

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA VICTOR CIVITA – FATEC TATUAPÉ

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONTROLE DE OBRAS

VANDERLEI BATISTA BRASIL

PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL

São Paulo

2021

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA FACULDADE DE TECNOLOGIA VICTOR CIVITA – FATEC
TATUAPÉ**

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONTROLE DE OBRAS

VANDERLEI BATISTA BRASIL

PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL

Trabalho de Graduação apresentado por Vanderlei Batista Brasil como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Controle de Obras, da Faculdade de Tecnologia do Tatuapé – Victor Civita, elaborado sob a orientação da Prof. Ma. Márcia Freitas Abab Gonzaga.

São Paulo

2021

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA VICTOR CIVITA – FATEC TATUAPÉ

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONTROLE DE OBRAS

Vanderlei Batista Brasil

PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL

Aprovado em: 08 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Fernando de Melo Correia - Fatec Tatuapé

Prof. Esp. Odair de Oliveira Rosa - Fatec Tatuapé

Prof. Me. Márcia Freitas Abad Gonzaga - Fatec Tatuapé

Vanderlei Batista Brasil¹, Márcia Freitas Abad Gonzaga²

Faculdade de Tecnologia Victor Civita – FATEC Tatuapé
Tecnologia em Controle de Obras

Resumo – A pavimentação do solo oriundo da necessidade por obras de infraestrutura urbana tem sido um dos principais agentes causadores de enchentes tão comumente ocorridas em períodos chuvosos. O pavimento de concreto permeável tem a capacidade de atender de forma integrada a função de resistir com certas limitações às solicitações de esforços mecânicos e prover a função de atuar como dispositivo hidráulico capaz de mitigar a ineficiência da drenagem urbana, dessa forma é possível afirmar que esta tecnologia tem a capacidade de fornecer soluções aos problemas advindos das construções de uma forma harmoniosa com o meio ambiente no que se diz respeito as alterações no ciclo hidrológico e a minimização dos efeitos de ilhas de calor na região. O presente trabalho teve como objetivo apresentar o pavimento de concreto permeável no que tange a sua estrutura, tipologias de revestimentos, materiais empregados, conservação e manutenção de uma forma a contextualizar com aspectos ambientais. A porosidade do concreto permeável condicionante para uma eficiente taxa de infiltração resulta na redução de sua resistência à compressão axial e a tração na flexão, dessa forma é abordado uma análise comparativa dos parâmetros mecânicos e hidráulicos entre três diferentes tipos de revestimentos, no qual foi observado um aumento nos parâmetros mecânicos de placas de concreto permeável com adição de macrofibra de polipropileno com relação a uma mistura de concreto permeável, moldado “in loco” aplicado numa pista da USP e com blocos de concreto permeáveis unidirecionais utilizados no estacionamento da USP, salientando que não houve detrimento considerável na taxa de infiltração causada pelo uso dessas macrofibras. Resultados de resistência à compressão de todos os pavimentos de concreto permeável são inferiores a 35 MPa, valor especificado pelo DNIT para pavimentos de concreto para tráfego leve, sendo assim, indicado apenas para uso em cicloviarias e tráfego de pedestres. Dessa forma, o pavimento de concreto permeável com adição de macrofibra de polipropileno é uma solução capaz de mitigar os entraves relacionados às suas limitações devido à redução de suas resistências mecânicas, demonstrando a importância de se realizar construções piloto com estudos já existentes, com o propósito de aprimorar essa tecnologia reduzindo a disparidade entre estudo e prática, e por fim, tornando factível para uso pelos órgãos públicos e privados, construtoras e incorporadoras que tenham a capacidade de compreender e promover práticas de construções sustentáveis como fator agregador de valor econômico, ambiental e humano.

Palavras-chave: Pavimentos permeáveis, concretos permeáveis, drenagem urbana.

¹ brasilvander@gmail.com

² marcia.gonzaga@fatec.sp.gov.br

1. Introdução

A pavimentação do solo apresenta várias vertentes quando se trata de sua finalidade de construção, as quais é possível destacar a pavimentação de estradas, ruas, calçadas, estacionamentos e praças, dessa forma é possível afirmar que a pavimentação está correlacionada diretamente ao crescimento da urbanização. Essa infraestrutura urbana tem sido planejada, principalmente no Brasil norteada apenas para a sua finalidade direta sem o devido estudo do seu impacto a região na qual é construída uma vez que segundo Santana et al. (2018) a pavimentação do solo afeta o ciclo hidrológico natural, pois as águas pluviais ficam impossibilitadas de infiltrar e reabastecer o lençol freático, dessa forma dependendo da intensidade das chuvas o escoamento superficial pode não ser captado de forma eficiente pelo sistema de drenagem resultando em enchentes tão frequentes nos centros urbanos e que têm trazido tantos danos materiais, desvalorização de regiões e mortes.

Os pavimentos permeáveis são uma solução para mitigar esse problema atuando como soma a um plano diretor mais eficaz que tenha capacidade de atuar de forma consonante com o meio ambiente. É de grande valia, segundo Batezini (2013) destacar que o pavimento permeável tem sua eficácia diretamente relacionada ao coeficiente de permeabilidade do solo, entretanto existe a solução de se integrar ao sistema construtivo uma tubulação de drenagem capaz de conduzir as águas precipitadas de forma retardada aos seus cursos d'água passando a não depender mais da permeabilidade desse solo.

A definição de concreto permeável segundo Guidotti (2019) é uma mistura de cimento Portland, agregado graúdo uniforme, uma pequena quantidade ou nenhum agregado fino e água. O pavimento de concreto permeável deverá ter sua função preservada de suportar as solicitações de cargas atuantes com o incremento de atuar como dispositivo hidráulico permitindo a percolação das águas de precipitação com uma taxa de infiltração eficiente conforme definido na ABNT NBR 16416:2015, praticamente anulando o escoamento superficial.

Para garantir a eficácia desse pavimento deve haver um projeto embasado na frequência de chuvas da região, nível do lençol freático e tipo de solo e após sua implementação deverá haver um plano de manutenção preventivo que evite a colmatação que segundo Santana et al. (2018) é a obstrução dos poros por detritos que gradativamente reduzem a taxa de infiltração e compromete a sua função de disposto hidráulico.

Com relação as tipologias de revestimento permeáveis a NBR 16416 (ABNT2015) abrange as peças de concreto intertravados com juntas alargadas (percolação pelas juntas), as peças de concreto com área vazada (percolação pelos vazados), as peças de concreto poroso (percolação pelas peças), as placas de concreto poroso (percolação pelas placas) e o pavimento de concreto permeável moldado no local e apesar de comumente essas tipologias serem mais usadas existe conforme Ono et al. (2017) outros formatos com tecnologia de desempenho eficazes como os blocos de concreto unidirecionalmente articulados.

O pavimento de concreto permeável possui limitações de aplicação pelo fato de ter como característica maior índice de vazios quando comparado ao

concreto convencional, deficiência que segundo Guidotti et al. (2019) pode ser reduzida através da adição de macrofibra composta por polímeros de polipropileno ao concreto ou malhas geossintéticas que resultaram em significativo aumento da resistência à compressão axial e da resistência à tração na flexão.

2. Referencial Teórico

2.1 - Tipos de Pavimento

Segundo o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT (2005), os pavimentos são superestruturas formadas por camadas de diferentes materiais, projetados para suportar as cargas atuantes oriundas do tráfego e tem como seu terreno de fundação o subleito. São classificados em três tipos de pavimentos:

2.1.1 - Flexível: pavimento em que as cargas atuantes são distribuídas por todas as camadas de forma equivalente, como exemplo pode-se citar um pavimento executado com base de brita graduada ou solo pedregulho revestido por camada asfáltica.

2.1.2 - Rígido: pavimento em que quase todas as tensões provenientes das cargas atuantes são absorvidas pelo revestimento, como exemplo o pavimento de concreto de cimento Portland.

