

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DO RIO GRANDE DO NORTE

WERYKA PRESTON LEITE BATISTA DA COSTA

**PROPOSTA DE NORMA BRASILEIRA PARA ANÁLISE DA PERMEABILIDADE *IN SITU* DE *PAVERS* MOLDADOS EM CONCRETO PERMEÁVEL E DISPOSITIVO E MÉTODO DE ENSAIO PARA ANÁLISE DA PERMEABILIDADE E ABSORÇÃO DE *PAVERS* MOLDADOS EM CONCRETO**

NATAL  
2022

WERYKA PRESTON LEITE BATISTA DA COSTA

**PROPOSTA DE NORMA BRASILEIRA PARA ANÁLISE DA PERMEABILIDADE *IN SITU* DE *PAVERS* MOLDADOS EM CONCRETO PERMEÁVEL E DISPOSITIVO E MÉTODO DE ENSAIO PARA ANÁLISE DA PERMEABILIDADE E ABSORÇÃO DE *PAVERS* MOLDADOS EM CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, na Linha de Pesquisa de Saneamento Ambiental, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr João Teixeira de Carvalho Neto.  
Co-Orientador: Prof. PhD Fábio Sérgio da Costa Pereira

NATAL

2022

Costa, Weryka Preston Leite Batista da.  
C837p Proposta de norma brasileira para análise da permeabilidade *in situ* de *pavers* moldados em concreto permeável e dispositivo e método de ensaio para análise da permeabilidade e absorção de *pavers* moldados em concreto / Weryka Preston Leite Batista da Costa. – 2022.  
107 f. : il. color.

Dissertação (pós-graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

Orientador: Dr. João Teixeira de Carvalho Neto.

Coorientadora: Dr. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

1. Drenagem. 2. Pavimentação em concreto - Permeabilidade. 4. Blocos intertravados – Permeabilidade em *Pavers*. 5. Urbanização - Impactos I.  
Título.

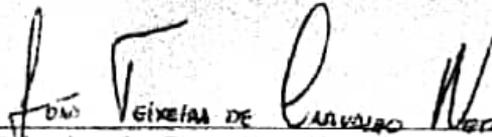
CDU 696.12

**PROPOSTA DE NORMA BRASILEIRA PARA ANÁLISE DA PERMEABILIDADE *IN SITU* DE PAVERS MOLDADOS EM CONCRETO PERMEÁVEL E DISPOSITIVO E MÉTODO DE ENSAIO PARA ANÁLISE DA PERMEABILIDADE E ABSORÇÃO DE PAVERS MOLDADOS EM CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, na Linha de Pesquisa de Saneamento Ambiental, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

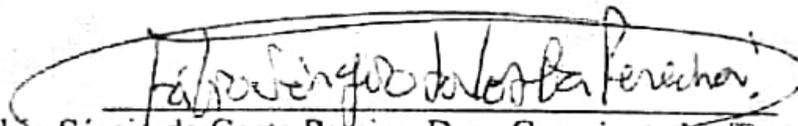
Orientador: Prof. Dr João Teixeira de Carvalho Neto.  
Co-Orientador: Prof. PhD Fábio Sérgio da Costa Pereira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 06/12/2022, pela seguinte Banca Examinadora:



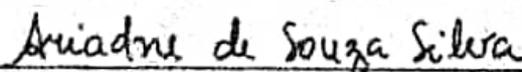
João Teixeira de Carvalho Neto, Dr. – Presidente

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

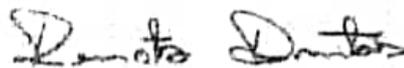


Fábio Sérgio da Costa Pereira, Dr. – Co-orientador/Examinador

Centro Universitário do Rio Grande do Norte – UNI/RN

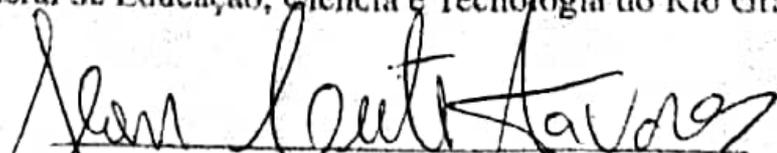


Ariadne de Sousa Silva, Dr. - Examinadora



Renato Dantas Rocha da Silva, Dr. - Examinador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Jean Leite Tavares, Dr. - Examinador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Dedico a Deus, a minha família aos que acreditaram e aos que não acreditaram em mim, bem como a todos os meus amigos e amigas.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, meu pilar principal pelo dom da Vida, pela busca contínua pelo conhecimento e sempre me guiar, com a certeza de que posso galgar degrau a degrau, não me deixando desistir, na certeza que sempre posso trilhar, desenhar, projetar, seguir estradas, atravessar pontes, caminhos, projetar uma fundação mais sólida, reforçar “manifestações patológicas” que tenham aparecido no decorrer da vida. Tornando-me uma estrutura cada vez mais firme, porém frangível e adaptável ao meio em que esteja exposta.

Ao meu irmão, pai, amigo, cúmplice Wayde Preston, in memoriam, sei que segue feliz por onde esteja, com o rumo que minha vida tomou e toma, a cada dia.

Em especial a minha irmã, cunhado, sobrinha e irmã “torta”: Wayka, Francisco, Carolina e Fernanda. Por acreditarem em meus pensamentos e sonhos, sempre apoiando e orientando. E ainda por me acolherem e suportarem por todos esses anos... - Sei que não é nada fácil!! Esses acreditaram em mim quando por vezes nem eu acreditava.

Ao restante família pelos princípios, educação, por uns acreditarem nos meus sonhos e outros por lançarem o desafio de que não iria conseguir sequer a graduação. Desafio a mim lançado o qual entrego mais uma fase concluída com êxito.

Na certeza de que o “bom filho a casa torna”, como “cria” dessa instituição de ensino, agradecimento aos eternos Mestres, da época do Técnico em Edificações. Na mesma toada, agradeço ao Orientador e Co-orientador, pela condução deste trabalho.

Ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI/RN), ao Coordenador do Curso e pós-Graduações da área de Engenharia Civil na UNI/RN e Co-orientador deste trabalho (Prof. Fábio Pereira), por dispor os seus laboratórios da UNI/RN para a realização dos ensaios e pelo apoio junto as empresas parceiras, com o fornecimento dos materiais.

