

## PAVIMENTO DE CONCRETO DRENANTE: ESTUDO DA GRANULOMETRIA QUE FAVORECE A DRENAGEM E QUE AFETE O MÍNIMO NA RESISTÊNCIA

**Andréia da Conceição de Faria**

**Juliana Gomes Santana**

**Jairo Mendes Barbosa**

**Marina Donato**

Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil, Computação e Humanidades (DTECH)  
Universidade Federal de São João del Rei / CAP

### RESUMO

O crescimento urbano desenfreado tem como um dos principais fatores a impermeabilização do solo, o que acaba acarretando inundações, entre outros consideráveis impactos ambientais. O aumento crescente desses impactos traz o desafio da aplicação de novas tecnologias que favoreçam a infiltração da água no solo, substituindo os atuais métodos de pavimentação por meios drenantes, como forma de minimizar os impactos ambientais inevitáveis. Este trabalho tem por finalidade a produção de um concreto drenante com resistência mecânica satisfatória a ser empregado em superfícies que com a aplicação das técnicas vigentes tornam-se impermeáveis. Desta forma, foram realizados ensaios de caracterização de cada material utilizado, aferidas as resistência mecânica e permeabilidade para diferentes traços de concreto. O material estudado apresentou características mecânicas com resistência à compressão variando de 14 a 27 MPa e permeabilidade baseado na NBR 16416 (2015) variando de 6 a 49 L/s/m<sup>2</sup>.

### ABSTRACT

The rampant urban growth has as one of the main factors the waterproofing of the soil, which ends up causing floods, among other considerable environmental impacts. The increasing impact of these impacts brings the challenge of the application of new technologies that favor the infiltration of water in the soil, replacing the current paving methods by draining means, as a way to minimize the inevitable environmental impacts. The purpose of this work is to produce a draining concrete with satisfactory mechanical resistance to be used on surfaces that with the application of the current techniques become impermeable. Thus, we performed characterization tests of each material used, measured the mechanical resistance and permeability for different traces of concrete. The material studied presented mechanical characteristics with compressive strength varying from 14 to 27 MPa and permeability based on NBR 16416 (2015) varying from 6 to 49 L/S/m<sup>2</sup>.

### 1. INTRODUÇÃO

O inevitável crescimento industrial que já extrapolou o limite de seu desenvolvimento sustentável, trouxe como consequência os problemas de saneamento básico, inundações e enchentes causados pela impermeabilização do solo, a elevação dos níveis de ruídos, a poluição ambiental, entre outros. Pesquisadores e investidores tem atualmente o desafio de preservar os recursos naturais existentes, visando melhorar os resultados com o menor custo ecológico. Tais ações exigem a atenção para a redução do escoamento das águas pluviais, que tragam melhorias na qualidade da água de recarga do lençol freático e consequentemente reduzam o impacto da urbanização.

Desta forma, o desafio é dar continuidade ao desenvolvimento sem agredir o meio ambiente. Vários estudos estão em andamento para minimizar tais consequências, grande parte destes, estão relacionadas à pavimentação em concreto drenante, seguindo a cartilha da Associação Brasileira de Cimento Portland (ACI 522, 2010) e a NBR 16416 (2015).

O concreto drenante seria uma das alternativas compensatórias para evitar as enchentes, uma vez que, com a aplicação deste concreto a passagem da água é favorecida e por apresentar características de resistência mecânica e durabilidade semelhantes ao concreto convencional, pode ser uma opção de pavimentação que auxilia na capacidade de infiltração do solo, uma vez perdida com o avanço das áreas urbanas.

Excelente solução também, para o aproveitamento da área construída, permitindo que esta seja pavimentada, e ainda assim, permanecendo permeável. A redução do acúmulo de água possibilita maior atrito, conferindo outra vantagem para a pavimentação quanto ao conforto e segurança do usuário.

## 2. CONCRETO DRENANTE

Segundo Duarte e Kronka (2006), concreto permeável, também conhecido como concreto poroso ou drenante, é uma mistura do cimento Portland, agregado graúdo de graduação uniforme, pouco ou nenhum agregado miúdo, água, podendo ser utilizados aditivos para melhorar a resistência, durabilidade e trabalhabilidade. É um tipo de concreto com alto índice de vazios interligados, que deixam a sua estrutura porosa.