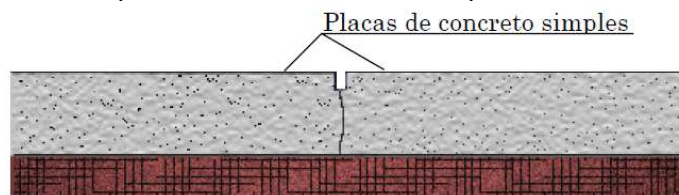
2.1.3 - Semirrígido: pavimento construído com base cimentada e revestimento asfáltico, como exemplo pode-se citar uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

2.2 - Estrutura dos Pavimentos Rígidos

A seção de um pavimento rígido é formada por um conjunto de camadas com resistência decrescente devido a camada superior resistir a grande parcela dos esforços solicitantes oriundos dos carregamentos, transferindo as tensões verticais de forma reduzida à medida que avança as camadas subjacentes, segundo Oliveira (2000), o pavimento de concreto apresenta as seguintes tipologias:

2.2.1 - Pavimento de concreto simples: formado por placas de concreto separadas por juntas serradas ou moldadas para controle da fissuração e são projetadas para suportar cargas de tração e flexão em sua totalidade, podendo ou não ser provido de barras de transferência.

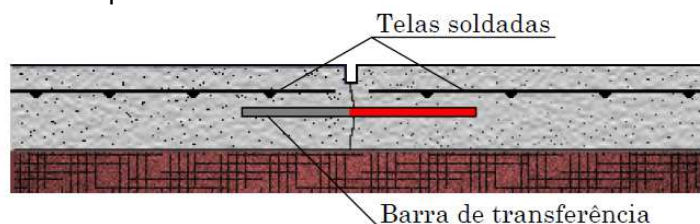
Figura 1 - Perfil de um pavimento de concreto simples, sem barra de transferência



Fonte: OLIVEIRA, (2000)

2.2.2 - Pavimento de concreto com armadura descontínua: formado por placas de concreto armadas com telas de aço soldadas dispostas de forma descontínua entre as placas com a função de inibir fissuras e possibilitar a construção das placas com dimensões de até 15 metros de comprimento.

Figura 2 - Perfil de um pavimento de concreto com armadura distribuída descontínua



Fonte: OLIVEIRA, (2000)

2.2.3 - Pavimento de concreto com armadura contínua: formado por placas de concreto construída com armaduras de aço em toda sua extensão, não possui juntas e as fissurações geradas são mantidas unidas pela armadura.

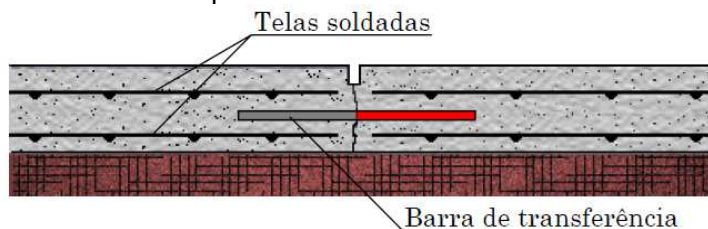
Figura 3 - Perfil de um pavimento de concreto continuamente armado



Fonte: OLIVEIRA, (2000)

2.2.4 - Pavimento de concreto estruturalmente armado: as placas de concreto possuem armadura de aço na parte inferior para resistir a tração do momento fletor e uma armadura superior para inibir as fissurações por retração.

Figura 4 - Perfil de um pavimento de concreto estruturalmente armado



Fonte: OLIVEIRA, (2000)

2.2.5 - Pavimento de concreto rolado: trata-se de um pavimento de concreto compactado por rolos compressores, composto por baixo teor de cimento e

baixa quantidade de água resultando na redução da retração, deve apresentar trabalhabilidade eficaz para ser compactado.

2.2.6 - Pavimento de concreto com fibras: possui adição de fibras de polipropileno no concreto, proporcionando um pavimento com maior resistência aos esforços solicitantes, a fissuração, ao desgaste e maior ductilidade.

2.2.7 - Pavimento de concreto protendido: uso da proteção que comprime previamente o concreto proporcionando a placa de concreto redução em sua espessura, maior impermeabilidade e redução na propagação de trincas.

2.2.8 - Withetopping: consiste em um pavimento geralmente de concreto simples construído sobre um pavimento flexível existente. Segundo o DNIT (2005), há três formas de construção do withetopping, sendo a colocação direta sobre o pavimento flexível previamente umedecido, aplicado nos casos que as trilhas de roda são inferiores a 50 mm de profundidade; o método de fresagem para os casos que o pavimento flexível possui trilhas de roda maiores de 50 mm de profundidade ou se há ondulações acentuadas; e por fim o método de construção sobre camada de nivelamento com uma mistura betuminosa usinada a quente com 25 a 50 mm de profundidade usado para trilhas de roda de no mínimo 50 mm.

2.3 - Pavimento de Concreto Permeável

2.3.1 - Estrutura do Pavimento de Concreto Permeável

A estrutura do pavimento de concreto permeável convencional (figura 5) é composta por camada de revestimento em concreto permeável, base granular permeável que permite o acúmulo da água percolada em seus vazios e a passagem de uma parte dessa água para a camada de solo do subleito que imprescindivelmente precisa possuir razoável taxa de permeabilidade e para exercer a função de dispositivo hidráulico deverá ser provido de tubos de drenagem que por gravidade deverão conduzir as água para cisternas ou algum sistema de drenagem tradicional. (BALBO, 2020).

Figura 5: Seção transversal hipotética de um calçamento em concreto permeável (apenas camadas)



Fonte: BALBO, (2020)

2.3.2 - Concreto Permeável

Deverá ter sua dosagem dimensionada para resultar em um pavimento sustentável com propriedades de condutividade hidráulica coexistindo com características de resistência as cargas provenientes dos carregamentos, tal dosagem atualmente ainda não possui regras racionais estabelecidos. (BALBO, 2020). Como dosagem inicial de forma mais empírica é apresentado traços para a mistura de concretos permeáveis conforme tabela 1:

Tabela 1: Traços básicos de materiais para concreto permeáveis

Material ou parâmetro de dosagem	Faixa
Agregado graúdo (kg/m ³)	1200 a 1500
Ligante hidráulico (kg/m ³)	240 a 410
Relação água/cimento (peso)	0,27 a 0,34
Relação agregado/cimento (peso)	4:1 a 4,5:1

Fonte: (ACI, 2010 apud BALBO, 2020)

2.3.3 - Histórico dos pavimentos permeáveis

Em países europeus o uso de pavimentos permeáveis remonta da década de 1970 e nos Estados Unidos da América (EUA) a partir da década de 1980 (HUNT; BEAN, 2006 apud BALBO, 2020, p.22). Na França o pavimento permeável foi indicado em um programa de pesquisas como solução para mitigar inundações e em alguns estados do EUA foram implantadas exigências com valores de taxas mínimas de infiltração para pavimentos; há demandas do uso dessa tecnologia também no Japão e Suécia. (SUZUKI et al., 2013 apud CURVO, 2017, p.7).

2.3.4 - Agregados

Faixas granulométricas de estudos e aplicações no Brasil mostram a possibilidade de diversas granulometrias do agregado graúdo não se devendo possuir granulometria contínua e nem bem graduada. Na Universidade de São Paulo (USP *campus* São Paulo) em 2010, (Batezini; Balbo, 2015 apud Balbo, 2020, p.100), utilizou-se em um pavimento de concreto agregados entre 4,8 mm e 12,5 mm resultando em satisfatório percentual passante, já em estudos na Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC Campinas), em 2016 (Oliveira, 2017 apud Balbo, 2020, p.100), usou-se agregado reciclado com diâmetro entre 4,8 mm e 19 mm, somado a outros estudos foi verificado a não tolerância de agregados com diâmetro inferior a 4,8mm.

2.3.5 - Cimento

O ligante hidráulico comumente utilizado para o concreto permeável é o cimento Portland (CP) comum (CP-I), não havendo restrições para o uso de outros tipos uma vez que a estrutura alveolar do concreto permeável permite rápida cura (OSPINA e ERAZO, 2007 apud MONTEIRO, 2010, p.18). Na literatura há indicações do uso de outros tipos de cimentos que seriam mais eficientes, é citado por Batezini (2013), a importância do uso de cimentos

resistentes aos sulfatos (RS) para concreto com alto índice de vazios como o CP III 40 RS, segundo Balbo (2020) esse foi o tipo de ligante hidráulico utilizado no pavimento de concreto construído no *campus* USP e o cimento CP V nos estudos na PUC de Campinas.

2.3.6 - Aditivos

O concreto permeável possui como característica o rápido tempo de pega, dessa forma se faz necessário o uso de retardadores de tempo de pega e aditivos redutores de água dependendo da relação água/cimento utilizada no traço. (PERVIOUS CONCRETE PAVEMENT, 2011 apud BATEZINI, 2013, p. 29).