Meu muito obrigada a todos que direta ou indiretamente contribuem para o meu crescimento pessoal e profissional, vocês são: anjos, amigos, mães, pais, amigos, irmãos, parceiros, cúmplices, Vida! Assim, dedico e partilho a minha uma etapa da minha vida acadêmica, pois tenho a certeza de que: “Cada pessoa que passa na nossa vida, passa sozinha, porque cada pessoa é única e nenhuma substitui a outra. Cada pessoa que passa pela nossa vida passa sozinha, não nos deixa só, porque deixa um pouco de si e leva um pouquinho de nós. Essa é a mais bela responsabilidade da vida e a prova de que as pessoas não se encontram por acaso” (Charles Chaplin).

## RESUMO

Os processos de urbanização e o crescimento desordenado das cidades, estão diretamente ligados a fatores que prejudicam o meio ambiente, ocasionando grandes impactos nos ciclos hidrológicos que contribui para a ocorrência de episódios de enchentes e inundações, provocadas pelos picos de cheia que sobrecarregam os sistemas de drenagem das cidades. Nesse contexto a pavimentação em concreto permeável, surge como uma tecnologia construtiva inovadora e compensatória auxiliando no escoamento superficial e aliviando os sistemas de drenagem pluvial convencional, com a infiltração de água no subsolo, abastecendo o lençol freático mantendo os aquíferos subterrâneos ou direcionando a água infiltrada para sistemas drenantes. Assim, este trabalho apresenta um estudo para o coeficiente de permeabilidade em *Pavers*, também conhecidos no Brasil como blocos intertravados, fabricados em Concreto Permeável a base de cimento Portland, apresenta três produtos tecnológicos, sendo: uma proposta de Norma Técnica Brasileira para análise da permeabilidade de pavers moldados em concreto permeável; uma solicitação de patente com a metodologia e um dispositivo para análise de pavers quanto a permeabilidade; bem como uma cartilha com boas práticas de materiais a serem utilizados para a fabricação dos *pavers* a serem moldados em concreto permeável. Tendo como base normativos preexistentes como: a NCAT, ASTM C1701/C1701M-17a (ASTM, 2017), a ABNT NBR 16.416:2015 e revisões bibliográficas. Para as análises da Permeabilidade dos *pavers* fornecidos por duas empresas, foram obtidos coeficientes para os ensaios em trama reta para a Empresa 1 e 2, respectivamente:  $K_t = 0,12 \times 10^{-5}$  e  $K_t = 0,03 \times 10^{-5}$  para os ensaios em trama escama de peixe para a Empresa 1 e 2, respectivamente:  $K_t = 0,15 \times 10^{-5}$  e  $K_t = 0,01 \times 10^{-5}$ , com os resultados as peças não puderam ser caracterizadas como 100% permeáveis, com base nessa pesquisa. Foram realizados outros ensaios para as duas empresas, como: absorção para pavers em concreto convencional e permeável; de permeabilidade para placas em concreto convencional e permeável e resistência à compressão para o traço utilizado para moldagem das peças em concreto permeável pela empresa 2. Os Relatórios Técnicos apresentados para as duas empresas e detalhados no decorrer deste trabalho, culminaram nos produtos tecnológicos, com o intuito de orientar as empresas, empresas, corpo técnico e demais pessoas para a necessidade do correto controle tecnológico das peças de pavers a serem utilizadas com o fito de serem em concreto permeável e todos os benefícios de tal técnica construtiva, com características de sustentabilidade e diminuição dos picos de cheia.

Palavras-chave: Pavimentos, Permeabilidade, Drenagem, Resistência à Compressão.

## ABSTRACT

The processes of urbanization and the disorderly growth of cities are directly linked to factors that harm the environment, causing major impacts on the hydrological cycles that contribute to the occurrence of episodes of flooding and flooding, caused by flood peaks that overload the water systems. drainage of cities. In this context, paving in permeable concrete emerges as an innovative and compensatory constructive technology, aiding in surface runoff and relieving conventional rainwater drainage systems, with water infiltration underground, supplying the water table, maintaining underground aquifers or directing infiltrated water. for drainage systems. Thus, this work presents a study for the permeability coefficient in Pavers, also known in Brazil as interlocking blocks, manufactured in Permeable Concrete based on Portland cement, presents three technological products, namely: a proposal for a Brazilian Technical Standard for permeability analysis pavers molded in permeable concrete; a patent request with the methodology and a device for analyzing pavers regarding permeability; as well as a booklet with good practices of materials to be used for the manufacture of pavers to be molded in permeable concrete. Based on pre-existing regulations such as: NCAT, ASTM C1701/C1701M-17a (ASTM, 2017), ABNT NBR 16.416:2015 and bibliographic reviews. For the analysis of the permeability of the pavers supplied by two companies, coefficients were obtained for the straight weave tests for Company 1 and 2, respectively:  $K_t = 0,12 \times 10^{-5}$  and  $K_t = 0,03 \times 10^{-5}$  for the fish scale weave tests for Company 1 and 2, respectively:  $K_t = 0,15 \times 10^{-5}$  e  $K_t = 0,01 \times 10^{-5}$ , with the results the pieces could not be characterized as 100% permeable, based on this research. Other tests were carried out for both companies, such as: absorption for pavers in conventional and permeable concrete; permeability for conventional and permeable concrete slabs and compressive strength for the trait used to mold the permeable concrete pieces by company 2. The Technical Reports presented to the two companies and detailed throughout this work, culminated in the technological products, with the in order to guide companies, companies, technical staff and other people to the need for correct technological control of the paver pieces to be used with the aim of being in permeable concrete and all the benefits of such a constructive technique, with characteristics of sustainability and reduction of flood peaks.

