



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Mateus Souza Parrião

ANÁLISE DE PERMEABILIDADE E RESISTÊNCIA DO CONCRETO PERMEÁVEL PARA VIAS DE TRÁFEGO LEVE EM PALMAS -TO

Palmas-TO

2018



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Mateus Souza Parrião

ANÁLISE DE PERMEABILIDADE E RESISTÊNCIA DO CONCRETO PERMEÁVEL PARA VIAS DE TRÁFEGO LEVE EM PALMAS -TO

Projeto elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) I em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA)
Orientador: Prof. Dr. Jose Geraldo Delvaux Silva.

Palmas – TO

2018



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Mateus Souza Parrião

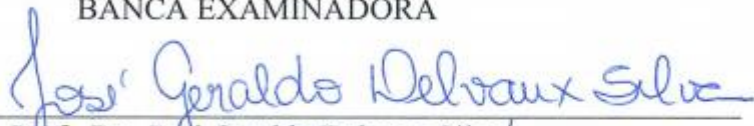
Análise de permeabilidade e resistência do concreto permeável para vias de tráfego leve em
Palmas -TO

Projeto elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Dr. José Geraldo Delvaux Silva.

PARECER:

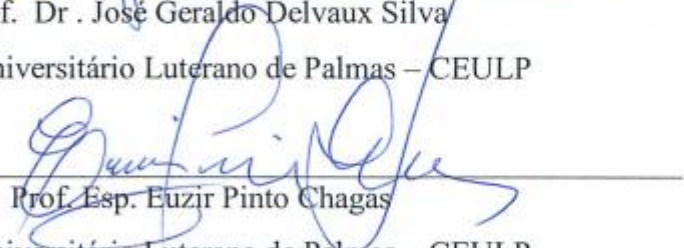
() Aprovado () Reprovado em 21 de maio de 2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Geraldo Delvaux Silva

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Esp. Miguel Angelo de Negri

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha família pelo apoio ao decorrer do curso, por me ajudarem a me tornar a pessoa que eu sou hoje.

Agradeço meus amigos que me acompanharam nessa trajetória de aprendizado.

Agradeço os Professores por me cederem o conhecimento adquirido.

RESUMO

PARRIÃO, Mateus Souza. Trabalho de conclusão de curso. 2018. **Análise de permeabilidade e resistência do concreto permeável para vias de tráfego leve em Palmas no Estado do Tocantins**. Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas – TO. Orientador Prof.Dr. José Geraldo Delvaux Silva.

Com um grande aumento da expansão urbana, acaba ocasionando o aumento das áreas impermeáveis do solo, que com as chuvas geram alagamentos que ocasiona problemas na cidade que acaba interferindo no ciclo hidrológico além de causar inundações. Uma opção para diminuir esses problemas é desenvolver o estudo e assim utilizar o concreto permeável para as vias de tráfego, que também ajuda na recuperação da infiltração do solo. O presente estudo teve como finalidade de estudar os blocos de concreto permeável para uso de pavimento de áreas de tráfego leve para Palmas –TO. Realizou-se ensaios laboratoriais de caracterização mecânica e hidráulica para 4 diferentes misturas, sendo dois tipos de traços e variou-se os tipos de agregados. A caracterização mecânica foi realizada com base em testes de resistência à compressão. E para a determinação da permeabilidade foi utilizado teste por anel de infiltração. O material estudado apresentou uma permeabilidade de ordem de 0,0115 m/s, aproximadamente, caracterizando uma alta drenabilidade para o tipo de material. Referente à resistência de compressão, nenhum dos traços testados obtiveram a resistência maior que o mínimo exigido pela NBR 9781/13, sendo que um dos três apresentou uma resistência muito superior aos outros, que foi o traço 1:4 com brita 1 apresentou uma resistência de 27,75 Mpa.

Palavras Chave: Concreto permeável, Compressão, Drenabilidade, Slump Test.

ABSTRACT

PARRIÃO, Mateus Souza. Completion of course work. 2018. **Permeability and permeability analysis of permeable concrete for light traffic in Palmas, State of Tocantins**. Course of Civil Engineering. Lutheran University Center of Palmas. Palmas - TO. Advisor Prof.Dr. José Geraldo Delvaux Silva.

With a great increase of the urban expansion, it ends up causing the increase of the impermeable areas of the ground, that with the rains generate floodings that causes problems in the city that ends up interfering in the hydrological cycle besides causing to floods. An option to reduce these problems is to develop the study and thus use the permeable concrete for the traffic routes, which also helps in the recovery of soil infiltration. The present study had the purpose of studying the permeable concrete blocks for the use of pavement in light traffic areas for Palmas -TO. Laboratory tests of mechanical and hydraulic characterization were performed for 4 different mixtures, being two types of traces and the types of aggregates varied. The mechanical characterization was performed based on tests of compressive strength. And for the determination of permeability was used per infiltration ring test. The material studied had a permeability of approximately 0.0115 m / s, characterizing a high drainability for the type of material. Regarding the compressive strength, none of the traits tested obtained the resistance greater than the minimum required by NBR 9781/13, and one of the three showed a resistance much superior to the others, that was the trace 1: 4 with crushed stone 1 presented a resistance of 27.75 MPa.

Keywords: Permeable concrete, Compression, Drainability, Slump Test.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
	1.3 OBJETIVOS.....	7
	1.3.1 Objetivo Geral	7
	1.3.2 Objetivos Específicos	7
2	REFERENCIAL.....	8
	2.1 DRENAGEM URBANA.....	8
	2.2 CONCRETO.....	10
	2.3 PAVIMENTAÇÃO UTILIZANDO CONCRETO PERMEÁVEL	11
	2.3.1 COMPOSIÇÕES DO CONCRETO PERMEÁVEL.....	14
	2.3.2 Tipos de Pavimentos Permeáveis	16
	2.3.3 Ensaios de Permeabilidade.....	17
3	METODOLOGIA	20
	3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	20
	3.1.1 Cimento Portland	20
	3.1.2 Agregado Graúdo.....	21
	3.1.3 Água.....	21
	3.1.4 Aditivo	21
	3.2 DESCRIÇÃO DOS CONCRETOS PERMEÁVEIS ESTUDADOS	21
	3.3 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	22
	3.4 ENSAIO NO ESTADO FRESCO	26
	3.4.1 Slump Test	26
	3.5 ENSAIO NO ESTADO ENDURECIDO	27
	3.5.1 Resistencia à compressão Axial	27
	3.5.2 Permeabilidade	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
	4.1 RESISTENCIA À COMPRESSÃO.....	29
	4.2 PERMEABILIDADE DO CONCRETO	30
5	CONCLUSÕES	32
6	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas urbanos é o desenvolvimento acelerado sem planejamento, que a um aumento significativo de áreas impermeáveis, que com as chuvas geram alagamentos que ocasiona problemas na cidade, como erosão e assoreamento de rios ou lago, que podem decorrer do grande volume e velocidade maior que o escoamento natural. Além disso, o grande acumulo de áreas impermeáveis tem uma direta relação com a mudança de qualidade das águas. Os poluentes e sedimentos que ficam expostos sobre tais áreas, acabam sendo transportados para os afluentes pelas águas das chuvas.