### 2.1 Propriedades do concreto drenante

Segundo Azañedo et al. (2007), granulometria, quantidade de cimento, relação água/cimento e quantidade de vazios são as principais propriedades do concreto drenante. A graduação do agregado tem interferência sobre o concreto poroso influenciando a resistência e a permeabilidade, que são as mais importantes propriedades que impactam no desempenho do concreto poroso.

Tartuce (1990), define permeabilidade, como a passagem de água através do material que pode ser por filtração sob pressão, por difusão através dos condutos capilares e por capilaridades. O concreto torna-se permeável através da interconexão entre os vazios, sendo esta uma importante propriedade considerando a sua exposição ao ar, aos ataques de águas agressivas ou a ação dos agentes atmosféricos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O concreto drenante se distingue do concreto convencional pela alta porosidade e alta capacidade de permeabilidade. Na Figura 1 é apresentado um tipo de concreto permeável. A alta porosidade do material diminui a resistência do concreto quando comparado ao concreto comum, sendo recomendado para locais onde a carga que o material irá receber, seja menor e a resistência seja menos exigida.



**Figura 1:** Concreto drenante.

Fonte: RODRIGUES (2014).

Segundo Yang et al. (2003 apud MONTEIRO, 2010), o concreto poroso com agregado graúdo de diâmetro máximo característico 19 mm (Brita 1) produz vantagem hidrológica por apresentar poros de maiores tamanhos e maior permeabilidade, além de menor retração e fissuração inicial quando comparado ao agregado de diâmetro máximo característico de 9,5 mm (Brita 0), porém apresenta menor resistência a compressão porque tem menor área de superfície de contato interna entre o agregado e a pasta de cimento.

Segundo Duarte e Kronka (2006), no concreto drenante, quantidades controladas de água e cimento formam um espesso revestimento em torno das partículas agregadas. Assim, criam-se muitos vazios interligados, que deixam a peça altamente permeável. Normalmente consegue-se um índice de 15 a 25% de vazios e um escoamento de água da ordem de 3,33 L/s/m<sup>2</sup>. Devido à alta porosidade reduz a resistência deste material em relação ao concreto comum, sendo indicado apenas para locais de tráfego leve ou pouco intenso.

Segundo Scheffer et al. (2006), a variação da permeabilidade do concreto compreende a faixa de 2 L/s/m<sup>2</sup> a 18,33 L/s/m<sup>2</sup>, em pavimentos sobre solo. Uma amostra para ser considerada porosa, deve apresentar de 15 a 35 % de seu volume ocupado por vazios (ACI 522, 2010).

Na Tabela 1 estão descritas as principais diferenças entre o concreto convencional e o concreto drenante.

**Tabela 1:** Características dos concretos convencional e drenante.

<b>Tipo</b>	<b>Resistência à Compressão (MPa)</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>	<b>Aditivos</b>
Convencional	20 a 60	De 30 a 50 % do agregado total	Bem graduado, grãos arredondados.	Opcional
Drenante	3 a 30	Pouco ou nenhum	Graduação aberta, grãos angulosos (Brita'0' e pedriscos)	Redutor de água, retardador de pega e incorporador de ar

Fonte: *Adaptado em:* MONTEIRO (2010).

De acordo com Ospina et al. (2007), o concreto drenante deve possuir granulometria apropriada para passagem da água pelo material. Para este tipo de concreto, utilizam-se agregados de graduação aberta, com distribuição granulométrica contínua com pouco ou quase nada de materiais finos, resultando assim, em maior volume de vazios e maior permeabilidade do concreto.

Para Henderson et al. (2009), o índice de vazios aumenta para valores entre 0,15 e 0,30 em função da redução ou eliminação do agregado miúdo na mistura do concreto. São empregados também aditivos superplastificantes com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade e o tempo de pega das misturas de concreto permeável.

Segundo Tennis et al. (2014), o concreto drenante no estado fresco apresenta elevada consistência (baixa trabalhabilidade) quando comparado ao concreto convencional. O abatimento do cone para a mistura, é considerada menor que 20 mm e são raros os casos que se emprega abatimento superior a 50 mm.