2.3.7 - Permeabilidade do Concreto

É de característica do concreto permeável possuir alto índice de vazios que formam uma rede de canais permissíveis a percolação das águas, porém para que o concreto seja classificado como permeável a ABNT NBR 16416/2015 estabelece um coeficiente de permeabilidade mínimo como requisito na ordem de grandeza de 10^{-3} m/s que equivale a 60 l/min, a avaliação desse coeficiente deverá ser realizado no pavimento recém construído.

A American Society for Testing and Materials (ASTM), define o teste da taxa de infiltração através da ASTM C1701/C17041M-17a, no qual se faz uso de um anel de PVC de diâmetro 300 mm e altura de 50 mm posicionado sobre a superfície do concreto permeável executando uma calafetação para vedação. O teste é realizado despejando 3,60 litros de água no cilindro de forma constante mantendo a lâmina d' água entre as marcações inseridas no anel de 10 mm e 15 mm; afere-se o tempo que a água leva para ser infiltrada no concreto, não podendo ser superior a 30 segundos; deve-se repetir esse teste por três vezes fazendo o cálculo da média. Para casos em que o tempo de infiltração for inferior a 30 segundos a ASTM indica o uso de 18 litros de água por teste ao invés de 3,60 litros. (ASTM, 2017 apud BALBO 2020, p.78). A figura 6 mostra um anel de PVC sobre a superfície de concreto para o teste de infiltração:

Figura 6: Anel de PVC calafetado sobre superfície de concreto permeável



Fonte: ONO (2018)

A equação (1) traz o cálculo da taxa de infiltração:

$$\bar{I} = \frac{K' \cdot M}{D^2 \cdot t} \quad \text{Eq. (1)}$$

em que I é a taxa de infiltração em mm/h, M é a massa de água infiltrada em quilos (kg), D é o diâmetro interno do anel de PVC, t é o tempo médio das três aferições cronometradas em segundos (s) e K' é um valor de conversão correspondente a 4.583.666.000.

2.3.8 - Sistemas de Infiltração

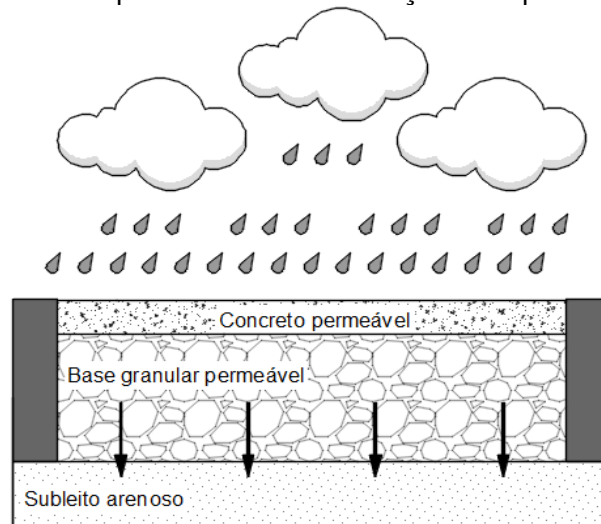
A matriz porosa do concreto permeável deverá ter função mecânica para suportar cargas do tráfego e exercer função hidráulica, na qual deverá reter de forma temporária as águas percoladas e proporcionar sua infiltração no subleito ou prover de dispositivo de drenagem para destiná-la a um reservatório. (ACIOLI, 2005).

Segundo a ABNT NBR 16416/2015 há três categorias de sistemas de infiltração para os pavimentos permeáveis, podendo ser dependentes do coeficiente de permeabilidade do solo ou deverão prover de um sistema de drenagem com reservatório, conforme descrito abaixo:

2.3.8.1 - Sistema de infiltração total

Nesse sistema as águas de infiltração irão dispor somente do subleito como agente de saída, portanto a camada granular deverá ser projetada para promover o controle total da descarga de pico das chuvas.

Figura 7 - Pavimento permeável com infiltração total para o subleito



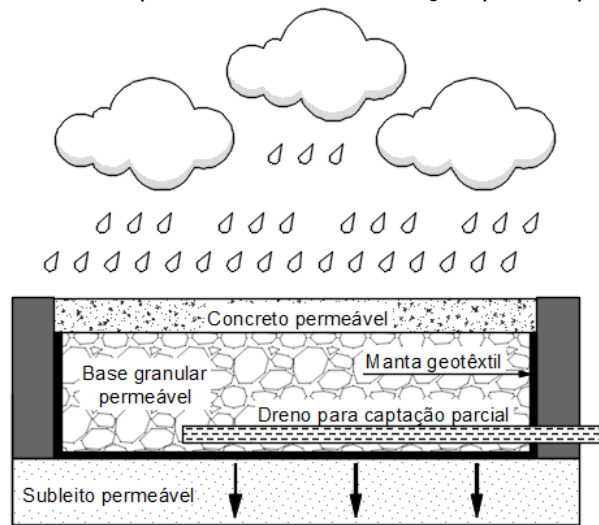
Fonte: BALBO, (2020)

2.3.8.2 - Sistema de infiltração parcial

Sistema adotado quando o subleito não possui coeficiente de permeabilidade para permitir a infiltração total das águas percoladas, dessa forma é projetado um disposto hidráulico basicamente com tubos perfurados

com função de drenar as águas em excesso por meio de gravidade a um reservatório.

Figura 8 - Pavimento permeável com infiltração parcial para o subleito

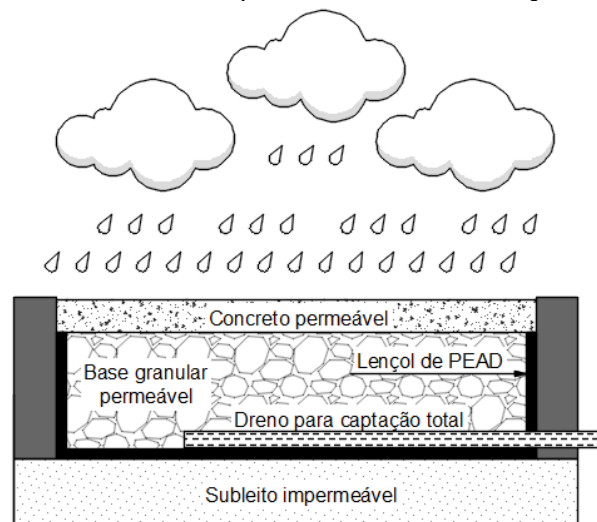


Fonte: BALBO, (2020)

2.3.8.3 - Sistema sem infiltração

Sistema adotado para casos em que o solo possui permeabilidade muito baixa (10^{-7} a 10^{-9} m/s) ou baixíssima ($<10^{-9}$ m/s), dessa forma toda a água infiltrada no pavimento deverá ser drenada para um reservatório.

Figura 9 - Pavimento permeável sem infiltração



Fonte: BALBO, (2020)

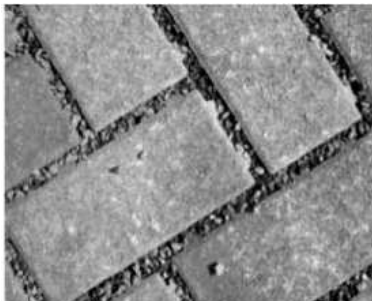
2.4 - Tipologias de Revestimentos Permeáveis

O pavimento de concreto permeável pode ser constituído de diferentes tipos de revestimento em sua camada a depender do tráfego a que se destina, a ABNT NBR 16416 (ABNT,2015), é relacionado cinco tipos de revestimento conforme descrito abaixo:

2.4.1 - Peças de concreto intertravados com juntas alargadas

São peças que fazem uso de espaçadores em sua execução para garantir a espessura das juntas responsável pela percolação das águas precipitadas. (VIRGILIIS, 2009 apud ONO; BALBO; CARGNIN, 2017).