Keywords: Pavements, Permeability, Drainage, Compression Resistance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Impermeabilização do solo. ....	30
Figura 2 - Percolação de água em pavimentos impermeáveis e permeáveis. ....	35
Figura 3 - Modelo de Pavimento Permeável .....	36
Figura 4 - Características CPA em Pistas de Pouso e Decolagem no Brasil .....	42
Figura 5 - Formas de pavimentos permeáveis .....	44
Figura 6 - Esquema dos pavers em concreto convencional e travamento permeável. ....	45
Figura 7 - Paginação pisos intertravados - pavers. ....	46
Figura 8- Relação entre porosidade e permeabilidade - Permeômetros carga constante e carga variável. ....	47
Figura 9- Dimensões paver em Concreto Permeável, sem pigmentação. ....	51
Figura 10 - Dimensões paver em Concreto Permeável, sem pigmentação. ....	52
Figura 11 - Dimensões paver em Concreto Permeável, com pigmentação amarela. ....	52
Figura 12 Dimensões paver em Concreto Permeável, com pigmentação vermelha. ....	52
Figura 13 - Dimensões paver em concreto convencional, com pigmentação vermelha.....	53
Figura 14 - Dimensões paver em concreto convencional, sem pigmentação. ....	53
Figura 15 - Análise das Placas e Concreto Permeável - PLCP. ....	57
Figura 16 - Análise das Placas e Concreto Convencional – PLCC. ....	57
Figura 17 - Pesagem das peças – secas.....	59
Figura 18 - Peças em câmara úmida.....	59
Figura 19 - Exemplo da pesagem das peças – úmidas – Empresa 1. ....	59
Figura 20 – Exemplo da pesagem das peças – úmidas – Empresa 2.....	60
Figura 21 - Pesagem das peças secas - com pigmentação. ....	61
Figura 22 - Pesagem das peças úmidas (após 48h na imersão) - com pigmentação. ....	61
Figura 23 -Pesagem das peças úmidas (após 28 dias na imersão) - com pigmentação.....	62
Figura 24 - Corpos de Prova - Secos e identificados.....	62
Figura 25 - Corpos de Prova - Úmidos e pesados .....	63
Figura 26 - CP's submetidos à compressão .....	64
Figura 27 - Esboço dos tipos de ruptura .....	64
Figura 28 - Tipos de Rupturas dos CP's ensaiados .....	65
Figura 29 - Exemplos de Formatos/Tipo de peças .....	68
Figura 30 - Exemplo de peça com pigmentação amarela.....	70
Figura 31 - Exemplo de materiais utilizados durante o processo de fabricação.....	73
Figura 32 - Demonstração de mistura do traço e moldagem das peças, durante o processo de fabricação.....	73

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Plano de trabalho apresentado na página da ABNT .....	23
Tabela 2 - Resumo das análises de permeabilidade.....	56
Tabela 3 - Resumo das análises Permeabilidade das Placas.....	58
Tabela 4 - Dados ensaios de absorção – Empresa 1. ....	60
Tabela 5 - Dados ensaios de absorção – Empresa 2. ....	61
Tabela 6 - Resumo peso dos CP's .....	63
Tabela 7 - Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável .....	67
Tabela 8 - Resumo da dimensão das peças (medida real) .....	68
Tabela 9 - Resumo das análises de permeabilidade.....	70
Tabela 10 - Resistência Característica à Compressão NBR 9.781:2013. ....	72
Tabela 11 - Consumos (traços) básicos de materiais para concretos permeáveis.....	77
Tabela 12 - Padrões de variação de parâmetros de concreto permeável .....	77

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BMPs	<i>Best Management Practices</i>
CPA	<i>Camada Porosa de Atrito</i>
LID	<i>Low Impact Development</i>
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
NCAT	<i>American Society for Testing and Materials</i>
PCP	Paver em Concreto Permeável
PCC	Paver em Concreto Convencional
PPD	Pista de Pouso e Decolagem
PLCP	Placa em Concreto Permeável
PLCC	Placa em Concreto Convencional
ODSs	Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
SUDS	<i>Sustainable Urban Drainage Systems</i>
SBSP	Aeroporto de São Paulo - Congonhas
SBRJ	Aeroporto do Rio de Janeiro – Santos Dumont

**LISTA DE SÍMBOLOS**

K	Coeficiente de Permeabilidade
C	Fator de Conversão (SI) = 4.583.666.000
M	Massa de Água
D <sup>2</sup>	Diâmetro do Cilindro
t	Tempo de Percolação

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
1.1	HISTÓRICO DO CONCRETO PERMEÁVEL .....	24
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	24
1.3	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO .....	25
<b>2</b>	<b>PROBLEMA .....</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>29</b>
3.1	OBJETIVO GERAL .....	29
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	29
<b>4</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>33</b>
5.1	IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO .....	33
5.2	COMO MITIGAR OS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO .....	34
5.3	CARACTERIZAÇÃO DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS .....	35
5.4	MÉTODOS DE ANÁLISE DA PERMEABILIDADE EM PAVIMENTOS PERMEÁVEIS .....	37
5.5	PAVIMENTOS PERMEÁVEIS COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA .....	38
<b>6</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>39</b>
6.1	TIPOS DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS .....	41
6.1.1	<b>Concreto Asfáltico Poroso (Camada Porosa de Atrito).....</b>	<b>41</b>
6.1.2	<b>Concreto Permeável .....</b>	<b>43</b>
6.1.3	<b><i>Paver</i> em Concreto Permeável.....</b>	<b>43</b>
6.2.	<i>PAVERS</i> EM CONCRETO CONVENCIONAL.....	44
6.2	PAGINAÇÕES <i>PAVERS</i> EM CONCRETO CONVENCIONAL E EM CONCRETO PERMEÁVEL .....	45
6.3	PERMEABILIDADE EM PAVIMENTOS PERMEÁVEIS .....	46
<b>7</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>48</b>
7.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	48
7.2	SURGIMENTO DA PESQUISA.....	48
7.3	PROCEDIMENTOS PARA A REALIZAÇÃO DA PESQUISA .....	48
7.3.1	<b>Resumo da pesquisa .....</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>RESULTADOS E DISCURSÕES.....</b>	<b>51</b>
8.1	ANÁLISE DOS <i>PAVERS</i> FABRICADOS EM CONCRETO PERMEÁVEL .....	51
8.2	PROPOSTA DE NORMA BRASILEIRA PARA O ENSAIO DE PERMEABILIDADE EM <i>PAVERS</i> EM CONCRETO PERMEÁVEL .....	54
8.2.1	<b>Realização dos Ensaios de Permeabilidade.....</b>	<b>55</b>