De acordo com Botteon (2017), a Associação Brasileira de Cimento Portland (ACI – 2008) sugere que o tempo útil de trabalho seja no máximo 60 minutos após a mistura com a água; e por volta de 90 minutos com a utilização de aditivos e/ou condições climáticas.

Batezini (2013), afirma que para o uso do concreto drenante em revestimento de pavimentos, a resistência mecânica de tração na flexão, e as propriedades elásticas, possuem características importantes para o comportamento estrutural. Segundo o autor, há dificuldade de resultados destes ensaios por causa das características irregulares nos corpos de prova de concreto

drenante, conseqüentemente, encontram-se nas literaturas somente estudos de comportamento referente a resistência à compressão e às condições de permeabilidade.

Kevern et al. (2009 apud BATEZINI, 2013) mostra que para a produção do concreto drenante basicamente utiliza-se uma mistura composta de agregado graúdo, apresentando condutividade hidráulica elevada (média 0,6 cm/s). Entretanto, apresenta baixas resistências a compressão (6,7 MPa à 17,5 MPa) pelo elevado índice de vazios. Nos EUA no final dos anos 90, a EPA (Agência de Proteção Ambiental) relatou que aproximadamente 75% dos sistemas de pavimentos porosos falharam no país, em função das baixas resistências dos pavimentos causadas pelo elevado índice de vazios ou por práticas inadequadas de construção, enquanto no Japão, este sistema estava sendo empregado com maior sucesso, em função das suas misturas de concreto drenante atingirem resistências à compressão de 32 MPa, porém com uma menor permeabilidade quando comparadas às americanas.

## 2.1 Aplicações do concreto drenante

Segundo a NBR 16416 (2015), o concreto drenante deve atender as especificações mostradas na Tabela 2.

**Tabela 2:** Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável.

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (Mpa)	Método de ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestre	60,0	$\geq 35,0^a$	ABNT NBR 9781 (2013)
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestre	60,0	$\geq 20,0^a$	
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestre	60,0	$\geq 2,0^b$	ABNT NBR 15805 (2015)
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestre	60,0	$\geq 1,0^c$	ABNT NBR 12142 (2010)
	Tráfego leve	100,0	$\geq 2,0^c$	

a determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781.

b determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 15805.

c determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 12142.

Fonte: Adaptado em: NBR 16416 (2015).

De acordo com BASF (2018) - *Master Builders Solutions*, os novos regulamentos de gestão de águas pluviais que estão em vigor, tornam os sistemas de concreto drenante uma solução viável, já a EPA (Agência de proteção Ambiental dos Estados Unidos) reconhece como a Melhor Prática de Gestão (BMP, “Best Management Practice”) o uso de concreto drenante, como uma alternativa aos sistemas de drenagem complexos em áreas de retenção de água, reduzindo o escoamento de águas pluviais, podendo ser aplicados também em estacionamentos, estradas e áreas com trânsito em geral. A Figura 2 ilustra um tipo de aplicação do concreto drenante.



**Figura 2:** Aplicação de concreto drenante em Pavimentação.  
Fonte: Master Builders solutions (2018).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de comparar as características do concreto, foram definidos para a pesquisa quatro traços: 1:3, 1:4, 1:5, (cimento e brita 0) e 1:1:4 (cimento, areia e brita 0), sendo escolhidos através da análise de outras pesquisas com traços variando de 1:3 a 1:5, entre elas as de Scheffer (2006). A relação água/cimento utilizada em todos os traços foi 0,34 sendo o intervalo pesquisado de 0,27 a 0,34 por Batezini (2013).

Para a amostra de concreto permeável, foi necessário obter as principais características dos materiais que compõem a mistura, e suas características no estado fresco e endurecido.

#### 3.1 Cimento Portland

Para a pesquisa, utilizou-se o cimento CPV ARI, empregados em uma fábrica de pré-moldados da região e gentilmente fornecido para os ensaios. Para o concreto poroso poderiam ser utilizados cimentos comuns juntamente com aditivos que melhorem a resistência e a trabalhabilidade. Porém, escolheu-se o CPV ARI já que ele apresenta maior ganho de resistência nas idades iniciais do concreto, sem acrescentar aditivos.