Figura 10 - Peças de concreto intertravados com juntas alargadas

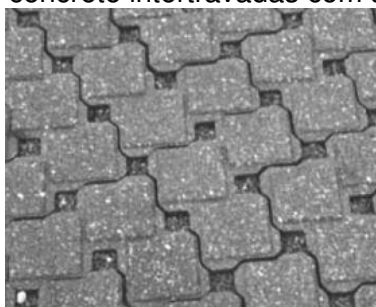


Fonte: ABNT NBR 16416, (2015)

2.4.2 - Peças de concreto intertravadas com área vazada

As peças de concreto intertravadas são dispostas de forma que sua geometria permita uma determinada área vazada capaz de permitir a percolação das águas que irá ocorrer por esses vazados entre peças. (ABNT, 2015).

Figura 11 - Peças de concreto intertravadas com área vazada

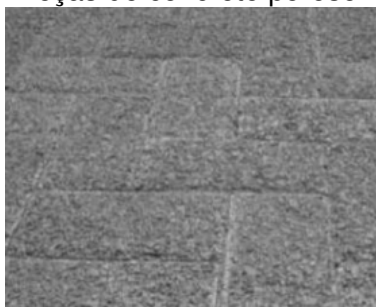


Fonte: ABNT NBR 16416, (2015)

2.4.3 - Peças de concreto poroso intertravadas

A percolação da água ocorre pela própria peça, uma vez que são fabricadas em concreto poroso. (ABNT, 2015).

Figura 12 - Peças de concreto poroso intertravadas



Fonte: ABNT NBR 16416, (2015)

2.4.4 - Placas de concreto poroso

A percolação da água ocorre pela própria peça, que são fabricadas em concreto poroso e as peças são dispostas sem intertravamento. (ABNT, 2015).

Figura 13 - Placas de concreto poroso

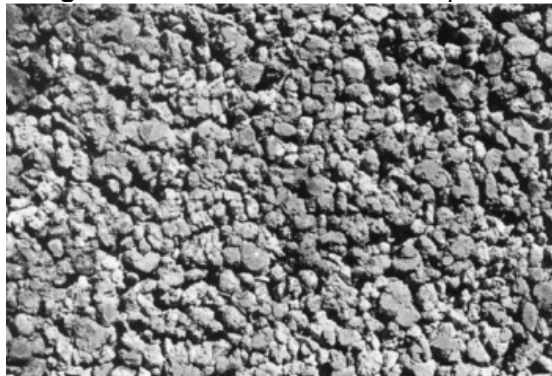


Fonte: ABNT NBR 16416, (2015)

2.4.5 - Pavimento de concreto permeável moldado no local.

Trata-se de um revestimento de concreto permeável construído no local da obra que necessariamente deverá permitir a percolação da água com coeficiente de permeabilidade capaz de evitar o escoamento superficial.

Figura 14 - Placas de concreto poroso

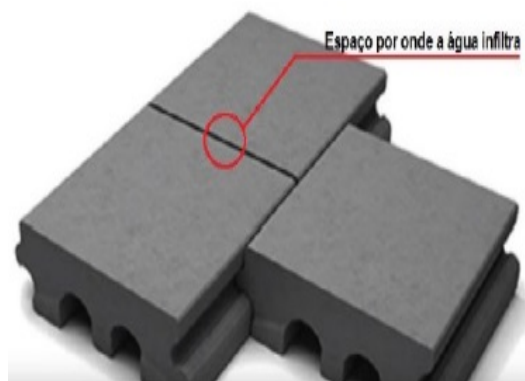


Fonte: ABNT NBR 16416, (2015)

2.4.6 - Blocos de concreto unidirecionalmente articulados

Os blocos de concreto unidirecionalmente articulados (BCA) são peças fabricadas com cimento, areia fina e pó de pedra, sua geometria apresenta na longitudinal articulações para encaixe entre as peças possibilitando que trabalhem como uma estrutura única, e em sua transversal possui dois canais que direcionam a água percolada para drenos auxiliares. A percolação ocorre pelas juntas formadas entre as peças que por serem encaixadas não necessitam de rejunte para intertravamento. (ONO; BALBO; CARGNIN, 2017).

Figura 15 - Blocos de concreto unidirecionalmente articulados



Fonte: CARGNIN, (2017)

Os BCA são fabricados em concreto vibro prensado, patenteada como logblock permeável, a peça mede 20x20x8 cm, tendo como principais atributos vida útil elevada, grande coeficiente de permeabilidade, rapidez e facilidade de aplicação devido a sua geometria possibilitar a dispensa do uso de rejunte e é indicada para uso em tráfego médio-leve.

2.5 - Características mecânicas dos pavimentos de concreto permeável

É fundamental para se evitar análises desacertadas, o conhecimento das especificidades exigidas pela Norma ABNT NBR 16416:2015 pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos, obtendo parâmetros de referência para comparação com os resultados alcançados em estudos; na tabela 2 é apresentado requisitos mínimos de características mecânicas do pavimento permeável.

Tabela 2: Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável

Tipos de revestimento	Tipos de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Método de ensaio
Peças de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 35,0^a$	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peças 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	$\geq 2,0^b$	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 1,0^c$	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100,0	$\geq 2,0^c$	

a - determinação da resistência à compressão, conforme ABNT NBR 9781.
b - determinação da resistência à flexão, conforme ABNT NBR 15805.
c - determinação da resistência à tração na flexão, conforme ABNT NBR 12142.

Fonte: ABNT NBR 16419:2015, p. 15.

2.6 - Reforço do Concreto Permeável com Macrofibras de Polipropileno e Malhas Geossintéticas

O concreto permeável apresenta porosidade entre 15% e 35% que resulta na redução de sua resistência estrutural, fator que limita seu uso apenas para estacionamentos, calçadas e praças. Dessa forma é imprescindível estudos para mitigar essas deficiências, uma solução que tem sido investigado por diversos pesquisadores é a adição de macrofibras de polipropileno e malha geossintéticas com resultados favoráveis apontando aumento da resistência à compressão axial (GUIDOTTI et al. 2019). Segundo ensaio realizado num concreto permeável de traço 1:4,49 (cimento:agregado) e relação água/cimento de 0,34 foi obtido resistência à compressão axial de 4,80 MPa e para o mesmo traço com adição de 0,9% em volume de fibras atingiu-se 7,90 MPa um aumento de 64% (BAOSHAN et al. [6] apud GUIDOTTI et al. 2019, p.62).

Com relação às fibras de polipropileno existem dois tipos, as microfibras de polipropileno sem função estrutural que trabalham a retração plástica nas primeiras idades de cura do concreto e as macrofibras que são malhas de fino filamento de seção retangular com telas que se abrem durante sua mistura no concreto exercendo função estrutural e resultando no aumento das resistências ao impacto e fadiga, inibe o aparecimento de fissuras secundárias e de temperatura; é um material que não sofre corrosão, não possui propriedades magnéticas e são resistentes aos álcalis do concreto, portanto tendo excelentes condições de substituir telas soldadas.

As geogrelhas podem ter na fabricação matérias primas como o PEAD (polietileno de alta densidade), o PP (polipropileno), o PET (poliéster) ou vidro e se apresentam com possibilidades de diferentes aberturas de malha, seu uso tem trazido resultados no aumento da resistência à flexão em base de pavimentos e eficiência no controle de reflexão de fissuras.

Figura 16 - Macrofibra de polipropileno para concreto



Fonte: GUIDOTTI et al., 2019, p. 63.

Figura 17 - Geogrelha para pavimentação



Fonte: GUIDOTTI et al., 2019, p. 63.

O pavimento de concreto permeável para ser viável tecnicamente em aplicações de tráfego leve deverá coexistir as propriedades de permeabilidade cujo coeficiente deverá ser superior a 10^{-3} m/s, conforme ABNT NBR 16416:2015 com resistências adequadas para seu uso ocorrer com segurança. De uma forma intrínseca foi possível avaliar através de ensaios duas questões relevantes sobre a adição de macrofibras de polipropileno e malha geossintética, a primeira é qual o impacto que essas adições causam ao coeficiente de permeabilidade e a segunda qual a grandeza que elas propiciam a resistência do concreto permeável. A tabela 3 apresenta o resultado de drenabilidade pelos métodos NCAT e ASTM C1701:2009 de três placas de concreto permeável, sendo a primeira (T_{ref}) com traço referência em massa de 1:4,15 (cimento:agregado) e relação água/cimento de 0,30; a segunda (T_{fib}) adicionando 0,5% de macrofibras em volume e a terceira (T_{geo}) com malha geossintética.

