenuação da velocidade e quantidade do escoamento superficial das águas pluviais, logo, esse processo de infiltração das águas promove o uso eficaz do solo. Diante dos aspectos apresentados sobre a permeabilidade do concreto permeável, vê-se uma oportunidade para sanar ou atenuar a problemática do escoamento superficial das águas



pluviais, porém como levantado por Henderson *et al.* (2009, *apud* Batezini, 2013) existem problemas relacionados à capacidade drenante desse material, uma vez que há exagero na compactação da superfície ao longo do processo de construção, onde os vazios ficam cobertos por partículas provenientes do solo, tornando a camada impermeável.

Conforme Kuang *et al.* (2007), citado por Batezini (2013), realmente existe a tendência de redução de permeabilidade com o avanço do tempo, porém há a necessidade de técnicas de manutenção e reparo dessa capacidade permeável em um intervalo de no máximo seis meses. Destacando ainda, alguns métodos como a limpeza de pavimento a vácuo, onde se recupera cerca de 95% da condutividade hidráulica do material.

Caso haja entupimento, a aspiração é necessária para remover os detritos que se alojam sobre a superfície do concreto permeável. Outras opções de limpeza podem ser realizadas com lavagem sob pressão. Foram realizados estudos que indicam que a lavagem de alta pressão irá restaurar a porosidade do concreto permeável quase entupido e esse terá novas condições de uso. A lavagem sob pressão em concretos permeáveis entupidos tem resultado em uma permeabilidade com níveis de 80% a 90% em alguns casos, embora as práticas de manutenção para concretos permeáveis ainda estejam sendo desenvolvidas (LAMB, 2014, p.64).

Relacionado aos aspectos positivos do concreto permeável em termos ambientais, vale destacar sua eficiência na filtragem da água, onde em contato com a água da chuva, há uma infiltração e boa parte das impurezas acumuladas são aprisionadas, garantindo assim uma melhor qualidade da água (HOLTZ, 2011).

Tal fato pode ajudar a reduzir os efeitos negativos dos materiais baseados em hidrocarbonos que seriam carregados durante uma enxurrada para os corpos d'água, pois a matriz de agregados de concreto permeável captura e degrada aerobicamente o resíduo de hidrocarbonos e os poluentes são convertidos por microbactérias (HOLTZ, 2011, p. 47).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), o concreto permeável em termos de prevenções de riscos em função da sua permeabilidade, elimina o espalhamento e o excesso de água na superfície do pavimento, evitando assim eventos como a aquaplanagem. Ademais, a utilização do concreto permeável favorece no aumento dos níveis dos lençóis freáticos, que na maioria das vezes não ocorre com a utilização de um concreto impermeável ou convencional.

Outro ponto essencial relacionado aos benefícios do concreto permeável compreende na possível redução do efeito de calor urbano, em razão propriedades permeáveis e seu aspecto mais leve, gerando ainda uma atenuação de irrigação nas áreas urbanas, por possibilitar o armazenamento da água no solo, estimulando o desenvolvimento da vegetação ao redor (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Além disso, aliando sua capacidade drenante, seu desempenho e durabilidade, o concreto permeável quando introduzido em vias de fluxo leve contribuem na diminuição da impermeabilidade dos centros urbanos. (LAMB, 2014)

Diante do exposto, é notório que o emprego do concreto permeável colabora consideravelmente no sistema de drenagem existente e na questão de sustentabilidade, onde é possível ter uma proteção maior da drenagem existente, diminuindo os índices de enchentes e enxurradas e ainda possibilita a reutilização das águas pluviais. Entretanto, para que o concreto permeável cumpra com sua função de permeabilidade, é necessária uma clara redução na resistência do material, limitando assim a sua área de aplicação.

### 3.3 TRAÇOS E FATORES QUE ALTERAM SUAS CARACTERÍSTICAS

São muitos os fatores que alteram as características do concreto, entre esses fatores temos, como exemplo, a relação  $a/c$  e as características granulométricas de um agregado, que afetam não só no traço, mas como no desempenho físico-mecânico do concreto.

Na aplicação da engenharia, analisa-se que a certa idade a resistência do concreto no processo de cura em água a uma temperatura predeterminada, se sujeita a dois fatores: a relação  $a/c$  e o grau de adensamento, sendo ressaltado que a relação água/cimento estabelece a porosidade que a pasta de cimento apresenta quando endurecida seja em qualquer estágio de sua hidratação, sendo a porosidade uma das características fundamentais que colabora com a funcionalidade do concreto permeável (NEVILLE (1997, *apud* SCHETTINI, 2008)).