#### 3.2 Agregado Natural

O agregado graúdo utilizado foi a brita de gnaiss classificada granulometricamente como brita 0. Sua origem é da pedra Irmandade localizada na cidade de Ouro Preto. Este tipo de brita é comumente usada na produção de blocos, piso, entre outros, que exigem uma granulometria menor do material.

A areia utilizada foi a areia comum de rio, classificada mineralogicamente como areia quartzosa. Sua origem é de Entre Rios de Minas/MG, adquirida no pátio do Laboratório de Materiais do Campus Alto Paraopeba da Universidade Federal de São João Del Rei.

#### 3.3 Granulometria dos agregados

A composição granulométrica dos agregados, foi obtida de acordo com a ABNT NM 248 (2013), que prescreve o método a ser utilizado para realização do ensaio para agregados miúdos e graúdos, através do peneiramento das amostras. A composição granulométrica foi obtida por meio da porcentagem retida em cada peneira, de onde se extrai, também, a dimensão máxima característica dos grãos e o módulo de finura.

#### 3.4 Granulometria dos agregados



Para a realização do ensaio de massa específica e absorção do agregado graúdo, utilizou-se o método de pesagem hidrostática, conforme prescreve a NBR NM 53 (2003). O cálculo da massa específica se deu pela equação (3.1).

$$\gamma_{sss} = \frac{B}{B-C} \quad (3.1)$$

Onde:

$\gamma_{sss}$  é a massa específica na condição saturada superfície seca, em  $\text{kg/m}^3$ ;

B é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em g;

C é a leitura correspondente a amostra imersa em água, em g.

A absorção foi calculada pela equação 3.2, sendo realizado um ensaio com duas amostras, e o resultado obtido pela média aritmética delas.

$$a = \left( \frac{B-A}{A} \right) 100 \quad (3.2)$$

Onde:

a é a absorção, em porcentagem;

A é a massa da amostra seca em estufa.

Para a realização do ensaio de determinação da massa específica do agregado miúdo utilizou-se o método de Chapman de acordo com a NBR 9776 (1988). O cálculo da massa específica do agregado miúdo se deu pela equação 3.3.

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad (3.3)$$

Onde:

$\gamma$  é a massa específica do agregado miúdo, em  $\text{g/cm}^3$ ;

L é leitura do frasco em  $\text{cm}^3$ .

O resultado é a média de dois ensaios consecutivos.

### 3.5 Massa unitária dos agregados

Para o ensaio de massa unitária dos agregados miúdo e graúdo, seguiu-se as orientações da norma NBR NM 45 (2006). Seu cálculo foi realizado dividindo-se a massa do agregado pelo volume do recipiente, sendo o resultado a média das três determinações, tendo como unidade  $\text{kg/dm}^3$ .

### 3.6 Preparação do concreto e ensaio de consistência

O concreto de cada traço foi produzido em betoneira, obedecendo a sequência de inserção de material: metade da água, cimento e brita, areia (para o traço 1:1:4) e o restante da água.

A consistência é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto. É a partir dela que se determina o método usado para o adensamento utilizado para se trabalhar com o concreto.

Para calcular a consistência do concreto, foi utilizado o Slump Test, descrito na NBR NM 67 (1998), respeitando a relação água/cimento e os traços definidos na pesquisa. O resultado é o valor da medida do abatimento do concreto, após a retirada do tronco de cone, expresso em mm.

### 3.7 Moldagem e cura dos corpos de prova

Foram moldados três corpos de prova para cada traço de concreto produzido. Eles foram moldados em cilindros de 100x200 mm em mesa vibratória devido o resultado o teste de abatimento e seguindo as recomendações da NBR 5738 (2003). Os corpos de prova do traço

1:4 foram moldados no dia 09 outubro de 2018, do traço 1:1:4 no dia 16 de outubro de 2018, dos traços 1:3 e 1:5 no dia 23 de outubro de 2018. Na Figura 3 são apresentados moldes de corpos de prova preenchidos com concreto, utilizados na pesquisa.



**Figura 3:** Corpo de prova nos moldes.

Após a desmoldagem, os corpos de prova foram submetidos ao processo de cura, sendo imersos em água saturada com cal durante 28 dias.