Tabela 3: Resultados de permeabilidade

Placas	ASTM C1701 (cm/s)	NCAT (cm/s)
T_{ref}	0,83	0,67
T_{fib}	0,76	0,66
T_{geo}	0,77	0,50

Fonte: GUIDOTTI et al., 2019, p. 68.

Dessa forma a taxa de percolação com adição de macrofibra e geogrelhas tiveram uma redução em torno de 7% em relação ao traço referência, valor não considerado significativo. A tabela 4 apresenta os resultados de resistência à tração na flexão.

Tabela 4: Resultados de resistência à tração na flexão

	T_{ref}	T_{fib}	T_{geo}
Carga de ruptura (KN)	10,00	20,69	14,30
Resistência à tração na flexão (MPa)	4,80	9,93	6,86
Desvio Padrão	1,00	1,11	2,30

Fonte: Guidotti et al., 2019, p. 67.

Em relação as placas com traço referência é possível verificar um aumento na resistência à tração na flexão de 106% das placas de concreto com adição de macrofibras e de 43% das placas com a malha geossintética, esses dados demonstram ser essencial o uso de adições no concreto permeável para aumentar sua aplicabilidade (GUIDOTTI et al. 2019).

2.7 - Urbanização e os impactos no Ciclo Hidrológico

O desenvolvimento urbano demanda a retirada da cobertura vegetal do solo, fato que traz impactos ao balanço hídrico, as consequências é a redução do escoamento superficial devido a redução da taxa de infiltração das precipitações no solo que por sua vez também reduzem o nível do lençol freático dos aquíferos e a evapotranspiração da vegetação; deve-se destacar também que a microdrenagem faz uso de condutos hidráulicos que reduzem o tempo de deslocamento das águas pluviais até os rios e córregos ocasionando picos de cheia. (TUCCI, 1997).

A pavimentação das áreas urbanas com asfalto e concreto causam o fenômeno denominado ilhas de calor, que é o aumento da temperatura, fato que ocorre devido a esses materiais possuírem baixa refletância e absorverem a radiação solar, gerando radiação térmica que por sua vez acarreta no aumento das precipitações que preconiza as enchentes urbanas. A construção civil desordenada aumenta a produção de sedimentos pela bacia hidrográfica e gera o assoreamento da drenagem dos condutos, rios e córregos. (TUCCI, 1997).

A refletância de radiação por ondas curtas, conhecido como albedo é resultado da fração de energia solar refletida pela superfície, e é responsável pela alteração do microclima da região, esse fenômeno albedo é mais intenso em áreas com superfícies impermeabilizadas. (EPA, 2012 apud BALBO, 2020, p. 28).

2.8 - Permeabilidade dos Solos

A percolação segundo Fernandes (2016), é o movimento da água pelos maciços terrosos, uma propriedade física correlacionado a granulometria, índice de vazios, grau de saturação, estrutura e composição mineralógica. O coeficiente de permeabilidade pode ser determinado por ensaios em laboratórios ou in situ, na tabela 5 é apresentado valores para solos sedimentares:

Tabela 5: Valores típicos de coeficiente e classificação de permeabilidade para solos de origem sedimentar

Tipos de solo	k (m/s)	Grau de permeabilidade
Pedregulhos limpos	$> 10^{-2}$	alto
Areia grossa	10^{-2} a 10^{-3}	alto
Areia média	10^{-3} a 10^{-4}	médio
Areia fina	10^{-4} a 10^{-5}	médio
Areia siltosa	10^{-5} a 10^{-6}	baixo
Siltes	10^{-6} a 10^{-8}	entre baixo e muito baixo
Argilas	10^{-8} a 10^{-10}	entre muito baixo e praticamente impermeável

Fonte: TERZAGHI E PECK, 1967 apud FERNANDES, 2016, p. 181.

O pavimento de concreto permeável deverá ser projetado no sistema sem infiltração, para casos em que o solo apresente baixo grau de permeabilidade, evitando assim a restrição do seu uso, pois como exemplo se esse pavimento for construído numa região com solo argiloso, a água infiltrada não alimentaria os aquíferos e ficaria confinada gerando patologias ao

pavimento, como o bombeamento de grãos e possível crescimento de vegetação no pavimento.

2.9 - Colmatção dos Pavimentos de Concreto Permeável

Os pavimentos de concreto permeáveis possuem alto índice de vazios formando um sistema de canais que permitem a percolação da água, esses espaços vazios podem ser obstruídos por sólidos de sedimentação, como solos, rochas e restos de vegetação geralmente trazidos pelas chuvas e ventos, a esse fenômeno dá-se o nome de colmatção (SANTANA et al. 2018). Segundo Balbo (2020), por sua vez, afirma que o entupimento desse pavimento ocorre de forma paulatina e contínua e requer a gestão e manutenção dessas para não perder sua função de dispositivo hidráulico.

O processo de colmatção irá depender das condições do seu entorno e sem manutenção adequado poderá ocorrer entre 5 e 10 anos (AMIRJANI, 2010 apud SANTANA et al., 2018).

3. Método

A metodologia adotada para desenvolvimento do presente trabalho se baseou na revisão bibliográfica de artigos científicos publicados em revistas, livros específicos sobre o assunto abordado, manuais de fabricantes de aditivos, dissertações, monografias e artigos apresentados como requisito para formação em cursos de universidades. Toda a literatura analisada foi pautada de forma correlacionada as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e por Manuais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

A análise dessa literatura foi planejada de modo a possibilitar a correlação dos pavimentos de concreto permeável como agente compensatório dos impactos ambientais causados por uma urbanização que cresce em desarranjo aos conceitos de sustentabilidade.

O pavimento de concreto permeável foi apresentado de uma forma organizada de conceitos e estudos realizados para possibilitar o entendimento dessa tecnologia emergente desde sua concepção até sua execução, abrangendo quais procedimentos adotados nos estudos foram mais eficazes nas suas funções de suporte a cargas coexistente com a função de dispositivo hidráulico mitigador de problemas de drenagem urbana. Dessa forma a metodologia teve como objetivo cingir os estudos sobre os pavimentos de concreto permeáveis de forma a confrontar os resultados desses estudos para se obter um consenso de quais deles obtiveram melhor eficácia na função de agente redutor dos problemas de microdrenagem urbana.

Serão correlacionados três estudos de pavimentos de concreto permeáveis que foram implantados e testados, conforme descrito abaixo:

3.1 - Construção de calçada definitiva de concreto permeável na Praça do Pôr do Sol no *campus* da USP.

A calçada de extensão de quase 100 metros teve o planejamento das etapas de construção baseadas em um protótipo de uma pista de 8 x 1m construído anteriormente.

A compactação do subleito traz aumento de resistência e melhoramento no desempenho do pavimento, mas resulta na redução da sua permeabilidade, dessa forma para ciclovias e calçadas é possível não executar a compactação. (BALBO, 2020). A primeira etapa dessa construção foi a remoção do pavimento existente com blocos intertravados seguido da escavação com uso de retroescavadeira.

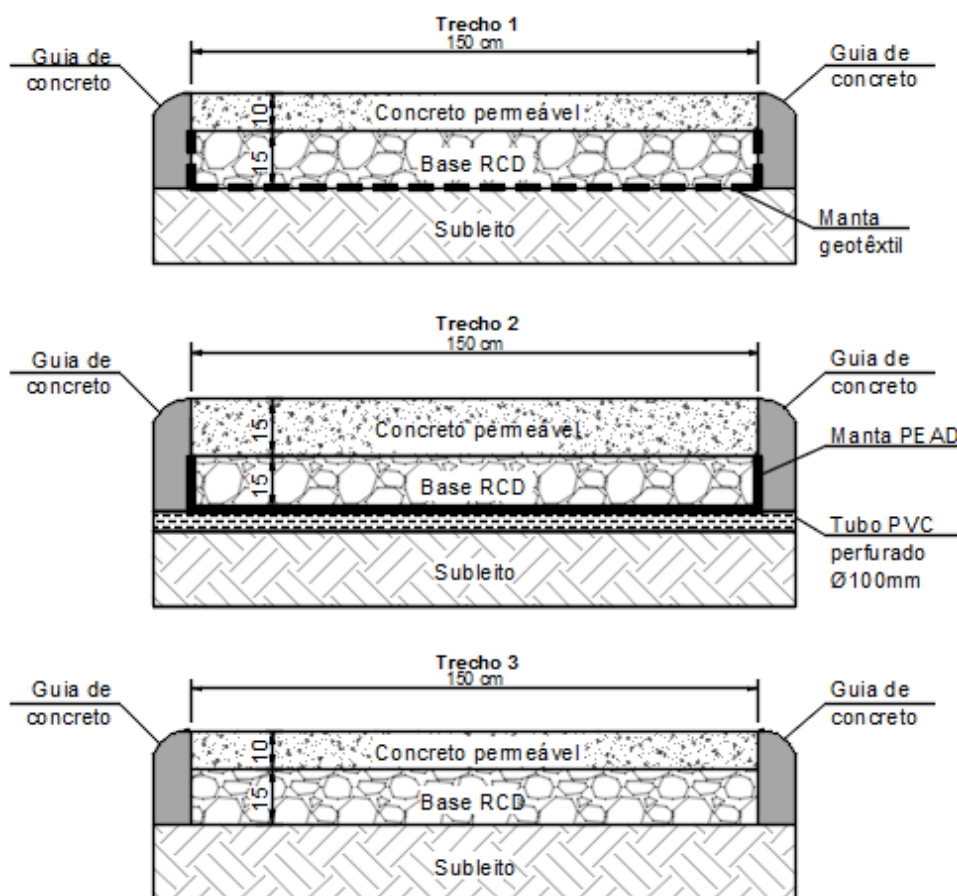
Segundo Curvo (2017), a concepção geométrica da calçada foi executar a instalação de guias pré-moldadas de concreto para delimitar a largura e dividi-la em trechos da seguinte forma:

- Trecho 1: infiltração no subleito com manta geotêxtil, comprimento de 21,50 metros;
- Trecho 2: sistema de drenagem com caixa coletora, com uso de manta PEAD para inibir a percolação da água no subleito, comprimento de 19,50 metros; as extremidades da manta de PEAD sobre o subleito tiveram suas dimensões projetadas para serem ajustadas de forma rente a calçada concretada;
- Trecho 3: uso de mistura desenvolvida pela Lafarge Holcim denominada Hydromedia, que por segredo industrial não divulgou maiores informações; e teve a extensão de 44,80 metros de extensão;

As bases granulares foram executadas com resíduo de construção e demolição (RCD) tendo granulometria de 19 a 25 mm, colocado com o uso de uma retroescavadeira e teve sua espessura regularizada de forma manual; não foi realizada compactação do subleito que segundo Balbo, (2020) pode ser aceito condicionalmente em calçadas de pedestres e ciclovias, em praças públicas, em estacionamentos e vias de automóveis leves, nos quais são indicado o uso de rolos compactadores leves e vibratórios de baixa frequência.

A estrutura foi construída fazendo uso dos três sistemas de infiltração descritos na Norma NBR 16416:2015, sendo o primeiro trecho com infiltração da água no solo fazendo uso de manta geotêxtil sobre o subleito, que segundo Curvo (2017), evita a colmatação por bombeamento; o segundo trecho sem infiltração com uso de manta de polietileno de alta densidade (PEAD) material impermeável, portanto foi executado um sistema de drenagem através de tubo de policloreto de vinila (PVC) perfurado recoberto por manta geotêxtil e caixa coleta em concreto pré-moldado; e o terceiro trecho sem manta e com infiltração de água no subleito; a figura 18 abaixo traz a seção transversal de cada trecho construído.

Figura 18 - Seção transversal de calçada definitiva na USP



Fonte: adaptado de BALBO, (2020).

O revestimento de concreto permeável do segundo trecho foi executado com maior espessura que os demais com o propósito de se realizar futuros estudos da relação entre espessura e a resistência mecânica do pavimento. (CURVO, 2017).

O revestimento teve para todas as misturas, agregado comercial e como aglomerante hidráulico o cimento CP V ARI RS o qual fez uso aditivo retardador de pega devido a distância de 35 km entre o local de dosagem e o local de lançamento, É possível verificar os traços dosados que foram ensaiados para possível uso na camada de revestimento na tabela 6:

Tabela 6: Mistura dosadas para revestimento da calçada definitiva

Identificação da mistura	Quantidades		Relação água/cimento	Porcentagem (%)	
	Cimento (kg/m³)	Agregado (kg/m³)		Superplastificante / cimento	Aditivo retardador de pega
Ri	374	1660	0,300	0,45	0,20
Rj	374	1660	0,300	0,35	0,40
RI	374	1660	0,307	0,45	0,40

Fonte: CURVO, (2017).

Conforme Curvo (2017), o resultado dos ensaios e a verificação da mistura que teve maior retardo no tempo de pega e que possibilitaria maior

tempo para moldagem da calçada foi a mistura R1, que foi utilizada para ser aplicada nos trechos 1 e 2, sendo que o trecho 3 recebeu a mistura Lafarge Holcim.

As misturas foram dosadas na cidade de Santo André e transportadas até a USP via caminhão betoneira, o concreto foi lançado e espalhado manualmente com posterior compactação com o uso de rolo manual aplicado no sentido longitudinal da calçada; e com essa etapa concluída foi lançado uma lona plástica para melhoramento da cura. (CURVO,2017).

A figura 19 mostra o trecho 2 da construção da calçada com a colocação da manta PEAD e da base com RCD:

Figura 19 - Construção da calçada definitiva na USP



i. Colocação manta PEAD



ii. Colocação e regularização da base com RCD

Fonte: CURVO, (2017).

3.2 - Construção de estacionamento experimental no *campus* da USP.

O coeficiente de permeabilidade de um pavimento de concreto foi ensaiado em um estacionamento experimental para tráfego de veículos leves construída dentro do campus da USP de São Paulo, com dimensão de 5 metros de largura por 20 metros de extensão, abrangendo versatilidade nos materiais da camada de revestimento com aplicação de blocos de concreto unidirecionalmente articulados (BCA), camada de concreto poroso e blocos de concreto intertravados, e também versatilidade na camada base fazendo uso de agregado natural e resíduo de construção civil, RCD. (ONO; BALBO; CARGNIN, 2017).

Posteriormente a escavação foi executado a compactação do subleito com placa vibratória e na sequência executado a elevação de alvenaria para separação das áreas em duas partes, seguindo o planejamento de executar uma camada base com agregado natural e outra com RCD, possibilitando uma análise do comportamento drenante desses materiais. O sistema foi projetado para não depender da infiltração da água no solo, pois para ter essa função deverá ter elevado coeficiente de permeabilidade. (BATEZINI, 2013). Dessa forma foi instalado sobre o subleito uma geomembrana de polietileno e

construído uma trincheira drenante com tubo de PVC corrugado envolvido em manta geotêxtil.

Segundo Ono, Balbo e Cargini (2017) a base foi executada utilizando agregado natural e RCD nas partes separadas pela alvenaria, utilizando pedrisco como fechamento, camada de transição entre as bases e camada de assentamento compactada por placa vibratória. A última etapa da construção foi a instalação de manta geotêxtil sobre a camada de base e posterior execução de camada de areia para assentamento dos blocos de concreto unidirecionalmente articulados que foram instalados após o nivelamento dessa camada de areia, e finalizando a construção foi executado um fechamento de contenção lateral com miniguias. Esse processo construtivo pode ser visto de forma parcial através das figura 20 abaixo:

Figura 20 - Etapas parciais Construtivas de estacionamento com BCA na USP



i. Espaço trincheira drenante



ii. Colocação de geomembrana



Montagem trincheira drenante



iv. Execução da base RCD

iii.



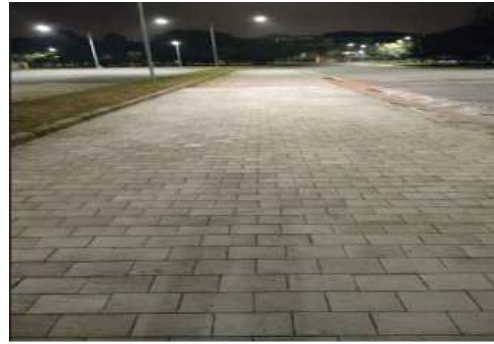
v. Execução da base de brita



vi. Nivelamento da areia de assentamento



vii. Assentamento de BCA

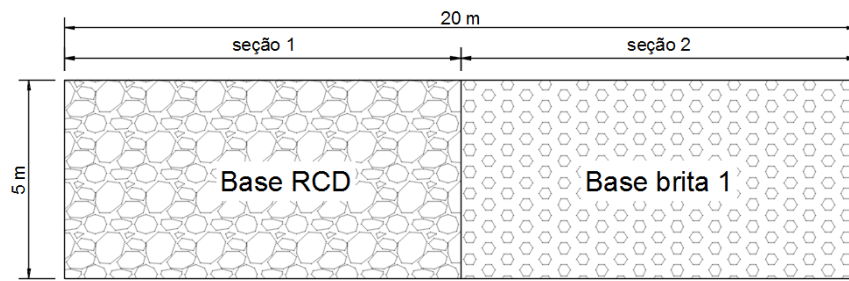


viii. Pavimento permeável concluído

Fonte: ONO, (2018).