8.3	ENSAIOS COMPLEMENTARES .....	58
8.3.1	Ensaio de Absorção.....	58
8.3.2	Ensaio de Resistência à Compressão – Empresa 2 .....	62
8.4	DISCURSÃO E RESULTADOS DOS ENSAIOS APRESENTADOS ÀS EMPRESAS PARCEIRAS .....	65
8.4.1	Resultados dos Ensaios da Empresa 1 .....	65
8.4.2	Resultados dos Ensaios da Empresa 2 .....	67
<b>9</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO .....</b>	<b>79</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>80</b>
10.1	DAS ANÁLISES – PROPOSTA DE NORMA.....	80
10.2	DAS ANÁLISES DO DISPOSITIVO .....	81
10.3	DA CARTILHA DE BOAS PRÁTICAS PARA MATERIAIS UTILIZADOS NOS PAVERS.....	82
<b>11</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>83</b>
11.1	DAS ANÁLISES – PROPOSTA DE NORMA .....	83
11.2	DAS ANÁLISES – DISPOSITIVO.....	83
11.3	DAS ANÁLISES – CARTILHA .....	84
11.4	TRABALHOS FUTUROS .....	84
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXO I – MINUTA DE PROPOSTA DE NORMA BRASILEIRA PARA O ENSAIO DE PERMEABILIDADE IN SITU, PARA PAVERS EM CONCRETO PERMEÁVEL.</b>	<b>92</b>
1.	ESCOPO.....	92
2.	REFERÊNCIAS NORMATIVAS.....	92
3.	TERMOS E DEFINIÇÕES .....	93
4.	TIPOLOGIA DO PAVIMENTO.....	95
5.	SISTEMA DE INFILTRAÇÃO.....	95
6.	OBJETIVO .....	95
7.	EQUIPAMENTOS .....	95
8.	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE .....	96
9.	PROCEDIMENTO .....	97
10.	CÁLCULO.....	98
11.	DAS ANÁLISES .....	98
12.	DOS ESAIOS .....	99
	<b>ANEXO II –PEDIDO DE PATENTE DE INOVAÇÃO, COM O TÍTULO: DISPOSITIVO E MÉTODO DE ENSAIO PARA ANÁLISE DE PERMEABILIDADE E ABSORÇÃO DE BOCOS INTERTRAVADOS EM CONCRETO PERMEÁVEL. ....</b>	<b>101</b>
	<b>ANEXO III – CARTILHA DE BOAS PRÁTICAS PARA MATERIAIS DE</b>	

<b>CONSTRUÇÃO UTILIZADOS PARA MOLDAGEM DE PAVERS EM CONCRETO PERMEÁVEL.....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO III – CARTILHA DE BOAS PRÁTICAS PARA MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO UTILIZADOS PARA MOLDAGEM DE PAVERS EM CONCRETO PERMEÁVEL.....</b>	<b>103</b>

## 1 INTRODUÇÃO

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

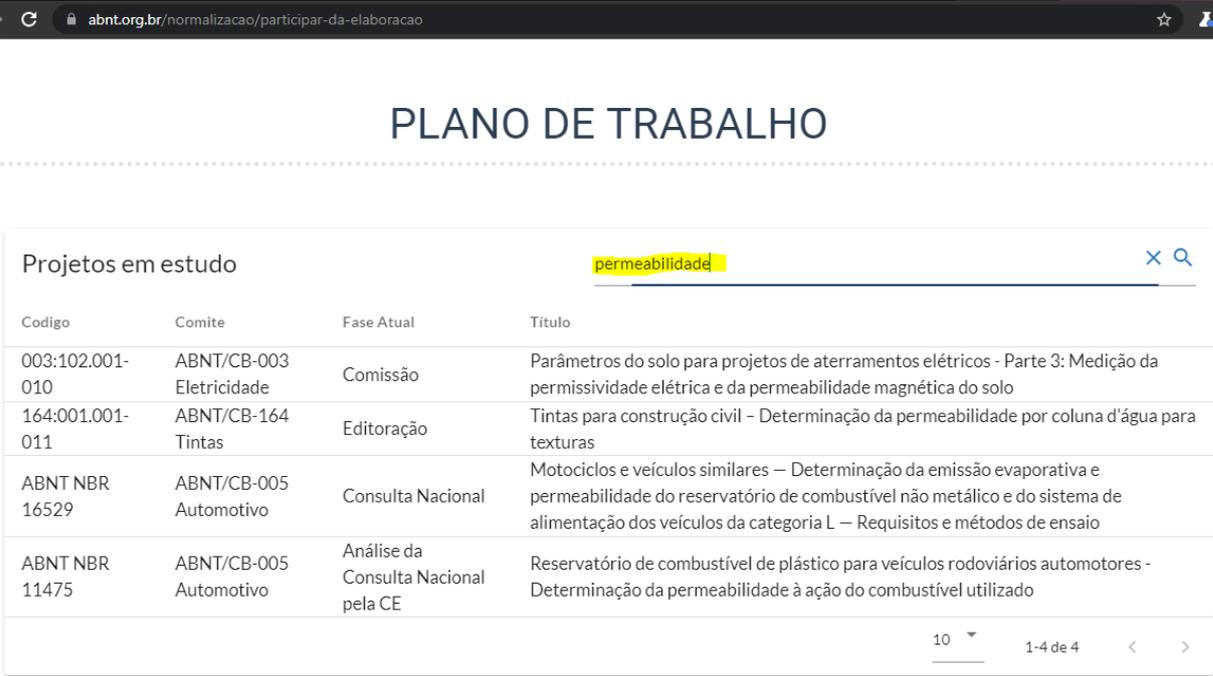
Como consequência disso, Tucci (2007) explica ainda que as cidades sofrem com os alagamentos em dias de chuvas intensas, avenidas importantes são atingidas, impedindo o tráfego e ocasionando grandes congestionamentos de veículos. Além dos problemas relacionados com o tráfego, a transmissão de doenças é um fator que instiga a adoção de medidas para a solução dessas dificuldades que causam danos econômicos, ambientais e principalmente sociais. Nesse contexto, torna-se necessário a adoção de técnicas construtivas que auxiliem a resolução do problema. O pavimento permeável, como medida que busca amenizar o impacto ambiental provocado pela impermeabilização dos solos e sistemas de micro e macrodrenagem ineficientes, é uma alternativa viável e que traz benefícios de ordem econômica, ambiental e por conseguinte social.

Considerado uma solução de infraestrutura “verde”, minimizando os impactos das construções ditas “cinzas” (convencionais), devido a sua composição, onde o concreto permeável apresentar uma relação de índice de vazios de 15 a 30% (WEISS *et al.* 2017). Garantindo assim, uma elevada porosidade e, por conseguinte uma boa drenabilidade, devido em seu traço apresentar uma significativa redução e por vezes até ausência de agregado miúdo.