E com o grande acumulo de água pluvial nas vias, que sem a drenagem adequada, acaba ocasionando esses problemas e acidentes, por isso a importância do estudo da infiltração do concreto permeável, analisando também sua resistência, para se adequar ao trafego da via destinada.

Diante a questão dos alagamentos, os habituais conceitos sanitaristas de construção que objetivam se livrarem da água em menos tempo possível (como calha, sarjeta, bocas de lobo e reedificação da calha do rio) só transferem o problema da cheia para jusante, porque aumentam o escoamento das águas.

E isso também envolve um custo alto, e como citado acima ocorre também problemas ambientais (devido aos resíduos sólidos) e também a ligação entre de tubulações pluviais com o sistema de esgoto, frequentemente feito no Brasil.

Esse sistema muito utilizado acaba tendo dois tipos de gastos de dinheiro. O primeiro e o gasto de quando e projetado a drenagem urbana na maioria das vezes inadequadas; e a segunda e quando e preciso investir mais dinheiro para recuperar essas áreas alagadas por causa dos projetos mal feitos.

E o concreto permeável é umas das opções de pavimentação que auxilia na melhoria da capacidade de permeabilidade do solo, que vem se perdendo com o desenvolvimento urbano.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Verificar a viabilidade técnica da produção de concreto permeáveis para vias de tráfego leve em Palmas-TO.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar a resistência do concreto permeável para cada tipo de traço utilizado;
- Realizar ensaio de permeabilidade;
- Identificar os tipos de vias que ele poderá ser usado;
- Realizar o ensaio no estado fresco.

2 REFERENCIAL

2.1 DRENAGEM URBANA

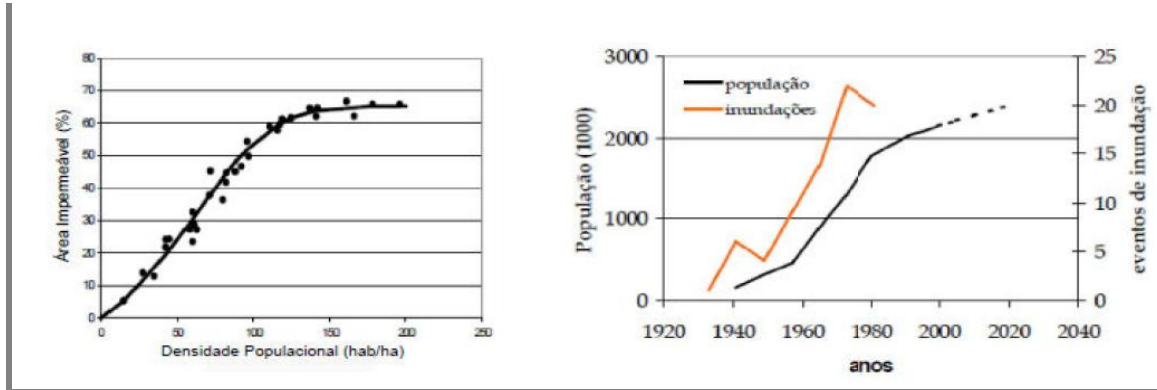
O processo de urbanização no Brasil aconteceu rapidamente e desordenadamente ao longo do século XX, inspirado pela migração populacional que mudou do meio rural pelas chances de melhorias ofertadas nas cidades. A escassez de planejamento urbano e o aumento rápido trouxeram umas consequências para os centros urbanos, tais como: os problemas no saneamento básico, grandes alagamentos devido a baixa infiltração do solo, contaminação do ambiente de cheia, grandes níveis de ruído, e outros.

A Figura 1a destaca o aumento das áreas impermeáveis, em referência a alteração da densidade urbana, fundamentada em informações retiradas nas cidades de Curitiba, São Paulo e Porto Alegre. A Figura 1b retrata o vínculo entre o aumento populacional e a elevação dos acontecimentos de inundações na cidade de Belo Horizonte (TUCCI, 2003).

As informações retiradas baseando nas medidas executada nas áreas de Chesapeake Bay e Puget Sound (CAPIELLA e BROWN, 2001) nos EUA, refere a o aumento de solo coberto comparado a estruturas construídas em locais urbanos, vinculado a locais impermeáveis com tipos diferentes de utilização em apropriação do solo (Figura 2), como mostrou Ferguson (2005). As partes escuras representam os locais pavimentados e as brancas os locais de cobertura das edificações.

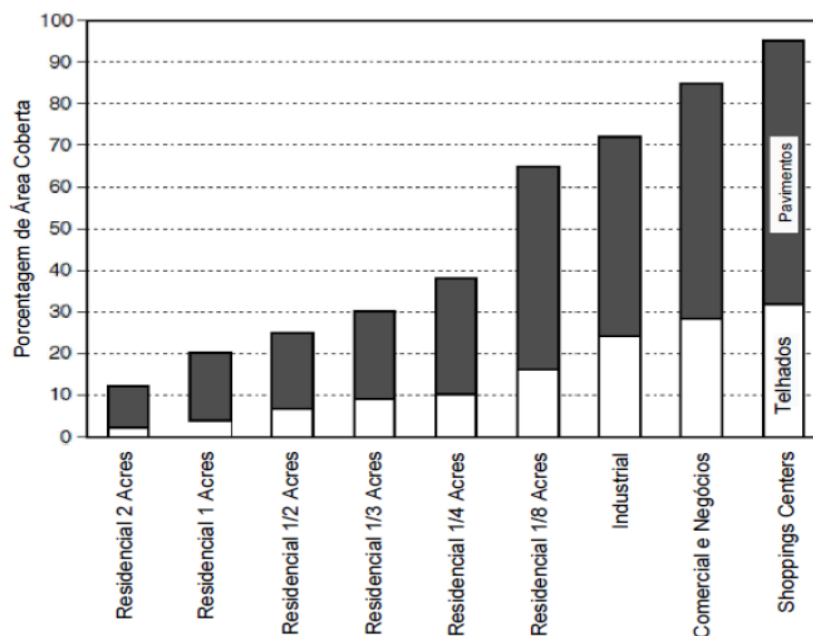
Destaca-se que, na ocasião dos dados representados na Figura 1, refere-se aos resultados exclusivo do aumento da população nos locais impermeáveis para as cidades referidas, variando estes valores a partir do local e do clima considerado, sendo que cada região obtém a própria quantidade de chuva, sendo assim podem se conformar com as diferentes condições hidrológicas.