### 3.8 Moldagem das placas para análise de permeabilidade

Para realizar o ensaio de permeabilidade foram moldadas placas de concreto de 400x400x80 mm. Para isso foram confeccionados moldes metálicos com as referidas dimensões. A moldagem das placas foi realizada na mesma data da moldagem dos corpos de prova do respectivo traço.

Após a produção de cada traço de concreto, estes foram colocados nos moldes sobre uma placa de superfície plana, preparados previamente com uma camada de desmoldante. O conjunto foi colocado sobre a mesa vibratória, e vibrado por 30 segundos, para que houvesse o adensamento do concreto. Após este processo o conjunto ficou em repouso por 24 horas para cura inicial, em seguida foi desmoldado e colocado em uma mistura de água e cal, para o processo de cura submersa do concreto. Na Figura 4 são mostradas as fases de produção das placas dos concretos analisados:



**Figura 4:** Processo de moldagem das placas de concreto.

### 3.9 Resistência à compressão do concreto

Após a cura dos corpos de prova, realizou-se o capeamento com enxofre para nivelamento da superfície, e o ensaio de resistência à compressão de acordo com as NBR 5739 (2007). Os resultados foram obtidos pelas médias de três CP's realizados de cada traço.

### 3.10 Ensaio de permeabilidade

O ensaio de permeabilidade do concreto foi realizado baseando-se na NBR 16416 (2015). Para a sua determinação, preparou-se um anel de aproximadamente 100 mm de altura, por 150 mm de diâmetro, de material impermeável (tubo de PVC), que foi colado com cola especial, também impermeável, com uma marcação interna de 50 mm capaz de medir o nível de água durante o ensaio. A Figura 7 representa o procedimento citado.

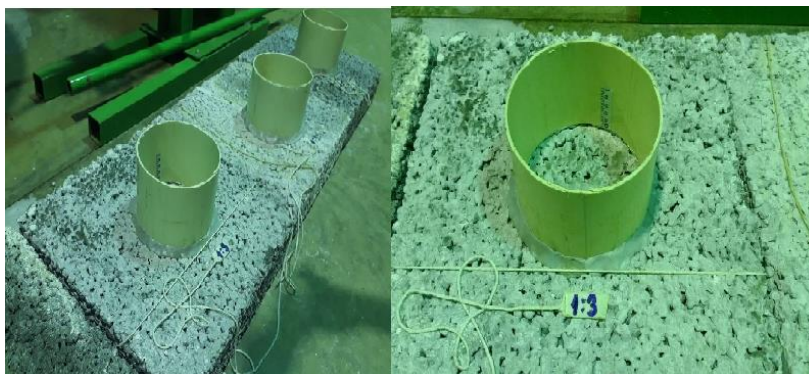


Figura 4: Preparação da placa para ensaio de permeabilidade.

Após o preparo do conjunto placa/dispositivo, aguardo-se o tempo de secagem da cola, conforme recomendado pelo fabricante. Em seguida, o conjunto foi submetido a uma vazão de água suficiente para manter o nível estável na marcação de 50 mm do tubo, com a percolação da água pelos vazios da placa. A Figura 8 representa este processo.



Figura 4: Realização do ensaio de permeabilidade.

Após a estabilização do nível, a vazão foi mensurada, recolhendo-se um volume de 2 litros de água em certo intervalo de tempo, este processo foi repetido três vezes, para o cálculo da média aritmética.

A vazão foi dada em L/s/m<sup>2</sup>, obtida pela relação da vazão encontrada pela área interna do tubo acoplado a placa. Também foi possível a determinação do coeficiente de permeabilidade (k), baseado na equação 3.4, conforme a ABNT NBR 16416 (2015):

$$K = \frac{C \cdot m}{a^2 \cdot t} \quad (3.4)$$

Onde:



K é o coeficiente de permeabilidade expresso em mm/h;  
m é a massa de água infiltrada expressa kg;  
d é o diâmetro interno do cilindro de infiltração expresso mm;  
t é o tempo necessário para toda água percolar expresso s;  
C fator de conversão de unidades do sistema SI, com valor igual a 4.583.666.000.