No entanto, de acordo com Xie *et al.* (2019) mesmo com a realização de diversas pesquisas para analisar a resistência à compressão, não foi apresentado pelo sistema normativo americano (ASTM), nenhuma metodologia padrão para analisar a resistência à compressão e as características de desempenho mecânicas aplicadas aos traços que venham a aplicadas diretamente as análises do concreto permeável.

Como podemos observar na Tabela 01, em pesquisa realizada no site da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT não apresenta nenhum normativo em estudo, que trate de permeabilidade para *pavers* em concreto permeável. Nos planos de trabalho em estudo pela ABNT, quando se pesquisa pelo termo “permeabilidade”, já que ao pesquisar por “paver”, não há a localização de nenhum termo.

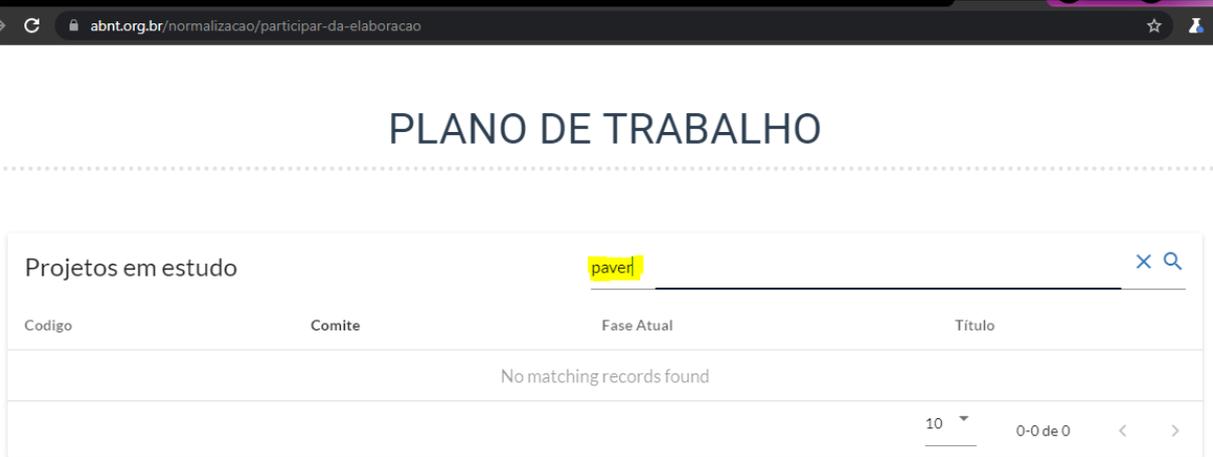
Tabela 1- Plano de trabalho apresentado na página da ABNT



permeabilidade

Codigo	Comite	Fase Atual	Titulo
003:102.001-010	ABNT/CB-003 Eletricidade	Comissão	Parâmetros do solo para projetos de aterramentos elétricos - Parte 3: Medição da permissividade elétrica e da permeabilidade magnética do solo
164:001.001-011	ABNT/CB-164 Tintas	Editoração	Tintas para construção civil - Determinação da permeabilidade por coluna d'água para texturas
ABNT NBR 16529	ABNT/CB-005 Automotivo	Consulta Nacional	Motociclos e veículos similares – Determinação da emissão evaporativa e permeabilidade do reservatório de combustível não metálico e do sistema de alimentação dos veículos da categoria L – Requisitos e métodos de ensaio
ABNT NBR 11475	ABNT/CB-005 Automotivo	Análise da Consulta Nacional pela CE	Reservatório de combustível de plástico para veículos rodoviários automotores - Determinação da permeabilidade à ação do combustível utilizado

10 1-4 de 4



paverf

Codigo	Comite	Fase Atual	Titulo
No matching records found			

10 0-0 de 0

Fonte: <https://www.abnt.org.br/normalizacao/participar-da-elaboracao>, acesso em 31/10/2021

Assim esta pesquisa terá como objetivo analisar a permeabilidade de blocos produzidos em concreto permeável, avaliando aspectos físicos e mecânicos, através do método descrito pelo NCAT, ASTM C1701/C1701M-17a (ASTM, 2017), bem como a proposição de uma Norma Brasileira, específica para ser utilizada na fabricação e instalação de blocos em concreto permeável. A partir da proposta de norma, será apresentado ainda um dispositivo para a análise da permeabilidade e a absorção, para os *pavers* moldados em concreto. Ainda uma cartilha com boas práticas de materiais a serem utilizados para a fabricação dos *pavers* a serem moldados em concreto permeável.

## 1.1 HISTÓRICO DO CONCRETO PERMEÁVEL

Embora o concreto permeável já exista desde meados do século 19, foi somente na década de 1980 que tal técnica construtiva se tornou popular nos Estados Unidos, sendo utilizado em aplicações de pavimentação como solução sustentável, devido a sua elevada permeabilidade devido a sua capacidade em diminuir o escoamento superficial e consequência auxiliando no gerenciamento de águas pluviais. Funcionando como uma espécie de filtro, reduzindo a ação de contaminantes como óleos, detritos e borrachas, com sua estrutura porosa (TENNIS; LEMING; AKERS, 2004). Para tanto, há de se observar a granulometria e consequentemente a porosidade ideal, projetada, de acordo com a quantidade de água e o grau de compactação os quais definirão a caracterização das peças e estruturas em concreto permeável.

Os pavimentos revestidos com pedra têm registros de execução pelos romanos, há quase 5.000 e 2.000 a.C, evoluindo posteriormente para a o uso da pedra talhada, conhecida como paralelepípedo, porém, com a dificuldade de produção artesanal das pedras e com a ausência de conforto de rolamento, acabaram impulsionando a fabricação de peça sem concreto pré-fabricadas. Após a Segunda Guerra Mundial, os *pavers* em concreto convencional passaram a ser produzidos em grandes fábricas, com grande produção na Alemanha, chegando ao Brasil, por volta da década de 70, conforme citado no Manual de Pavimento Intertravado da Associação Brasileira de Cimento Portland, emitido pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (PORTLAND, 2010).