Figura 1: a) Vínculo entre os locais permeáveis e a densidade populacional baseado nas informações das cidades de São Paulo, Curitiba e Porto Alegre. b) Vínculo entre o aumento populacional e o número de eventos de inundações em Belo Horizonte.



(Fonte: TUCCI, 2003)

Figura 2: Gráfico percentual de áreas impermeabilizadas com vínculo aos diversos tipos de utilização e apropriação do solo.



(Fonte: FERGUNSON, 2005)

Analisando a Figura 2, percebe-se que em todos os tipos de utilização e apropriação do solo as taxas impermeabilizantes, devido aos locais pavimentados, representam basicamente uns 65% da área geral impermeabilizada, restando aproximadamente 35% para os locais de cobertura das edificações. Além do mais, nota-se que os locais industriais, de negócio e comércio, de Shopping centers, retratam situações mais críticas de impermeabilização, obtendo-se assim uma mediana de 80% para os locais que tem qualquer tipo de cobertura.

2.2 CONCRETO

O surgimento do concreto foi condicionado à descoberta de um agente aglomerante cimentício. Dessa forma, pode-se considerar como o início do concreto o século II AC, quando surgiu o primeiro aglomerante conhecido. Era um Tipo especial de areia vulcânica chamada ‘pozolana’, encontrada apenas na região sul da Itália, na baía de Nápoles, próximo a Pozzuoli, de onde o nome se originou. Foi bastante usada pelos romanos em sua argamassa, dando origem a diversas construções, das quais a mais antiga de que se tem notícia é o Pórtico Amélia, construída em 193 AC. A pozolana é na verdade uma ‘areia’ especial, que reage quimicamente com cal e água, para endurecer formando uma pedra artificial, resistente mesmo quando submersa. Esse material era usado com pedras de diferentes tamanhos, mantendo as unidas e formando um tipo rudimentar de concreto (METHA e MONTEIRO, 1994)

O concreto é o material mais empregado na construção civil, e uma combinação homogênea de cimento, água, agregado graúdo e agregado miúdo podendo utilizar aditivos e adições, para melhorar o desempenho (RIBEIRO, 2015). Para o concreto obter uma característica de desempenho necessita muito da qualidade dos materiais utilizados na sua composição.

Para assegurar uma mistura certa e garantir a resistência desejada, tem que possuir materiais adequados, conhecendo as particularidades dos mesmos, e assim, calcular as quantidades de cada agregado e o fator água/cimento. E também levando em consideração os fatores de: transporte, lançamento, compactação e cura do concreto (ANDOLFATO, 2002).

Os motivos do concreto ser mais utilizado que os outros materiais são: a ótima resistência à ação da água; o fácil manuseio para obtenção de várias formas e seu volume devido à consistência plástica; baixo custo e a facilidade na obtenção da matéria prima (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A trabalhabilidade é a característica fundamental para que o concreto seja bem adensado, ou seja, é a adequação da consistência ao processo utilizado para o lançamento e adensamento. (GIAMUSSO, 1992)

2.3 PAVIMENTAÇÃO UTILIZANDO CONCRETO PERMEÁVEL

O pavimento permeável obtém uma boa característica drenante, por causa da sua elevada porosidade, conforme a sua composição. Por apresentar a capacidade de percolação da água através da sua estrutura, sendo corretamente projetada, assim esse tipo de estrutura pode ser utilizado, influenciando nos locais de vazões de pico que acontecem ao decorrer da chuva.

Concreto permeável (Figura 3) é feito por material de ligante hidráulico, brita com granulação uniforme, água e baixa ou nenhuma quantidade de agregado miúdo. Os materiais serão adicionados dependendo das combinações utilizadas, ou seja, o traço calculado, isso depende para que finalidade vai ser utilizado, depois projeta como vai querer as qualidades do concreto, que são quatro, desempenho, durabilidade, resistência e trabalhabilidade.

Conforme Li (2009), a utilização do concreto permeável começou há mais de 150 anos, mas, no entanto, ele foi aplicado para várias finalidades e apenas veio apontar um enorme avanço há pouco mais de 20 anos, especialmente nos EUA. Ultimamente, as pesquisas em relação ao desempenho mecânico e hidráulico desse tipo de material tornam-se interessante, visto que o concreto permeável pode manifestar um boa qualidade e durabilidade. Caso seja utilizado como revestimento de pavimentos, é mais usual em áreas de tráfegos leves, assim, melhorando a sua eficácia drenante, permitindo assim que alivie os níveis de impermeabilização, que foi aumentado pela urbanização das cidades.

Figura 3: Amostra de concreto permeável



(Fonte: <http://cimento.org>)

Conforme Henderson et al. (2009), quando diminui a quantidade de agregado miúdo do traço do concreto, o índice de vazios aumenta para valores de 0,15 a 0,3. Assim, a água originada das chuvas irá infiltrar no meio dos vazios do concreto permeável, com isso acaba ocorrendo a diminuição considerável do volume de escoamento que existe na superfície das águas pluviais.

O pavimento desenvolvido com concreto permeável é construído sobre a base de pedras britadas com granulometria descontínua, que será utilizado como reservatório enquanto a água proveniente das chuvas percola pelo revestimento, assim obtendo cuidados especiais com a drenagem, se o solo do subleito ter um baixo coeficiente de permeabilidade.

Conforme Dellate e Clearly (2006), encontra-se três tipos de concretos permeáveis que conseguem ser representados pelo grau de resistência e drenabilidade. Os concretos são: Hidráulico, Normal e Estrutural. O concreto permeável hidráulico possui os materiais com baixa resistência mecânica e uma grande permeabilidade, empregado em locais não estruturais. O segundo é o concreto permeável normal, ele obtém resistência e permeabilidade intermediárias, e empregado em estacionamentos e calçadas, tendo uma mistura sem a colocação de agregado miúdo em sua composição. O último é o concreto permeável estrutural, que tem uma elevada resistência mecânica, mas com uma baixa permeabilidade,

por que diminuiu a quantidade de vazios, pelo fato de ter adicionado materiais de granulometria reduzida na composição, ele é empregado em ruas, avenidas e estacionamento, ou seja, locais de tráfego pesado.