Melo Neto e Helene (2002, *apud* Schettini, 2008), explica que a relação  $a/c$  se enquadra como um dos essenciais fatores que atinge também o módulo de deformação. Igualmente, na resistência do concreto à compressão o acréscimo na correlação água/cimento reduz a quantia em módulo de deformação, em contrapartida, a atenuação do elemento água/cimento possibilita módulo de valor maior.

Neville (1997), explica a influência do adensamento na relação entre a resistência à compressão ( $f_c$ ) e o fator  $a/c$ , conforme a figura 4 a seguir.



Figura 4 - Influência do adensamento na relação  $f_c$  versus  $a/c$  - NEVILLE (1997)

A relação entre  $f_c$  e  $a/c$  submete-se ao processo de adensamento do concreto, onde em concretos plenamente adensados, a resistência à compressão é ampliada conforme a atenuação da relação  $a/c$ .

Conforme a norma americana ACI (2006) citado por Lamb (2014), os valores da relação água/cimento na composição do concreto permeável devem variar de 0,27 a 0,30, permitindo um máximo de 0,40 quando há adição de aditivos. A relação entre a quantidade de água e a rigidez do concreto, difere do convencional devido a presença de vazios.

A resistência à compressão do concreto sofre forte influência quando o assunto está relacionado à forma e textura do agregado, especialmente nas primeiras idades. Conforme Neville (1997, *apud* Schettini, 2008), o resultado da forma e da textura é mais visível em concretos de alta resistência. Quando se mantém o agregado de mesma mineralogia, a tendência é que os agregados que possuem superfície rugosa, apresentem maiores resistências em relação aos agregados com superfícies mais lisas. Essa influência ocorre principalmente nas primeiras idades devido a forte interferência da forma e textura dos agregados que compõe o concreto.

O acréscimo da dimensão máxima de uma mesma mineralogia influi em duas resultâncias opostas com relação à resistência do concreto. Quando se utiliza a mesma taxa de cimento e a mesma contextura de concreto, as ligas de concreto produzidas com agregados de maiores dimensões solicita uma quantidade menor de água de amassamento, em comparação com o concreto elaborado com agregados de dimensões menores (NUNES, 2005).

De outra parte, Mehta e Monteiro (1994, *apud* Schettini, 2008) elucida através da figura 5, a influência da dimensão máxima do agregado sobre a resistência do concreto.

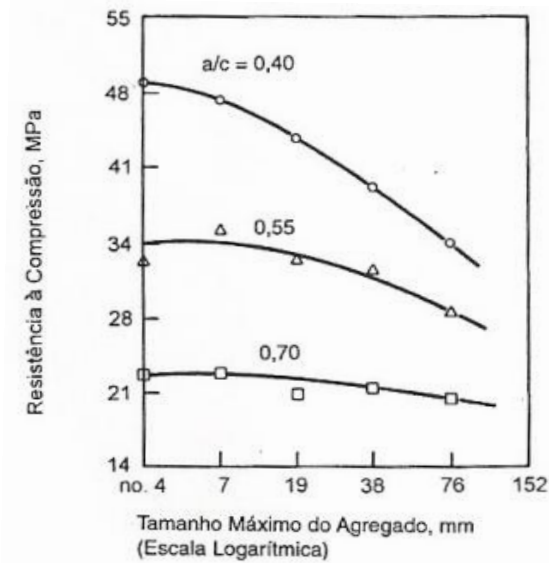


Figura 5 – Influência da dimensão máxima do agregado sobre a resistência do concreto - MEHTA e MONTEIRO (1994. *apud* SCHETTINI, 2008).

Interpretando assim, que agregados de dimensões maiores demonstram área superficial equilibradamente menor, ocasionando tensões elevadas na transformação pasta-agregado. Em razão disso, os concretos fabricados com a utilização de agregados maiores, propendem a indicar zonas de transição mais frágeis, apresentando microfissuras, e conseqüentemente uma menor resistência.

Conforme estudos realizados por Huang *et al.* (2009, *apud* Monteiro, 2010), a granulometria e a relação de massa de agregado por massa de cimento no concreto permeável influem na permeabilidade, porosidade e resistência à compressão.