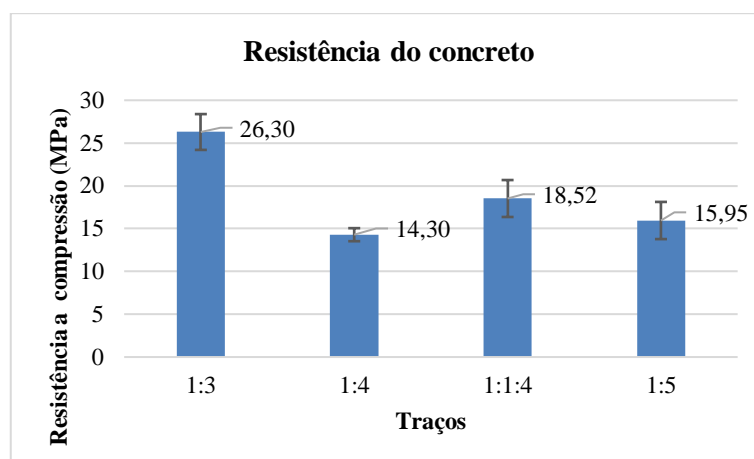
#### 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A brita analisada foi classificada como brita 0, com dimensão máxima característica de (12,50 mm) e módulo de finura igual a (2,14). Já a areia foi classificada como média fina com dimensão máxima característica de (2,4 mm) e módulo de finura de (2,6). Os resultados obtidos para a massa unitária para brita é de 1,442 Kg/dm<sup>3</sup> e para a areia é de 1,393 Kg/dm<sup>3</sup> e massa específica da brita é de 2,714 kg/m<sup>3</sup> e da areia é de 2,612 kg/m<sup>3</sup>, estão em conformidade com resultados encontrados em agregados com características semelhantes.

A absorção da brita apresentou o valor de 0,6% de água. Esses valores estão dentro do esperado para os agregados em estudo, e são de extrema importância o seu conhecimento, pois influenciará diretamente na quantidade de água que será utilizada no concreto.

##### 4.1 Resistência a compressão

O resultado de Resistência a compressão, para cada traço e respectivo desvio padrão, estão representados na Figura 5, a seguir:



**Figura 5:** Gráfico – Resistência média do concreto para os diferentes traços aos 28 dias.

O traço 1:3 com menor teor de agregados e maior teor de cimento, apresentou maior resistência. O traço 1:4 apresentou a menor resistência entre todos os traços, quando era esperado que apresentasse resistência intermediária. Os traços 1:1:4 e 1:5 apresentaram resistência intermediária.

Com os resultados obtidos, observou-se que o traço 1:4 não seguiu um padrão desejado, apresentando resistência menor que o traço 1:5, o que não deveria acontecer, pois além de ser menos poroso, apresenta maior porcentagem de pasta, o que favorece a resistência do concreto em geral. Vários fatores podem ter influenciado neste resultado, tais como interferência climática no dia da moldagem e tempo de preparação da mistura, pois as misturas foram preparadas em datas diferentes. O que se sugere é que seja estudado mais profundamente este traço.

Referente a tipo de ruptura dos corpos de prova, na maioria dos casos sofreram a ruptura cisalhada lateral, sendo classificada como Tipo E-Cisalhada, conforme indica ao Anexo A da NBR 5739 (2007). Sendo o segundo tipo de ruptura mais confiável. Pois o cisalhamento sempre ocorre em planos inclinados em relação à direção da força cortante que o gera, por isso a linha de fratura atravessando na diagonal normal e aceitável em concreto convencional, tornando também aceitável o concreto poroso. Tal característica pode ser observada na Figura 6 a seguir:



**Figura 6:** Linha de ruptura dos corpos de prova.

A aparência brocada dos corpos de prova é devido a pouca presença de materiais finos na mistura do concreto.

#### 4.2 Permeabilidade

Os resultados de permeabilidade e do coeficiente de permeabilidade e seus respectivos desvio padrão, encontrados nesta pesquisa, foram representados no gráfico da figura 7a. Já a figura 7b representa a relação resistência a compressão x permeabilidade.