No ano de 2015 foi apresentado a “NBR 16416:2015- Pavimentos Permeáveis de Concreto – Requisitos em Procedimentos”, que determina os requisitos mínimos para projetos, especificações, execuções e manutenções do pavimento de concreto permeável. A NBR apresenta as definições dos pavimentos e também os requisitos mínimos para a estrutura conforme o uso, descrito na Tabela 1, e apresenta a permeabilidade mínima vinculada com o tipo de revestimento.

Tabela 1 - Requisitos mínimos do revestimento permeável

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Coefficiente de permeabilidade do pavimento recém-construído (m/s)
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 35,0^a$	$> 10^{-3}$
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 20,0^a$	
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 2,0^b$	
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 1,0^c$	
	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 tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142.

Fonte: NBR 16416 (ABNT, 2015)

As quantidades de água, cimento colocada na mistura do concreto permeável são cuidadosamente dosadas com a intenção de se obter uma pasta espessa que fique ao redor dos agregados. A composição deve-se ter pouco ou nenhum agregado miúdo para que obtenha um material com um elevado índice de vazios, que, com a ajuda das conexões dos seus vazios, assim tendo uma melhor drenabilidade.

Conforme Delatte et al. (2009), a percolação da água característica do concreto permeável diferencia normalmente entre 0,1 e 0,9 cm/s, mesmo esse valor podendo ser diferente, por causa principalmente o tipo de traço utilizado na fabricação do concreto e da qualidade na sua execução de preparo.

2.3.1 COMPOSIÇÕES DO CONCRETO PERMEÁVEL

O concreto permeável é fabricado com os materiais iguais o da composição do concreto de cimento Portland convencional (CCP), A diferença entre eles, e que os permeáveis contêm quase nada ou nenhum agregado miúdo (ACI, 206; TENNIS et al. 2004). As quantidades usadas na composição do concreto permeável em geral é mais restrita que a composição do CCP, e na hora da dosagem tem que obter um controle visual rigoroso para que assim consigam as características e o resultado ideal desejado no produto final (TENNIS et al. 2004).

As quantidades de materiais diferenciam conforme os tipos de insumo disponíveis no local de utilização, mas o correto é todas as vezes realizar experimentos e procedimentos de dosagem em laboratório, que servirá como auxílio para definir as proporções dos materiais (dosagem racional). Na Tabela 2 são apresentadas as faixas típicas de consumo e proporções dos materiais aplicados no preparo do concreto permeável conforme a ACI 522R-10.

Tabela 2 - Consumos e proporções típicos nas misturas de concreto permeável

Materiais	Proporções (kg/m ³)
Material cimentício (kg/m ³)	270 a 415
Agregado graúdo (kg/m ³)	1190 a 1480
Relação água/comento (a/c) em massa	0,27 a 0,34
Relação cimento/agregado em massa	4 a 4,5:1
Relação agreg. miúdo/agreg. graúdo em massa	0 a 1:1

Fonte: ACI (2010)

Conforme a ACI (2010), as composições de concreto permeável geralmente tendem a aumentar a resistência de compressão na sequência de 2,8 a 28,0 Mpa. Então, mesmo obtendo um alto índice de vazios, as misturas dos agregados que compõe o concreto permeável garantem uma boa resistência.

A quantidade mínima de teor de vazios mostrado pelo boletim ACI 522R-10 é de 15% sendo capaz de chegar a até 35%, valores acima deste não são indicados por que o material tem sua resistência muito reduzida.

Na taxa de drenagem do pavimento de concreto permeável só ocorrerá variação dependendo da densidade na mistura e da espessura do agregado, mesmo assim ele deverá ficar entre a faixa de 81 a 730 l/min/m². E a granulometria utilizada na combinação tendem a ser uniforme, variando o diâmetro entre 9,5 e 19 mm (ACI, 2010).

Segundo a NBR 16416 (2015) pavimentos de concreto permeável moldado “in loco”, tem que apresentar resistência a tração na flexão, parecido ou superior a 2 Mpa em tráfego leve e parecido ou superior a 1 Mpa em tráfego de pedestre.

No que se refere à moldagem do concreto permeável, não tem nenhum método específico normatizado. Entretanto, Schaefer et al. (2006) repararam que a sequência dos materiais na hora da mistura influenciava no resultado final. Desse modo eles desenvolveram um procedimento diferente do tradicional, em que os agregados são misturados com água e depois é colocado o cimento. Nesse novo método os agregados são misturados com uma porcentagem pequena de cimento e depois e colocada a água com o restante do cimento – utilizando esse método foi alcançado um material como melhores propriedades mecânicas e hidráulicas.

Segundo Hölztz (2011), o concreto permeável tem sua densidade afetada, diretamente, por causa das propriedades e proporções dos materiais usados e na metodologia de compactação utilizada. O normal é encontrar uma densidade na ordem de 1600kg/m² a 2000 kg/m³.

Suleiman et al. (2006) analisaram que a energia de compactação nas propriedades do concreto permeável e chegaram a uma conclusão que nas moldagens utilizando 15 golpes de bastão metálico em cada uma das três camadas do corpo de prova cilíndrico, com vibração após, melhorar as condições de resistência mecânicas depois da cura, sem obter prejuízo a condutividade hidráulica.

2.3.2 Tipos de Pavimentos Permeáveis

Os pavimentos permeáveis também são conhecidos como estruturas reservatório. Raimbault et al. (2002) afirmam que essa denominação refere-se às funções realizadas pela matriz porosa de que são constituídos:

- Função mecânica, associado ao termo estrutura, que permite suportar os carregamentos impostos pelo tráfego de veículos;
- Função hidráulica (associada ao termo reservatório) que assegura, pela porosidade dos materiais, reter temporariamente as águas, seguido pela drenagem, e, se possível, por infiltração no solo de subleito.

Segundo Azzout et al. (1994), o funcionamento hidráulico dos pavimentos permeáveis baseia-se em:

- Entrada imediata da água da chuva no corpo do pavimento. Essa entrada pode ser feita de forma distribuída (no caso de revestimento poroso, que permitem a penetração da água) ou localizada mente (através de drenos laterais ou bocas de lobo);
- Estocagem temporária da água no interior do pavimento, nos vazios da camada do reservatório;
- Evacuação lenta da água, que é feita por infiltração no solo, pela liberação lenta para a rede de drenagem, ou uma combinação das duas formas.