Para a composição do concreto permeável, como já foi abordado anteriormente, a presença do agregado miúdo é na maior parte dos casos nula, por outro lado, o agregado graúdo com variações de diâmetro de 0,5 a 20 mm, quanto maior o diâmetro, e mais homogeneidade em sua composição granulométrica, maior será a rugosidade em sua superfície. (TENNIS *et al.* (2004, *apud* LAMB, 2014)).

A presença de agregado miúdo na dosagem do concreto permeável segundo Ospina e Erazo (2007) citado por Monteiro (2010) requer uma quantidade maior de cimento devido à necessidade de preencher uma superfície maior. Além disto, sua presença contribui para o aumento de resistência na região entre a pasta e o agregado graúdo, sendo perceptível o aumento da resistência à compressão devido ao preenchimento dos espaços, auxiliando a ligação entre agregado e pasta. (YANG *et al.* (2008, *apud* MONTEIRO, 2010).

Com isso, é notável a contribuição da presença de miúdos em relação ao aumento de resistência devido ao preenchimento dos vazios, pois, o concreto ao ganhar resistência perde sua característica de ser permeável, devido à diminuição do seu índice de vazios.

#### 4 RESULTADOS

Diante o exposto na metodologia, o traço obtido com a substituição de 10% de agregado graúdo para miúdo, para confecção do traço 2, foram utilizados para sua confecção um consumo de 1494 kg/m<sup>3</sup> de agregado graúdo e 166 kg/m<sup>3</sup> de agregado miúdo. A relação a/c e o consumo de cimento foram mantidos conforme o traço do Batezini (2013).

Portanto, após moldagem e cura foram realizados o ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova dos dois traços nas idades de 7 e 28 dias. As resistências obtidas são expressas nas tabelas 4 e 5, e no gráfico 2 é expressa a relação entre os dois traços.

Tabela 4 – Resistência à compressão do traço 1 (MPa)

<b>Idade</b>	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>CP 3</b>	<b>Média</b>
7 dias	4,4	4,7	5,2	4,8
28 dias	5,7	5,6	5,8	5,7

Fonte: Autores (2017)

Tabela 5 – Resistência à compressão do traço 2 (MPa)

<b>Idade</b>	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>CP 3</b>	<b>Média</b>
7 dias	7,9	7,9	7,1	7,6
28 dias	8,3	8,5	8,5	8,4

Fonte: Autores (2017)

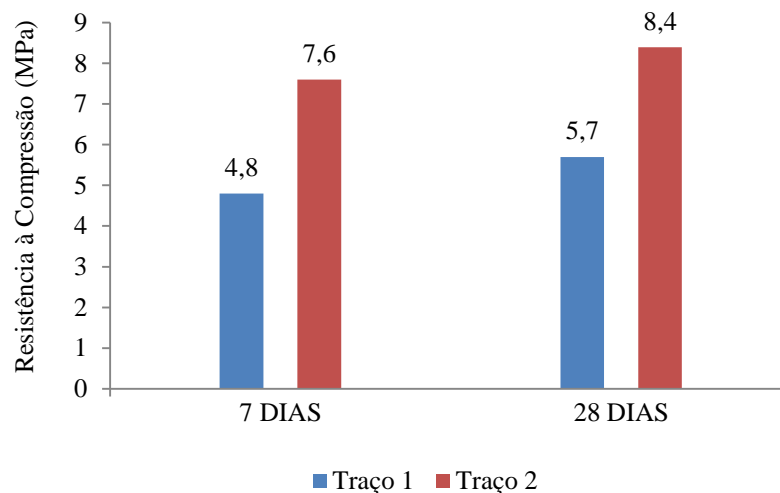


Gráfico 3 - Relação Resistência à compressão entre o traço 1 e 2

Fonte: Autores (2017)

Os valores encontrados estão entre os valores verificados por revisão bibliográfica, onde resistência à compressão simples varia entre 3,5 a 28 MPa aos 28 dias. Batezini (2013) diz que a redução desse valor, está ligado ao alto índice de vazios particular do concreto permeável, determinando assim a baixa resistência do material. Fica notório ainda que a presença de uma pequena parcela de agregado miúdo no traço e o processo de compactação aplicado implica em um aumento de resistência.