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está constituído em uma dissertação composta de 11 (onze) seções, a primeira com o título de Introdução, versa sobre o problema posto e acerca de aspectos gerais a serem tratados no estudo, apresentando os objetivos do estudo, a metodologia e normativo a ser adotada para a realização as análises, contexto histórico do concreto permeável, estrutura do trabalho e contribuições pretendidas no estudo.

A segunda seção é a Problematização; a terceira seção apresenta os Objetivos do trabalho; já a quarta seção, traz a Justificativa do estudo. A quinta seção, apresenta o Estado da Arte, seus conceitos que fundamentam a pesquisa e todo seu estado da arte que caracteriza e descreve os procedimentos e importância da pesquisa, dentre outros pontos correlatos ao estudo. A sexta seção apresenta a fundamentação teórica, descrevendo os tipos de pavimentos

permeáveis e caracterização dos *pavers* objeto em estudo neste trabalho. A sétima parte, apresenta a Metodologia onde se explica o procedimento metodológico da pesquisa, análise dos dados e procedimentos a serem utilizados para a proposição da Norma Técnica.

A oitava seção, intitulada Proposta de Norma Brasileira para Ensaio de Permeabilidade em *Pavers* Moldados em Concreto Permeável, sendo expostos os dados obtidos, as caracterizações e procedimentos, conforme a metodologia apresentada. A nona seção será apresentado o procedimento para solicitação da patente com a metodologia desenvolvida para a análise da permeabilidade em *pavers* fabricados em concreto permeável.

A décima seção, retrata os resultados e discussões dos produtos finais e a décima primeira seção, é exposta a Conclusão, com as ponderações e arremate das análises e discussões realizadas. Após este capítulo, são apresentadas as referências bibliográficas consultadas. Bem como os anexos com os Produto Final deste trabalho.

### 1.3 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Com o fito de Dissertação aplicada a um programa de Mestrado Profissional, a mesma se destaca pela necessidade de apresentar contribuições aplicadas para a sociedade. Este trabalho apresenta análises e resultados aplicados a pavimentação, no intuito de minimizar ações provocadas pelo crescimento desordenado das cidades e a impermeabilização dos solos, que acabam diminuindo as áreas do escoamento superficial, que por vez ocasiona picos de cheia, inundações, enchentes, por exemplo. A partir de uma técnica que pode ser caracterizada como compensatória, aplicando os *pavers* fabricados em concreto permeável e culminando com o desenvolvimento de procedimentos e metodologias a serem patenteadas e enviadas à ABNT, para proposição de Norma Técnica, para análise da permeabilidade dos *pavers* fabricados em concreto permeável.

As análises e resultados serviram para padronizar os procedimentos, metodologias, análises e resultados encontrados, para a verificação do Coeficiente de Permeabilidade nos blocos em concreto permeável fabricados e utilizados no Brasil, a partir da proposição de uma norma técnica.

Apresentando ainda uma solicitação de patente para um desenvolvido e sua metodologia de ensaio para analisar de forma unitária, o *paver*, quanto a permeabilidade e a absorção.

Trará ainda uma cartilha com boas práticas de materiais a serem utilizados para a fabricação dos *pavers* a serem moldados em concreto permeável. Tal cartilha terá como base as

práticas observadas no processo de fabricação, durante a visita técnica com uma das empresas parceiras.

## 2 PROBLEMA

O processo de impermeabilização das cidades ocasionado pelos sistemas construtivos largamente utilizados, a partir do processo de urbanização e o crescimento desordenado destas, estão diretamente ligados a fatores que prejudicam o meio ambiente, gerando grandes impactos nos ciclos hidrológicos e contribuindo para a ocorrência de episódios de enchentes e inundações, provocadas pelos picos de cheia que sobrecarregam os sistemas de drenagem das cidades.

Sendo de extrema necessidade a utilização de técnicas construtivas compensatórias, como por exemplo os pavimentos em concreto permeável, os quais surgem como uma alternativa e tecnologia construtiva inovadora que busca melhorar a infiltração e escoamento para aliviar os sistemas de drenagem pluvial com a infiltração de água no subsolo, abastecendo o lençol freático mantendo o aquífero subterrâneo ou o direcionamento a partir de sistemas drenantes instalados na pavimentação, dessa forma atendendo requisitos de sustentabilidade na construção civil e buscando mitigar transtornos causados pelas enchentes nos grandes centros urbanos.

Por serem os pavimentos em concreto permeável uma técnica construtiva ainda tão popularizada no Brasil, em especial os *pavers* moldados em concreto permeável, no decorrer deste trabalho será apresentada análise da permeabilidade direcionada aos *pavers* fabricados utilizando o concreto permeável, a partir de adaptações das normas existentes para pavimentos permeáveis como por exemplo a NCAT, ASTM C1701/C1701M-17a (ASTM, 2017) e a ABNT NBR 16.416:2015, buscando apresentar procedimentos e metodologias específicas direcionadas para serem utilizadas na análise da permeabilidade de blocos em concreto permeável, criar um procedimento metodológico, para a proposição de uma Norma Brasileira. Tendo em vista a não existência no Brasil, de procedimento padronizado no Brasil que determinem e orientem as empresas fabricantes e construtoras que utilizem o *paver* moldados em concreto permeável.

A partir da proposta de norma, traremos ainda uma solicitação de patente de um dispositivo e metodologia de ensaio para a análise da permeabilidade e a absorção, para os *pavers* moldados em concreto.

Uma vez que a presente pesquisa, surge a partir da demanda de empresas parceiras do Centro Universitário do Rio Grande do Norte – UNI/RN, onde, foram analisados materiais de duas empresas distintas, que trabalham com a fabricação de artefatos pré-moldados diversos em duas regiões diferentes do Estado do Rio Grande do Norte. As análises foram direcionadas aos blocos intertravados (*pavers*) e também em placas moldadas em concreto permeável. As

peças foram enviadas ao Laboratório de Materiais de Construção da UNI/RN com a solicitação de que fossem verificados se os pavers fabricados por estas empresas, poderiam ser enquadrados como 100% permeável, com o foco de garantir requisitos e padrões ecológicos, dado o enquadramento do pavimento permeável e sua pegada ecológica.

Tal ação por parte das empresas parceiras demonstram o grau de maturidade e comprometimento, visando a adequação das peças, buscando padronização e enquadramento nas questões de sustentabilidade.