A figuras 21 e 22 mostram respectivamente a vista superior da pista dividida em duas seções e a seção transversal do pavimento construído com revestimento em bloco de concreto articulado (BCA).

Figura 21 - Pista dividida com base granular em RCD e brita 1



Fonte: adaptado de ONO, (2018).

Figura 22 - Seção transversal do pavimento



Fonte: adaptado de ONO, (2018).

3.3 - Concreto permeável reforçado para placas de piso

O reforço de concreto permeável com adição de 0,3% em volume de fibras de PPS (polisulfeto de P-fenileno) para melhoramento de sua resistência tem sido objeto de estudo, e constatado aumento de 57% em sua resistência a compressão axial. (HESAMI et al., 2014 apud GUIDOTTI et al., 2019, p.62).

A adição de 0,9% em volume de fibras de polipropileno foi objeto de outro estudo e teve como resultado o aumento de 64% da resistência. (BAOSHAN et al., 2010 apud GUIDOTTI et al., 2019, p.62).

No Brasil foi realizado uma pesquisa na PUC de Campinas, com objetivo de ampliar esses estudos, no qual foi analisado o comportamento mecânico e hidráulico de placas de piso em concreto permeável com adição de macrofibras de polipropileno e grelhas geossintéticas. A dosagem do concreto utilizado para confecção do concreto permeável é apresentada na tabela 7.

Tabela 7: Traço em massa do concreto permeável empregado no experimento

Traço	Corpo de prova	Ligante	Agregado graúdo	Relação água / cimento	Aditivo
		Cimento CP V ARI	Brita 0 (4,75/12,5 mm)	0,30	Macrofibra de polipropileno (% em volume)
Tref	Cilindros 10x20 cm	1	4,15	0,30	-
Tfib	Cilindros 10x20 cm	1	4,15	0,30	0,5
Tgeo	Placas 50x50x5 cm	1	4,15	0,30	-

Fonte: adaptado de GUIDOTTI et al., (2019).

Na mistura também foi utilizado aditivo superplastificante à base de policarboxilatos, porém não foi informado a dosagem, segundo o fabricante Vedacit (2021), esse aditivo proporciona redução da água de amassamento, alta resistência inicial e final, boa fluidez, autonivelação, melhora na aderência à armadura e alta densidade em contrapartida ao objetivo do concreto permeável proporciona baixa permeabilidade. As figuras 23 e 24 abaixo, trazem respectivamente as misturas do concreto permeável as macrofibras de polipropileno e as geogrelhas.

Figura 23 - Concreto com fibras de polipropileno



Fonte: GUIDOTTI et al., 2019, p. 64.

Figura 24 - Moldagem placa com malha geossintética



Fonte: GUIDOTTI et al., 2019, p. 64.

As propriedades hidráulicas analisadas foram o coeficiente de permeabilidade obtido através de ensaios com um permeâmetro de carga constante conforme ABNT NBR 13292: 2016, e a taxa de infiltração obtido através do ensaio em conformidade com a ASTM C1701:2009 e do ensaio elaborado pelo Centro Nacional de Tecnologia em Asfalto dos Estados Unidos (NCAT). Para análise das propriedades mecânicas foram realizados ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial sendo este apenas para os corpos de prova com traço referência (T_{ref}) e traço com adição de macrofibra (T_{fib}), visto a impossibilidade de se fazer esse ensaio nas placas com geogrelhas pelas entaves da execução de corpo de prova cilíndrico. (GUIDOTTI et al. 2019).

4. Resultados e Discussão

Os pavimentos com revestimento de concreto permeável, segundo Balbo (2020), não é uma tecnologia nova, mas emergente no Brasil, dessa forma é importante acompanhar as novas pesquisas e desenvolvimento com o que há na literatura inclusive com resultados da implantação *in situ* desse sistema compensatório, com o objetivo de convergir todos os parâmetros encontrados no enfrentamento das limitações dessa tecnologia. Assim, serão comparados respectivamente alguns parâmetros mecânicos e hidráulicos dos pavimentos de concreto permeável inclusive com as especificações constantes na NBR 16416 (ABNT, 2015).

As interpretações dos resultados obtidos na literatura direcionam um melhor desempenho das propriedades avaliadas para a placa de piso com adição de macrofibra de polipropileno, a qual será adotada como referencial de desempenho para comparação com os demais artefatos de concreto permeável.

É imprescindível salientar que para realização da comparação das características mecânicas dos diferentes tipos de revestimento de concreto permeável (moldado no local, blocos de concreto articulados e placas de piso), foram adotados a utilização dos resultados dos ensaios realizados em laboratório da mistura denominada M3, conforme estudo de Batezini (2013), a qual foi utilizada na pista preliminar de dimensões 8x1 metros executado no campus da USP, predecessora da calçada definitiva. A literatura não traz os resultados dos ensaios mecanicistas da mistura denominada RI, usado na execução da calçada definitiva, portanto para a realização da análise comparativa entre os tipos e revestimento foram utilizados os resultados publicados da mistura M3 utilizada na calçada preliminar.

4.1. Análise dos parâmetros mecânicos

Os resultados das propriedades mecânicas obtidos na literatura podem ser analisados a partir da tabela 8, sendo resistência à compressão simples (f_c) e resistência à tração na flexão (f_{ct}):

Tabela 8: Parâmetros mecânicos aferidos em experimentos brasileiros e pesquisas e manual DNIT para pavimentos de concreto convencional para tráfego leve

Instituição	Aplicação	Tipo de revestimento	f_c (MPa)	$f_{ct,f}$ (MPa)	Referência
USP	calçada preliminar experimental (Mistura M3)	Concreto permeável	7,5 (28d)	2,2 (28d)	Curvo (2017) e Batezini e Balbo (2015)
USP	estacionamento experimental	Blocos de concreto unidirecionalmente articulados (Logblock permeável)	9,42	-	(Ono, 2018)
PUC Campinas	Ensaio Laboratório	Placa de piso elevado em concreto permeável	11,91 (28d)	4,80 (28d)	(Guidotti et al. 2019).
PUC Campinas	Ensaio Laboratório	Placa de piso elevado em concreto permeável com adição de macrofibra de polipropileno	24,11 (28d)	9,93 (28d)	(Guidotti et al. 2019).
PUC Campinas	Ensaio Laboratório	Placa de piso elevado em concreto permeável com adição de geogrelha	-	6,86 (28d)	(Guidotti et al. 2019).
DNIT	Manual de pavimentos rígidos	Pavimento de concreto convencional para tráfego leve	35 (28d)	4,50 (28d)	(DNIT, 2015)

Fonte: Autor, 2021

Analisando os resultados é possível verificar um melhor desempenho das placas de piso em concreto com adição de macrofibras de polipropileno em comparação ao pavimento de concreto permeável utilizada na calçada preliminar da USP, com um aumento nos parâmetros mecânicos de resistência à compressão axial de 221% e na tração à flexão um aumento de 351%. É muito importante salientar que a NBR 16416 (ABNT,2015), especifica para tráfego leve a determinação de resistência à tração na flexão $\geq 2,0$ MPa para concreto moldado no local (ABNT NBR 12142) e para as placas de piso resistência à flexão $\geq 2,0$ MPa (ABNT NBR15805), portanto tratado por métodos de ensaios diferentes.

As placas de piso em concreto com adição de fibras quando comparadas com os blocos de concreto articulados (BCA) deflagram uma resistência característica a compressão axial maior de 155%, sobre a resistência à tração na flexão conforme Ono (2013), o bloco de concreto articulado é utilizado como camada de revestimento do pavimento é instalada sobre uma base granular sem aderência estando dessa forma sob ação apenas de esforços de compressão.