Para o ensaio de permeabilidade, as placas moldadas foram ensaiadas na idade de 28 dias. Após a realização, obteve-se o coeficiente de permeabilidade com os valores médios de cada traço que são expressos na tabela 6 e comparados no gráfico 4, que apresenta uma relação dos mesmo com o mínimo exigido pela NBR 16416.

Tabela 6 – Coeficiente de Permeabilidade – k (m/s)

<b>Coeficiente de permeabilidade (m/s)</b>	<b>Traço 1</b>	<b>Traço 2</b>	<b>Mínimo requerido pela NBR 16416</b>
k	0,00854	0,00106	0,00100

Fonte: Autores (2017)

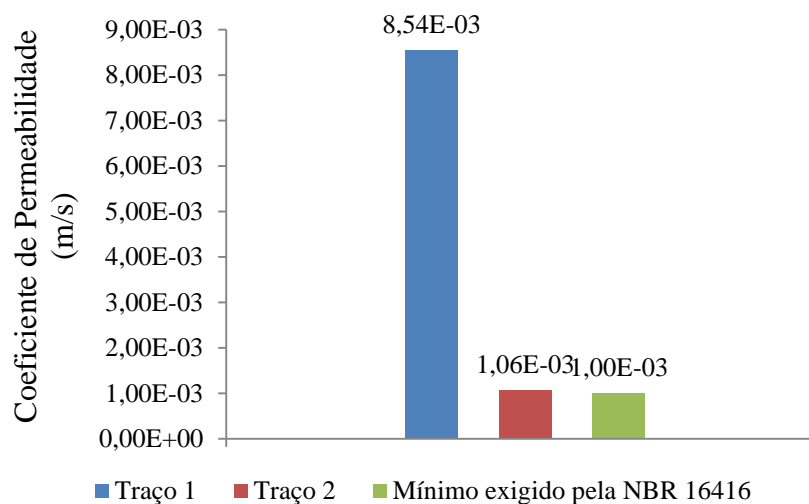


Gráfico 4 - Relação do coeficiente de permeabilidade

Fonte: Autores (2017)

Os valores obtidos demonstram que a presença somente de agregado graúdo como no traço 1 intensifica a sua capacidade de escoamento de água. O coeficiente de permeabilidade do traço 2, mesmo que muito inferior ao do traço 1, encontra-se no limite do mínimo coeficiente exigido por norma. Pode-se ressaltar ainda, que o método de compactação utilizado pode ter influenciado no fechamento dos vazios em sua superfície, agindo diretamente na redução do coeficiente de permeabilidade, explicando a diferença tão grande entre os dois traços.

Além do coeficiente de permeabilidade foram obtidos os valores médios de vazão para passagem de água na placa. Para isso, o volume utilizado foi de um litro de água para cada traço, expressos e comparados na tabela 7 e gráfico 5, respectivamente.

Tabela 7 – Ensaio de vazão

	<b>Traço 1</b>	<b>Traço 2</b>
Tempo (s)	3,66	22,41
	3,18	25,74
Tempo médio (s)	3,42	24,08
Vazão (l/s)	0,29	0,04

Fonte: Autores (2017)

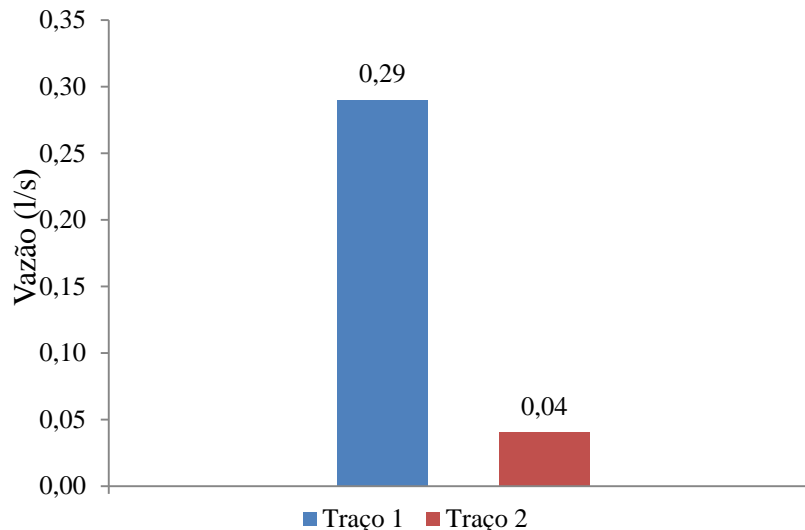


Gráfico 5 - Relação entre as vazões obtidas

Fonte: Autores (2017)

## 5 CONCLUSÃO

Diante da presente pesquisa foram averiguadas algumas questões baseadas nos objetivos iniciais, onde foi analisada a influência do agregado miúdo no traço de concreto permeável, verificando que se pode aumentar a resistência do material sem reduzir a permeabilidade do mesmo, abaixo do que rege a NBR 16416 (2015).