### 3 OBJETIVOS

Para este projeto, os objetivos atingidos abrangeram as premissas apresentadas a seguir:

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a permeabilidade de *pavers* produzidos em concreto permeável, criando procedimentos de forma a propor um normativo para a análise “in situ” dos blocos intertravados moldados em concreto permeável. Bem como uma metodologia de ensaio e desenvolvimento de um dispositivo para analisar a permeabilidade e absorção, de maneira automatizada, conforme amostras de *pavers* moldados em concreto.

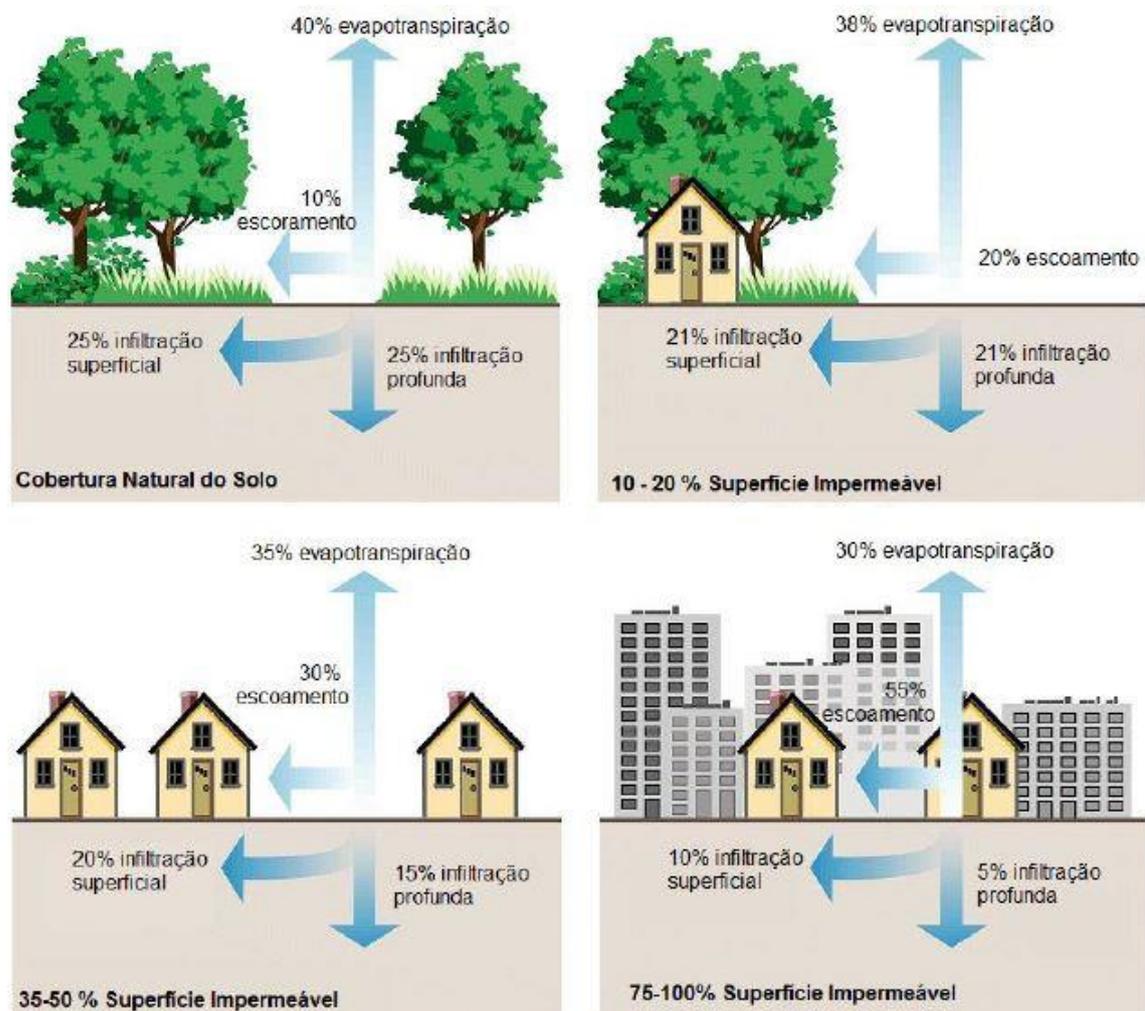
#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar a partir de normativos preexistentes, que tratam de permeabilidade de pavimentos, com o intuito de determinar o método para análise do coeficiente de permeabilidade em *pavers* produzidos em concreto permeável;
- b) Avaliar aspectos físicos e mecânicos, utilizando como base os métodos descritos pelo NCAT, ASTM C1701/C1701M-17a (ASTM, 2017) e ainda a ABNT NBR 16.416:2015 apresentando adaptações no intuito de verificar a permeabilidade aplicada somente aos blocos analisados;
- c) Apresentar uma proposição de uma Norma Brasileira, com seus procedimentos e padronizações, especificamente para ser utilizada e aplicado nas análises, fabricação e instalação de blocos em concreto permeável;
- d) Apresentar dispositivo e método de ensaio, a ser desenvolvido para análise unitária e automatizadas dos *pavers*;
- e) Apresentar cartilha com boas práticas de materiais a serem utilizados para a fabricação dos *pavers* a serem moldados em concreto permeável.

#### 4 JUSTIFICATIVA

O aumento da impermeabilização das superfícies provocado pelo crescimento das cidades e a expansão da malha urbana, com a construção de edifícios e a pavimentação convencional acabaram acarretando o aumento no escoamento superficial durante as precipitações, como podemos observar na Figura 2. Elevando assim as chances de inundações que quando intensas acabam provocando transtornos à população de ordem econômica, social, doenças de veiculação hídrica entre outros.

Figura 1 - Impermeabilização do solo.



Fonte: OLIVEIRA (2017), adaptado de AQUAFLUXOS, 2012.

Os pavimentos permeáveis desempenham o papel dos dispositivos de drenagem não convencionais, devido as suas estruturas planas, trazendo para os locais onde são instalados a capacidade de verter por meio da percolação da água que escoaria sobre os revestimentos.

Assim, a possibilidade de mitigar impactos ocasionados pela impermeabilização dos solos e ainda empregar os recursos naturais de modo mais eficientes (BALBO, 2020).

Os sistemas de drenagem convencionais, acabam atuando na transferência das contribuições para a jusante, já que atua retirando a contribuição de uma área e direcionando para outra. Já os pavimentos permeáveis, quando projetados e instalados conforme especificação, acabam reduzindo os picos de enchentes e alagamentos nos grandes centros urbanos.