Azzout et al. (1994) caracterizam quatro tipos de pavimentos permeáveis. Segundo eles, o pavimento pode possuir revestimento drenante ou impermeável e ainda ter função de infiltração ou apenas de armazenamento.

Segundo Schueler (1987), o projeto de concretos permeáveis para pavimentação encaixa-se em três tipos básicos de categorias, necessita de um reservatório de água que obtenha a capacidade que sustenta a infiltração do solo. São elas:

- **Sistema de infiltração total:** o único local de saída da água e mediante da percolação do solo. Portanto, o reservatório de pedras deve ter um tamanho suficiente para atender a quantidade de escoamento proveniente da chuva de projeto, menos o volume que é infiltrado durante a chuva. Desse jeito, o sistema favorece o controle de toda a

descarga, do volume e da qualidade da água, para todas as possibilidades de chuva de amplitude menor ou igual à chuva de projeto.

- **Sistema de infiltração parcial:** Nos casos aonde o solo não obtém uma índice de infiltração bom, tende-se a utilizar o sistema de infiltração parcial. Assim, deve ser instalado um sistema de drenagem enterrado, que são tubos com o espaçamento regular, ficam na parte de cima do reservatório de pedras. O funcionamento do sistema serve para coletar o vazamento de água que não foi suportado pelo reservatório de pedra, transportando o líquido para uma saída central. O autor propõe que que a rede de drenagem deve ter um espaçamento e tamanha dimensionado para receber no mínimo uma chuva que obtenha dois anos de tempo de retorno.
- **Sistema de infiltração para controle de qualidade da água:** Este sistema utiliza-se para a coleta somente do “first flush” do escoamento, que é o fluxo inicial da chuva, que onde vai ter a aparição de poluentes vindo do escoamento da chuva. As grandes quantidades de água não são tratadas pelo sistema, sendo encaminhado entre os drenos direto para um coletor de água pluvial.

Os pavimentos de concreto permeáveis podem também receber a vazão da superfície proveniente de outros locais, tais como telhados ou outras áreas impermeáveis. Neste caso, antes da chegada da água ao pavimento, devesse passar por um tratamento inicial que remova os sedimentos, óleos e partículas em suspensão, que assim evita-se a acumulação de resíduos no dispositivo.

2.3.3 Ensaio de Permeabilidade

Conforme a NBR 16416 (2015) – Pavimento permeável, é indicado três formas de se obter o coeficiente de permeabilidade. O primeiro caso é indicado uma adequação da NBR 13292 (1995) que trata da “Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares de cargas constantes”, para achar o coeficiente de permeabilidade do concreto permeável. O sistema utilizado no ensaio e mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Permeâmetro de carga constante



(Fonte: i.ytimg.com/vi/Q6CcstDnZ20/maxresdefault.jpg)

Como segunda opção, estar mostrando na Figura 5, que é a fixação de um anel de infiltração cilíndrico vazado com altura de 40mm, que é colocado no local onde ocorre o ensaio e isolado da parte de contato do pavimento. Logo após, e determinado uma quantidade de água para ser colocada no cilindro é cronometrado a partir que o líquido toca no concreto até não obter nenhuma água na superfície do mesmo. Tendo assim a quantidade de água, tempo de infiltração e a área do cilindro consegue determinar a permeabilidade do pavimento permeável.

Figura 5- Coeficiente de permeabilidade pelo método de anel de infiltração

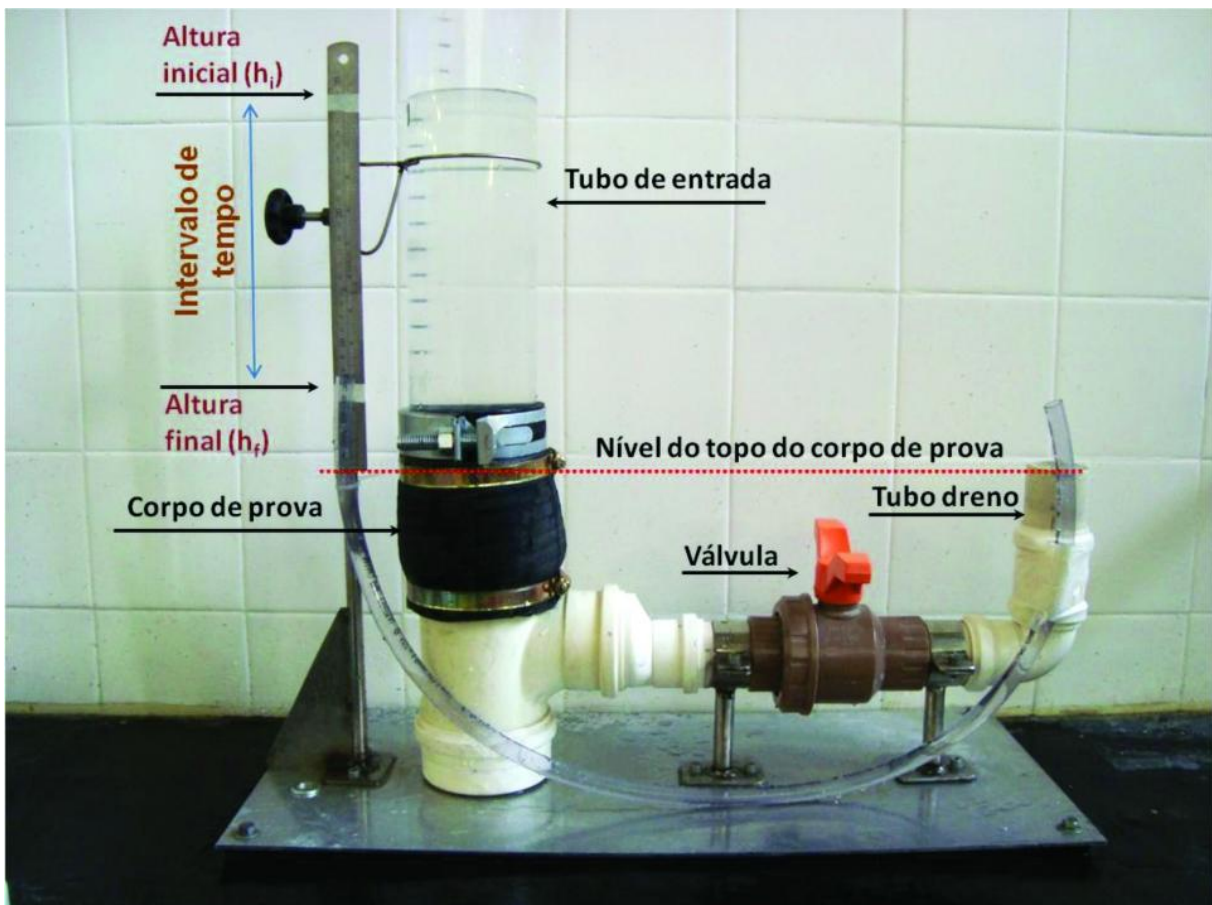


(Fonte: www.temsustentavel.com.br/)

Ainda conforme a NBR 16416 (2015) a permeabilidade para concreto permeável em pavimento tem que ser maior que 0,001 m/s – como mostrado na Tabela 1.