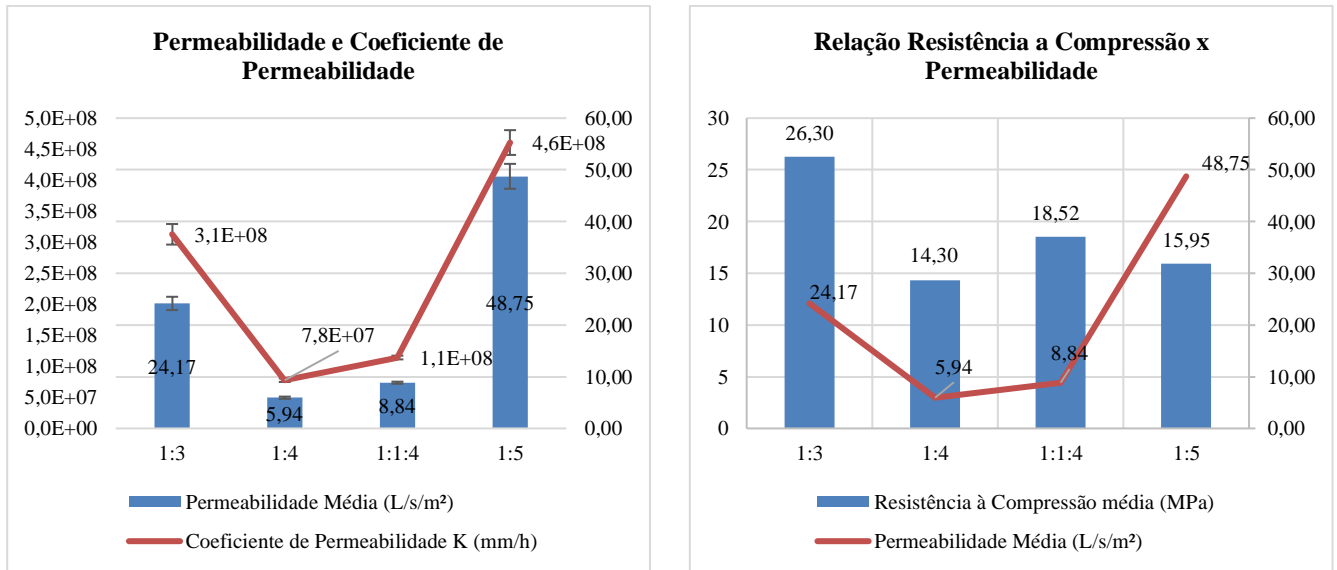
Observando estes gráficos, notou-se que os traços 1:3 e 1:5 apresentaram valores acima do limite estudo por Scheffer et al. (2006) de 2 L/s/m<sup>2</sup> a 18,33 L/s/m<sup>2</sup>. Já os traços 1:4 e 1:1:4 estão dentro desse limite. Porém foi testada apenas a permeabilidade da placa suspensa, sem influência do solo, o que pode influenciar os resultados obtidos.

O coeficiente de permeabilidade depende essencialmente da temperatura e do índice de vazios. Para o ensaio em questão, apenas foi avaliado a percolação da água em placas de concreto drenante, não se levou em consideração o solo em que as mesmas poderiam ser assentadas em caso de pavimentos.

Novamente o 1:4, que apresentou a irregularidades ao se comparar com os outros traços, esperava-se que apresentasse permeabilidade intermediária, constatando-se que realmente esse traço sofreu alguma interferência que atrapalhou o ensaio. Por esse motivo, seria interessante aprofundar mais a pesquisa e refazer o traço para servir de base de comparação.

O traço 1:5 obteve a maior permeabilidade, devido ao menor preenchimento dos vazios pela pasta de cimento. Em contrapartida a resistência é comprometida ao se comparar com o traço 1:3.

Os traços 1:3 e 1:1:4 atendem as especificações para o concreto drenante. Apresentam resistência mecânica acima de 20 MPa podendo ser aplicados em revestimento de peças de concreto permeável, utilizados para tráfego de pedestre e tráfego leve com espessuras de (60,0 mm e 80,0 mm) respectivamente.