É possível afirmar que o BCA para uso em tráfego leve não atende as especificações da NBR 16416 (ABNT,2015), que solicita uma resistência à compressão ≥ 35 MPa, visto que o BCA é compreendido pela Norma como peça de concreto com juntas alargadas; em ensaios laboratoriais ele atingiu valor de 9,42 MPa, portanto sendo recomendado apenas para uso em calçadas e ciclovias. Reitera-se novamente que são artefatos com comportamento mecânico diferentes portanto tratados por métodos de ensaios condizentes com essa característica, sendo os BCA com determinação de resistência à compressão e as placas de concreto determinadas por resistência a flexão.

É possível concluir que mesmo as placas de piso de concreto com adição de macrofibra que apresentaram maior resistência característica à compressão quando comparadas com as demais misturas, ainda assim, não atende ao valor requisitado pelo DNIT de 35 MPa para pavimento de concreto para tráfego leve, portanto devem ser utilizadas apenas para ciclovias e tráfego de pedestres.

4.2 Análise dos parâmetros hidráulicos

Os resultados das propriedades hidráulicas obtidos na literatura podem ser analisados a partir da tabela 9:

Tabela 9: Parâmetros hidráulicos aferidos em experimentos brasileiros e pesquisa

Instituição	Aplicação	Tipo de revestimento	Taxa de Infiltração (cm/s)	Referência
USP	calçada preliminar experimental (Mistura M3)	Concreto permeável	0,56	Curvo (2017) e Batezini e Balbo (2015)
USP	calçada definitiva Trecho 1 (Mistura RI)	Concreto permeável	2,10	Curvo (2017)
USP	calçada definitiva Trecho 2 (Mistura RI)	Concreto permeável	2,26	Curvo (2017)
USP	calçada definitiva Trecho 3	Concreto permeável	1,53	Curvo (2017)
USP	estacionamento experimental	Blocos de concreto unidirecionalmente articulados (Logblock permeável)	0,489	(Ono,2018)
PUC Campinas	Ensaio Laboratório (Tref)	Placa de piso elevado em concreto permeável	0,83	(Guidotti et al. 2019).
PUC Campinas	Ensaio Laboratório (Tfib)	Placa de piso elevado em concreto permeável com adição de macrofibra de polipropileno	0,76	(Guidotti et al. 2019).
PUC Campinas	Ensaio Laboratório (Tgeo)	Placa de piso elevado em concreto permeável com adição de geogrelha	0,77	(Guidotti et al. 2019).

Fonte: Autor, 2021

Correlacionando os parâmetros hidráulicos verifica-se um aumento na taxa de infiltração de 35,71% das placas de piso com macrofibra em relação ao concreto permeável da calçada preliminar da USP, destacando que segundo Ono, (2018) a inclusão de fibras e malhas geossintéticas reduzem em torno de 7% na capacidade de percolação da água, e mesmo com esse detrimento ainda se mantém com parâmetro superior ao concreto moldado no local.

Os resultados mostraram um incremento de 55,42% na taxa de infiltração das placas de piso em comparação aos BCA.

É válido observar uma taxa de infiltração superior do concreto moldado no local utilizado na calçada definitiva da USP denominada mistura RI, em comparação aos demais pavimentos, expressando no caso do concreto do trecho 2 um aumento de 197,36% em comparação ao piso de concreto com macrofibra,

dessa forma pode-se concluir que a mistura RI apresentou melhor desempenho hidráulico para o parâmetro de taxa de infiltração.

É possível concluir que as taxas de infiltração de todas as misturas superaram ao mínimo exigido pela NBR 14516-2015 que é da ordem de grandeza $> 0,10$ cm/s, havendo baixa disparidade entre as misturas de traço convencional e traço com adição de macrofibra de polipropileno realizadas no campus da PUC, sendo possível concluir que essa adição não causa detrimientos consideráveis no parâmetro da taxa de infiltração.

5. Considerações finais

Esse estudo atingiu seu propósito de proporcionar um melhor entendimento do pavimento de concreto permeável no que se refere ao seu comportamento mecânico e hidráulico e explicar suas limitações como agente mitigador de problemas de drenagem urbana.

O concreto permeável com a adição de macrofibra de polipropileno obteve maiores valores de resistência a tração na flexão e de resistência a compressão axial quando comparado com demais misturas; porém com relação a taxa de infiltração teve resultado inferior às misturas utilizadas na USP, contudo atendeu de forma plena aos requisitos da NBR 14516-2015 já anteriormente elucidado, sendo válido destacar que não houve considerável detrimento dessa taxa de infiltração causada pela adição de macrofibra de polipropileno, sendo possível inferir que o concreto permeável com adição de macrofibra é uma solução factível para aumento das características mecânicas desse compósito.

A investigação do solo é fundamental para se verificar sua permeabilidade e obter parâmetros para averiguação da necessidade de se adotar nos projetos dispositivos para drenagem das águas infiltradas, sendo temerário não realizar esse procedimento.

Essa tecnologia vem sendo adotada em outros países nos quais tem se constatado excelentes resultados, porém se faz necessário mais estudos e essencialmente construções piloto principalmente com adição de macrofibra de polipropileno, a fim de possibilitar aferições comparativas com estudos laboratoriais já realizados de forma a fornecer parâmetros para aprimorar seus resultados e torna-lo viável técnico e economicamente para sua adoção por construtoras, incorporadoras, órgãos públicos e privados.

Referências

ACIOLI, Laura Albuquerque. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ARAÚJO, Paulo Roberto de *et al.* Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial. **Rbrh - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000. Jul./Set. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=44&SUMARIO=643>. Acesso em: 21 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416: 2015** Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e Procedimentos. 1 ed. Rio de Janeiro, 2015. 25 p.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto Permeáveis**: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. 175 p.

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado, Engenharia de Transportes - Infraestrutura de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/pt-br.php>. Acesso em: 17 abr. 2021.

CURVO, Felipe de Oliveira. **Estudos de Drenabilidade de Calçadas Experimentais em Concreto Permeável no Campus Armando Salles de Oliveira da USP**. 2017. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Ciências, Engenharia de Transportes: Infraestrutura de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **IPR-714**: Manual de pavimentos rígidos. 2º ed. Rio de Janeiro, 2005. 234 p.

FERNANDES, Manuel de Matos. **Mecânica dos Solos**: conceitos e princípios fundamentais. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 418 p.

GUIDOTTI, Murillo Siqueira *et al.* Concreto permeável reforçado para placas de piso: faculdade de engenharia civil - programa de pós-graduação em sistemas de infraestrutura urbana - puc campinas. **Concreto & Construções**: Indústria 4.0 - Inovações Tecnológicas no Projeto, Execução e Controle do Concreto para Cidades Inteligentes, Campinas, n. 93, p. 62-68, 2019. Jan-Mar.

OLIVEIRA, Patrícia Lizi de. **Projeto Estrutural de Pavimentos Rodoviários e de Pisos Industriais de Concreto**. 2000. 246 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2000.

ONO, Bruno Watanabe. **Análise do desempenho estrutural e hidráulico de um pavimento permeável com revestimento de blocos de concreto unidirecionalmente articulados**. 2018. 248 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Ciências, Engenharia de Transportes - Infraestrutura de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

ONO, Bruno Watanabe; BALBO, José Tadeu; CARGNIN, Andréia. Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado. **Transportes**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 90, 29 out. 2017. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v25i3.1314>.

MONTEIRO, Anna Carolina Neves. **Concreto Poroso**: dosagem e desempenho. 2010. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

SANTANA, Emilly O. S.; SOUZA, Gabriel A. A. de; ALVAREZ, Lucila G.; ABREU, Nathalia M. S. de. Colmatção em pavimentos permeáveis: universidade são judas tadeu e associação brasileira de cimento portland. **Concreto & Construções**: Concreto para Habitação - Sistemas Construtivos Paredes de Concreto, Alvenaria Estrutural e Pré-Fabricados de Concreto, São Paulo, n. 90, p. 53-61, 2018. Abr-Jun.

VEDACIT. **VEDACIT PRO**: aditivo superplastificante à base de policarboxilato. Ficha Técnica. Disponível em: <https://www.vedacit.com.br/content/dam/vedacit/produtos/pdf/b2b/VEDACIT-PRO-ADITIVO-SUPERPLASTIFICANTE-BASE-POLICARBOXILATO.pdf.coredownload.inline.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2021.