Os traços confeccionados apresentaram uma resistência média dentro do padrão estabelecido pela norma americana ACI (2006) citada por Lamb (2014), indica que a variação de resistência mecânica à compressão do concreto permeável está entre 3,5 a 28 MPa.

Portanto, o traço 1 apresentou uma média de resistência à compressão de 5,7 MPa aos 28 dias, sendo dessa forma 62% maior que o mínimo exigido por norma. E o traço 2, onde houve substituição de 10% de areia, obteve um valor médio de 8,4 Mpa.

O acréscimo de resistência do traço 2 em relação ao do traço 1, é devido a presença de agregado miúdo que diminui a porosidade, desse modo, há o aumento da resistência à compressão.

Em relação aos resultados de permeabilidade foi constatado que os traços mostram-se satisfatórios aos valores requeridos pela NBR 16416 (2015), qualificando o concreto nos quesitos de funcionalidade, como altamente permeável. Vale ressaltar que o traço 2, com o acréscimo de agregado miúdo, sua permeabilidade encontra-se próxima ao mínimo estabelecido.

Baseado em revisão bibliográfica, e conforme ACI (2006) *apud* Lamb (2014) pode considerar que a influência diretamente nas características do material é permitida pela relação entre o cimento e agregado, além do procedimento de adensamento ou compactação que foi utilizado para a confecção das amostras.

Com base nos resultados apresentados, foi evidente que foi alcançado o objetivo do presente trabalho, onde foi analisada a influência da presença de agregado miúdo na composição do concreto permeável em pequenas porcentagens, e tal incorporação proporcionou concreto com maiores resistências mecânicas e permeabilidade adequada para pavimentos com fluxo leve, visando um auxílio para a drenagem urbana.

Recomenda-se que para estudos futuros sejam utilizados outros meios de adensamento ou compactação das amostras, podendo ainda ser alterado a ordem de mistura dos materiais adicionados à betoneira, o que pode causar influência direta na resistência à compressão. Além disso, a realização de ensaios de índices de vazios para comparação e verificação da sua influência na diminuição da sua característica mecânica de resistência à compressão e capacidade permeável do material abordado.

## **6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM: 248. **Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR 5738. **Concreto - Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. NBR 5739. **Concreto - Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. NBR 12655. **Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação.** Rio de Janeiro, 2015.



\_\_\_\_\_. NBR 16416. **Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos.** Rio de Janeiro, 2015.

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

CASTRO, L. F. A. **Estudo de traço de concreto permeável de cimento Portland.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2015. 57p.

CAUÊ. **Mapa de qualidade.** Intercement. Santana do Paraíso, 2017.

COSTA, F. H. **Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise de viabilidade técnica e do impacto ambiental.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. 138p.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS (DER). **Determinação da composição granulométrica.** Espírito Santo, 2017. Planilha.

HOLTZ, F. C. **Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise de viabilidade técnica e do impacto ambiental.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

LAMB, G. S. **Desenvolvimento e análise do desempenho de elementos de drenagem fabricados em concreto permeável.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 2. Ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MONTEIRO, A. C. N. **Concreto poroso: dosagem e desempenho.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. 36p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Editora Pini, 2. ed. São Paulo, 1997.

NUNES, F.W.G. **Resistência e Módulo de Elasticidade de Concretos Usados no Rio de Janeiro.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

SCHAEFER, V., WANG, K., SEULEIMAN, M., KEVERN, J. **Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates.** Final Report, Civil Engineering, Iowa State University, 2006.

SCHETTINI, M. F. A. **Estudo da influência do agregado graúdo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto.** Belo Horizonte, 2008.

SCHWETZ et al. **Concreto permeável: otimização do traço para pavimentação de fluxo leve.** In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DA PATOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 13., Lisboa, 2015.

SUMANASOORIYA, M. S., NEITHALATH, N., BENTZ, D.P. **Predicting the permeability of pervious concrete.** Concrete International, 2010.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas.** 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2007. 352p.