(a) Gráfico – Permeabilidade e Coeficiente de Permeabilidade (b) Gráfico –Relação entre Resistência e Permeabilidade.  
**Figura 7: Gráficos de Permeabilidade**

#### 4.2 Análise Final

Os dados de resistência a compressão média, permeabilidade média, o coeficiente de permeabilidade e seus respectivos desvios padrões estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3: Relação entre resistência mecânica e permeabilidade.**

Propriedades do Concreto Endurecido						
Traços	Resistência à Compressão média (MPa)	Desvio Padrão	Permeabilidade Média (L/s/m²)	Desvio Padrão	Coefficiente de permeabilidade K médio (mm/h)	Desvio Padrão
1:3	26,30	2,09	24,17	1,286	312.833.902,09	16.571.508,75
1:4	14,30	0,76	5,94	0,217	77.716.057,74	2.832.133,00
1:1:4	18,52	2,16	8,84	0,207	114.274.522,18	3.008.265,77
1:5	15,95	2,17	48,75	2,411	460.685.764,90	19.957.491,02

Para análise final dos resultados, o traço 1:5, apresentou a melhor relação permeabilidade-resistência, obteve boa resistência aliada ao melhor desempenho de permeabilidade entre os traços estudados. Enquanto o traço 1:3 alcançou ótima resistência e média permeabilidade; já o traço 1:1:4 foi intermediário entre os dois. O traço 1:4, apresentou vários problemas, tendo atingido menor resistência e também menor permeabilidade.

#### 6. CONCLUSÃO

O traço 1:4 não pode ser considerado para efeito comparativo, por ter apresentado problemas em sua execução, tornando seus resultados não confiáveis. No entanto, o trabalho não foi prejudicado, pois os outros traços possibilitam concluir que:

- os resultados obtidos nesta pesquisa confirmam as informações encontradas na literatura, no qual o acréscimo de agregado miúdo afeta a resistência e permeabilidade. Nesse caso, aumenta a resistência e diminui a permeabilidade;
- os traços com menores teores de agregados (maiores teores de cimento) apresentam maior resistência, porém diminuem a permeabilidade do concreto, além do aumento do custo, que pode tornar inviável a produção do concreto;

- os resultados de permeabilidade alcançados, confirmam que o concreto drenante nos traços utilizados é uma excelente opção para minimizar os impactos gerados pelo desenvolvimento urbano crescente e;
- para o estudo em questão, comparando resistência mecânica e permeabilidade o traço 1:5 apresentou melhor desempenho com valores de (15,95 MPa) e (48,75 L/s/m<sup>2</sup>) respectivamente.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento tronco de cone. Rio de Janeiro, 1996.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 248: Agregado – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ACI – 522 - Cartilha da Associação Brasileira de Cimento Portland. Specification for Pervious Concrete Pavement. American Concrete Institute, 2010.
- AZAÑEDO, W.H.M., HELARD, C.H. e MUÑOZ, R.G.V., Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera La Victoria, cemento pórtland tipo i con adición de tiras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos, en la Ciudad de Cajamarca. Universidade Nacional de Cajamarca, 2007.
- BATEZIN, R. Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves. Dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes – Infraestrutura de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.
- DUARTE, D.; KRONKA, R. Concreto Permeável. AUT 221 – Arquitetura, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2006.
- HENDERSON, V.; TIGHE, S. L.; NORRIS, J. Pervious Concrete Pavement. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. V. 2095, p. 13-21, Nov. 2009.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. Concreto: microestrutura propriedades e materiais. 3ª Ed. IBRACON, São Paulo, 2008.
- MONTEIRO, A. C. N.; Concreto poroso: Dosagem e Desempenho. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás, 2010.
- OSPINA, C. M. M, ERAZO, C. H. B. Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos según El tipo de granulometria. Medellín, 2007.
- RODRIGUES, H., Influência do teor de argamassa e da granulometria da brita na permeabilidade e nas resistências à compressão e à abrasão de concretos permeáveis. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás, 2014.
- SCHEFFER, Fernando et al. Concreto Permeável. Universidade Federal do Paraná - UFPR, 2006.
- TARTUCE, R. GIOVANETTI, E. Princípios Básicos sobre Concreto de Cimento Portland. São Paulo. Pini/IBRACON, 1990.
- TENNIS, P.D.; LEMING, M.L.; AKERS, D.J. Pervious Concrete Pavements, EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 36p., 2004.