O terceiro método utilizado para obter o coeficiente de permeabilidade do concreto permeável, que é bastante utilizado, é o método que tira como base da proposta mostrada por Neithalath et al. (2003). Este método é feito da seguinte maneira, e colocado uma amostra de concreto permeável dentro de um tubo de acrílico que é um pouco maior que o corpo de prova utilizado, e assim, outro tubo é usado para formar um reservatório sobre o corpo de prova. A ligação do tubo superior com a amostra tem que ser selada para garantir que o líquido só vai passar pelo concreto, como mostra a Figura 6. No corpo de prova é colocada uma manta látex, para evita o fluxo de água escorra pelas laterais, ou seja, toda água entra pela parte superior e sai pela inferior.

Figura 6 – Aparelho para medição de condutividade hidráulica.



(Fonte: <http://www.rhinopisos.com.br/>)

Ao decorrer do ensaio deve ser cronometrado o tempo que leva para a coluna de água percolar entre o corpo de prova. E depois que é obtido os dados o coeficiente de permeabilidade é calculado por meio da lei de Darcy.

3 METODOLOGIA

Para o estudo de caracterização mecânica e hidráulica de concreto permeável para vias de tráfego leve (estacionamento e calçadas) em Palmas-TO foram preparadas amostras de blocos retangulares. As moldagens posteriormente realizadas no laboratório do Centro Universitário Luterano de Palmas- CEULP/ULBRA, em Palmas - TO, que disponibilizou suas instalações.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 Cimento Portland

O tipo de cimento utilizado na produção do concreto permeável, foi o CP V – ARI, porque ele não possui a adição de minerais e assim a sua resistência chega no máximo em pouco tempo, podendo assim desmontar os corpos de prova em 24 h, sem ocorrer alguma ruptura na estrutura na hora da retirada do molde. As informações do cimento são descritas na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Relatório de especificação do cimento

Parâmetros	CP IV-32			
	CP II-F-32	CP II-Z-32	RS	CP V-ARI
Tempo de início de pega (horas)	>1	>1	>1	>1
Óxido de Magnésio (%)	< 6,5	< 6,5	< 6,5	< 6,5
Perda ao fogo (%)	< 6,5	<6,5	<4,5	<4,5
Resíduo insolúvel (%)	<2,5	<16		<1,0
Oxido Sulfúrico (%)	<4,0	<4,0	<4,0	
Resistencia à compressão (Mpa)				
1 dia				> 14,0
3 dias	>10,0	>10,0	>10,0	>24,0
7 dias	>20	>20	>20	>34
28 dias	>32	>32	>32	
Adições permitidas (%)				
Escória	0	0	0	0
Filer Calcário	6 a 10	0 a 10	0 a 5	0 a 5
Material pozolânico	0	6 a 14	15 a 50	0

Fonte: Cimento ITAMBÉ

3.1.2 Agregado Graúdo

Foi utilizado como agregado a brita 0 (ou pedrisco), devido às suas dimensões pequenas dando uma compactação melhor no concreto. Sua granulometria é de 4,8mm a 9,5 mm, sendo bastante utilizada em blocos de concreto intertravado. O outro agregado que utilizou é a brita 1, que apresenta uma dimensão variando de 9,5mm a 19 mm, que é a brita mais encontrada no concreto.

3.1.3 Água

Para a produção do processo de fabricação do concreto permeável foi utilizada a água proveniente da rede pública local, fornecida pela BRK Ambiental (TO)

3.1.4 Aditivo

Utilizou o aditivo super plastificante, para que o agregado tivesse mais liga com o cimento, e com isso aumentasse sua resistência por causa da liga entre os agregados.

3.2 DESCRIÇÃO DOS CONCRETOS PERMEÁVEIS ESTUDADOS

A dosagem para cada um dos traços foi pré definida a partir da revisão da literatura, de maneira empírica. Dessa forma, para avaliar qual seria a variação de permeabilidade e resistência a compressão em função dos diferentes diâmetros de agregado graúdo foram analisados diferentes traços, que tem de uma relação água e cimento (a/c) em massa de 0,22; a quantidade de cimento foi de 7 kg para cada traço, com relação de cimento/agregado (l/m) de 1:4 e 1:5, com 15% de aditivo super plastificante e variação de agregado em brita 0 e brita 1. Na Tabela 4 são demonstrados os materiais utilizados.

Tabela 4: Composições utilizadas

Materiais	Unidade	Traço 1 (brita 1 e 0)	Traço 2 (brita 1 e 0)
Consumo de Cimento	kg	7,00	
Consumo de Agregado	kg	28,00	35,00
Relação a/c em massa		0,22	
Relação cimento/agregado em massa		1;4	1;5

(Fonte: Autoria Própria)

3.3 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Schaefer et al. (2006) estudaram diferentes procedimentos de misturas para confecção de corpos de prova de concreto permeável em laboratório. Os autores concluíram que a de como e colocado cada material influencia na eficiência do produto final e dessa forma foi feito um processo pelo qual foi obtido um material com um melhor desempenho mecânico e hidráulico. São apresentados a seguir o seguinte procedimento:

Adicionou-se toda a brita na betoneira com mais 5% do peso do cimento, misturando por 20 segundos e em seguida adicionou-se todo o material e procedeu uma mistura por 3 minutos e no meio do tempo foi adicionado o superplastificante.

Na Figura 7 demonstra os materiais separados já pesados pronto para serem adicionados na betoneira. A seguir a Figura 8 demonstra os materiais já misturados.

Figura 7: materiais utilizados nos traços.



Figura 8: materiais misturados na betoneira.



Foi realizada também uma análise visual da mistura pronta, que é um dos métodos utilizados na prática para controle da execução do concreto permeável, na qual se observa, após o término do tempo de mistura, se as partículas estão inteiramente cobertas de argamassa e se a mistura apresenta um aspecto brilhoso, também utilizando o teste tátil para ver como está a aglomeração das partículas. Na Figura 9 é demonstrada a realização do teste tátil visual.

Figura 9: Teste táctil.

Após o término da mistura fez-se o molde dos corpos de provas dos intertravados nas formas de 80mm, compactando a massa nas formas para que o agregado do concreto se se junta mais perdendo a maioria dos vazios, mas só colocando a massa do concreto na forma o agregado não se compacta, então foi utilizado também a mesa vibratória por 10 segundos, para que o agregado ocupasse todos os vazios da forma.

O tempo que utiliza a mesa tem que ser reduzido para evitar que a pasta segregue, fenômeno passível de ocorrência, devido ao baixo teor de aglomerante característico desse tipo de mistura. O excesso de vibração tende a fechar os espaços vazios da porção superior dos corpos de prova, diminuindo assim a capacidade drenante. As Figuras 10 e 11 retratam o procedimento de molde dos intertravados.

Figura 10: Molde



Figura 11: utilização da mesa vibratória.



Em seguida os blocos de concreto foram colocados em uma câmara úmida, seguindo as instruções para cura da NBR 5738/94. Os blocos de concreto foram mantidos na câmara úmida pelo período de 7 e 28 dias uma vez que, diferente do concreto convencional, as amostras de concreto permeável não apresentaram estrutura suficientemente estável para serem desmontados após 24 horas, conforme preconiza a norma.

3.4 ENSAIO NO ESTADO FRESCO

3.4.1 Slump Test

O ensaio que determina a consistência foi feito pelo abatimento do tronco de cone (Slump test), utilizando como referência a norma NBR NM 67/98. Na Figura 13 é demonstrado o teste que não obteve uma boa trababilidade por causa da falta de agregado miúdo.

Figura 13 – Slump test



3.5 ENSAIO NO ESTADO ENDURECIDO

3.5.1 Resistencia à compressão Axial

O ensaio de compressão axial foi realizado conforme a norma NBR 5739/07, utilizando uma prensa da marca EMIC PC 201. Os corpos foram colocados na prensa, e receberam uma carga de mais ou menos 50 N/s, até eles romperem. Este procedimento é utilizado para saber o máximo de compressão que os corpos de prova resistem. Esse ensaio foi realizado após o período de cura em 7 e 28 dias, conforme a Figura 14 a seguir.

Figura 14: Compressão Axial



O menor valor para a resistência de uma peça de concreto permeável é de 35 MPa, sendo considerado um valor elevado, se comparado à resistência de peças que não tem função estrutural pela NBR 9781/13. Como demonstra na tabela 5

Tabela 5 - Resistencia característica a compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f _{pk}) aos 28 dias Mpa
Tráfegos de pedestre, veículos leves e veículos comerciais de linha	>35
Tráfegos de veículos especiais e solicitação capazes de produzir efeito de abrasão acentuada	>50

Os lotes de peças de concreto entregues ao cliente com idade a 28 dias devem apresenta no mínimo 80% do f_{pk} especificado na Tabela 5, no momento de sua entalção, sendo que aos 28 dias o f_{pk} tem que ser superior ou igual ao especificado na Tabela 5.

3.5.2 Permeabilidade

Para a obtenção do coeficiente de permeabilidade foi utilizado o método do anel de infiltração que é demonstrado no item 2.3.3, que utiliza-se um cilindro com a área pré-definida fixa ele na peça de concreto, para evitar que a água saia pelas laterais e que faça um volume que também e determinado antes de colocar no cilindro, após e cronometrado o tempo que leva para toda a água infiltra pela peça de concreto, pausando quando não obtém nenhuma água. Obtendo o tempo de percolação, e utilizando a área do cilindro e o volume de água utilizado, calcula-se o coeficiente de percolação com a equação I abaixo:

$$k = V/(Ac*T)$$

Equação I

Sendo:

k = Coeficiente de Permeabilidade (m/s)

Ac = área da secção do cilindro (m²);

T= tempo decorrido de escoamento (s);

V = volume d'água utilizada (m³).

Demonstrando assim na Figura 15 a execução do teste de permeabilidade:

Figura 15: Ensaio de permeabilidade.



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESISTENCIA À COMPRESSÃO

Os resultados de resistência à compressão estão apresentados na Tabela 5. Eles encontram-se na faixa de valores verificada na revisão bibliográfica, em que a resistência à compressão de concreto permeável que varia entre 4,1 Mpa a 55,8 Mpa. Estes valores encontram-se adequados para ser utilizados tanto em calçadas e estacionamento que está acima de 20 Mpa. Também evidenciou-se que utilizando o traço 1:5 a resistência do concreto normalmente fica baixa, visto que apresenta mais espaços vazios do que a 1:4.

Tabela 5: Resistência à compressão.

Resistencia à Compressão (Mpa)						
Traços	Resultados 7 dias		Media	Resultados 28 dias		Media
T1:4(brita 1)	19,10	25,10	22,12	27,60	27,90	27,75
T1:4(brita0)	15,60	18,40	17,02	21,30	22,10	21,70
T1:5(brita 0)	15,30	15,90	15,59	19,50	18,70	19,10
T1:5(brita 1)	11,20	11,70	11,49	24,30	19,10	21,71

Foi demonstrado nos testes de 7 e de 28 dias, que o traço obteve uma variância de resistência de 5 Mpa a 8 Mpa, sendo que o T1:4 (brita 1) já obteve uma resistência de 27,75 Mpa e o T1:5 (brita 1) 21,71 isso demonstra que mesmo com agregados iguais, o aumento da quantidade de brita fez com que elevasse os níveis de vazios abaixando a resistência. Nos traços de brita 0 as resistências dos traços com mais agregado ficou 2,6 Mpa menos resistente, devido ao aumento da quantidade de vazios.

Dos quatro resultados obtidos, nenhum ficou acima dos 35 Mpa que é o mínimo para peças de concreto permeável de vias de tráfego leve, segundo a NBR 9781/13 -“Peças de concreto para pavimentação – Especificação e método de ensaio”. Mas um traço obteve a resistência muito superiora os outros, que foi de 27,75 Mpa, isso comprova que mesmo com um alto índice de vazios, o traço dos agregados obteve uma boa resistência.

4.2 PERMEABILIDADE DO CONCRETO

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da média para 4 corpos de prova de cada mistura.

Tabela 6: coeficiente de permeabilidade

Permeabilidade		
Traços	k (cm/s)	K (m/s)
T1(brita 0)	0,84	0,0084
T1(brita1)	1,15	0,0115
T2(brita 0)	0,93	0,0093
T2(brita 1)	1,27	0,0127

Observa-se que os valores médios de permeabilidade obtidos neste estudo variam de 0,84 a 1,27 cm/s. Estes valores se apresentam dentro da faixa daqueles descritos pela grande maioria dos autores que testaram esse parâmetro em concretos permeáveis, apresentando resultados variando entre 0,01 cm/s e 1,5 cm/s.

A drenagem do pavimento permeável está diretamente ligada aos vazios característico do material, visto que quanto maior a porosidade, maior será a sua condutividade hidráulica. Ainda neste contexto, o processo de compactação deve ser selecionado e aplicado com cuidado, uma vez que, mesmo o material possuindo uma elevada porosidade, ao empregar um

procedimento inadequado de compactação pode causar a redução da interconectividade entre os poros, prejudicando a capacidade permeável do material.

Na comparação da variação da permeabilidade entre os blocos de concreto, constatou uma diferença entre eles é de 0,43(cm/s) demonstrando uma pequena diferença, mas que ocorre por causa da mudança de traços, assim o traço 1:5 de brita 1 obteve a maior permeabilidade, que já era esperada por causa da dimensão do agregado que sobrepõe o tamanho da brita0 e assim obtendo mais vazios para o deslocamento da água.

5 CONCLUSÕES

O trabalho de pesquisa realizado permitiu elaborar as seguintes conclusões principais:

- O slump teste que ocorreu no estado fresco demonstrou uma ineficiência, porque não obteve uma boa trabalhabilidade, isso foi influenciado pelo tipo de material utilizado, assim podendo elaborar estudos para analisar uma melhoria para o manuseio do concreto permeável, sem ele perde seu principal papel que é a permeabilidade.
- A permeabilidade obtida pelos traços estudados teve o valor máximo de 0,0127m/s, demonstrando assim um alto índice de permeabilidade.
- Os corpos de provas estudados obtiveram uma permeabilidade maior que a mínima, de 0,001m/s, indicada pela NBR 6416/15;
- A resistência a compressão mínima dos traços foi de 19,10 Mpa e a máxima de 27,75 Mpa, dessa forma nenhum dos blocos de concreto ficou acima do mínimo que é 35 Mpa, conforme a NBR 9781/13.
- Conforme as misturas estudadas, três delas podem ser utilizadas em vias de pedestre que são: T1:4 (brita 0), T1:4 (brita 1) e T1:5 (brita1). O T1:5 (brita 0) utiliza-se para calçadas residenciais, que não obtém um fluxo alto de pessoas, por causa da resistência que ficou muito abaixo das outras vias em questão.

De forma geral, o traço que sugere o melhor desempenho, é o T1:4 (brita 1) pela resistência à compressão que apresentou um resultado muito elevado comparado com os outros traços, porém não ficou acima do mínimo, podendo assim elaborar um estudo que aumente a resistência do concreto permeável para adequar a vias de tráfego leve sem perde sua permeabilidade, pelo fato de ter obtido um alto índice de permeabilidade (1,15 cm/s)sendo também um dos fatores que levou a baixa resistência.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13292**: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a cargas constantes – Método de ensaio. NBR 13292 Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: Pavimento permeável de concreto – Requisitos e procedimento. NBR 16416 Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. NBR 5738 Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de Compressão para Corpos de Prova Cilíndricos. NBR 5739 Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. NBR 67 Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. NBR 6118 Rio de Janeiro, 2014.

AZZOUT, Y., BARRAUD, S., CRES, F. N., ALFAKIH, E .1994.; Techniques alternatives em assainissement pluvial. Paris: Technique et Documentation – Lavoisier. 372p.

BAPTISTA, Marcio; NACIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie, **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**, Porto Alegre: ABRH, 2011.

CANHOLI, Aluísio. **Drenagem urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CAPIELLA, K; BROWN, K. **Impervious Cover and Land-use in the Chesapeake Bay Watershed**. Center for Watershed Protection (CWP), Ellicott City, MD, 2001.

DELLATE, N; MRKAJIC, A; MILLER, D. I. **Field and Laboratory Evaluation of Pervious Concrete Pavements**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. V. 211, p. 132 -139, Nov. 2009.

FERGUSON, B. K. **Porous Pavements – Integrative Studies In Water Management and Land Development**, Taylor & Francis Group CRC Press, 577p., 2005.

HÖLTZ, Fabiano C. **Uso de Concreto Permeável na Drenagem Urbana: Análise de viabilidade técnica e de impacto ambiental**. 2011. 118 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/35615>>. Acesso em: 10 out. 2017.

HENDERSON, V. **Pervious Concrete Pavement: Na Integrated Laboratory and Field Study**. CivE 742. University of Waterloo, Ontário, Canadá. 2008.

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.

LI, J. **Mix Design of Pervious Recycled Concrete**. GeoHunan International Conference – Material Design, Construction, Maintenance, and Testing of Pavements, 2009. Disponível em: <[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41047\(354\)15](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41047(354)15)>. Acesso em 5 out. 2017.

NEITHALATH, N. et al. **Development of Quiet and Durable Porous Portland Cement Concrete Paving Materials**. Final Report, The Institute for Safe, Quiet, and Durable Highways, 2003. Disponível em: <http://www.ntl.bts.gov/lib/24000/24600/24636/SQDH2003-5_Final_Report.pdf>. Acesso em 19 set. 2017.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Trad. Salvador e. Giammusso. 2. Ed. São Paulo: PINI, 1997.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland**, 13. Ed. São Paulo: Globo, 1998.

SCHAEFER, V.; WANG, K.; SULEIMAN, M.; KEVERN, J. **Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates**. Final Report, Civil Engineering, Iowa State University, 2006. Disponível em: <http://www.ctre.iastate.edu/reports/mix_design_pervious.pdf>. Acesso em: 16 set 2017.

SHUELER, T., 1987. Controlling Urban Runoff: A practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs.

SULEIMAN, M. T.; KEVERN, J.; SCHAEFER, V. R.; WANG, K. **Effect of Compaction Energy on Pervious Concrete Properties**, Proceedings of Concrete Technology Forum: Focus on Pervious Concrete, Nashville, TN, May 24-25, 2006.

TENNIS, P. D.; LEMING, M. L.; AKERS, D. J. **Pervious Concrete Pavements**, EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 36p., 2004.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. **Controle do impacto da urbanização** In: Drenagem urbana, ABRH, 428p, 1995.

VIRGILIIS, A. L. C. **Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias**. 2009. 191p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Departamento de Engenharia de Transporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.