Como especificado por Fernandes (2020), para mitigar os efeitos dos picos de chuva nos grandes centros urbanos a partir da redução do volume de água, que acaba indo para a rede de drenagem convencional. A aplicação de pavimento em concreto permeável, que traz consigo a característica de infiltrar a água para o solo e a depender do volume da precipitação, havendo o direcionamento para bacias de retenção, para o solo ou de acordo com a técnica compensatória projetada. Trazendo, por conseguinte, a diminuição de problemas ocasionados pela ausência de escoamento superficial da pavimentação convencional, tradicionalmente implementada, diminuindo ainda o carreamento de poluentes e resíduos.

Por ser uma técnica compensatória, o pavimento permeável é totalmente integrado a infraestrutura urbana, enquadrado como um sistema de drenagem urbana sustentável, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental da urbanização no balanço hídrico entre os Best Management Practices-BMP, Low Impact Development-LID, Sustainable Urban Drainage Systems-SUDS e a Green Infrastructure - GI, por exemplo (RIZZO et al., 2018). Passando a ser uma solução extremamente viável, diferenciando dos sistemas tradicionais de macrodrenagem urbana.

A utilização dos pavimentos permeáveis auxilia as cidades no atendimento de alguns dos princípios dos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável - ODS's da Organização das Nações Unidas-ONU, como por exemplo:

- ✓ O ODS 6: que propõe assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos;
- ✓ O ODS 11: que propõe cidades e comunidades sustentáveis, tornando as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis; e
- ✓ O ODS 13: atuando para implementação de ações contra a mudança global do clima, buscando atender medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos. Contribuindo com o atingimento dessas metas, minimizando os impactos antrópicos do processo de urbanização, entre outros, que acabam sendo atendidos com tal técnica construtiva.

No entanto, para que se tenha o perfeito funcionamento dessa técnica construtiva, é de extrema importância a análise da permeabilidade para que possa garantir todas as características inerentes a essa técnica construtiva. Permitindo assim a verificação da capacidade de infiltração da água no solo a partir da superfície “rugosa” dos pavimentos.

A composição básica do concreto permeável pode ser apresentada como uma mistura de agregados graúdos uniformemente graduados, pouco ou nenhum agregado miúdo, cimento Portland e uma quantidade controlada de água, por vezes, também, alguns aditivos, fazendo com que a combinação entre agregado graúdo e baixo fator água-cimento (variando entre 0,25 a 0,35%), garantam a mistura do concreto um elevado teor de vazios (TENNIS et al., 2004). Passando o concreto permeável, a possuir uma elevada permeabilidade à água e ao ar das peças que utilizam esse tipo de concreto em sua composição.

## 5 ESTADO DA ARTE

Com sua composição mais porosa, os pavimentos em concreto permeável são apresentados como uma técnica construtiva que apresenta vários aspectos positivos de sustentabilidade na infraestrutura urbana, como por exemplo: redução do escoamento e melhoria da infiltração de águas pluviais, aumento da resistência à derrapagem da superfície do pavimento, melhoria da qualidade da água subterrânea e redução da hidroplanagem melhorando ainda a segurança no tráfego, efeito de ilha de calor e ruído do tráfego (XIE, 2019). Atuando assim, de maneira positiva na redução dos impactos em sua urbanização, apresentando-se como forma mitigadora para o processo de impermeabilização dos solos das técnicas construtivas que utilizam a pavimentação convencional. Sendo de extrema importância para o concreto permeável cuidados desde a sua composição, traço, materiais e controle tecnológico, como será apresentado no decorrer desta revisão bibliográfica.

### 5.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

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

Ainda de acordo com Tucci (2003), a degradação do meio ambiente e o processo de urbanização e desenvolvimento dos grandes centros e núcleos urbanos contribuíram para uma intensa impermeabilização dos solos, resultando numa alteração da capacidade de infiltração das águas pluviais, reduzindo a recarga dos aquíferos e elevando o escoamento superficial com potenciais inundações em áreas mais baixas.

Nisso, de acordo com Fini et al. (2017), o processo de impermeabilização do solo altera o microclima já que afeta diretamente os ciclos bioquímicos, como hidrológico e o de carbono. Apresentando alternativas construtivas, como os pavimentos permeáveis (porosos), para mitigar os impactos da urbanização.

Como consequência disso, Tucci (2007), explica ainda que as cidades sofrem com os alagamentos em dias de chuvas intensas, avenidas importantes são atingidas, impedindo o tráfego e ocasionando grandes congestionamentos de veículos. Além dos problemas

relacionados com o tráfego, a transmissão de doenças de vinculação hídrica é um fator que instiga a adoção de medidas para a solução dessas dificuldades que causam danos econômicos, ambientais e principalmente sociais. Nesse contexto, torna-se necessário a adoção de técnicas construtivas que auxiliem a resolução do problema. O pavimento permeável, como medida que busca amenizar o impacto ambiental provocado pela impermeabilização dos solos e sistemas de micro e macrodrenagem ineficientes, é uma alternativa viável e que traz benefícios de ordem econômica, ambiental e por conseguinte social.

O aumento no número de enchentes e inundações principalmente nas grandes cidades, provocado pela urbanização desordenada, provocando alagamentos, prejuízos ao meio ambiente de ordem econômica, paisagens urbanas, doenças de vinculação hídrica e principalmente perdas de vidas. Sendo necessárias assim, intervenções e técnicas construtivas que atuem como formas compensatórias e mitigadoras do processo de urbanização e impermeabilização dos solos.

## 5.2 COMO MITIGAR OS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

Medidas compensatórias precisam ser realizadas e implementadas no intuito de suavizar os danos ocasionados ao meio ambiente e impactos sociais decorrente do crescimento desordenado das cidades, auxiliando nos sistemas de micro e macrodrenagens convencionais, diminuindo o coeficiente de escoamento superficial e consequentemente vazões e de pico de cheia.

Tais medidas importam em intervenções da infraestrutura urbana pautada no planejamento integrado da bacia de drenagem, chegando a soluções abrangentes no espaço, área de contribuição e no tempo, evitando medidas de caráter considerado mais restrito, bem como sistemas de drenagem convencional, os quais quando não bem implementados acabam por vezes deslocando os problemas das contribuições para impactos e danos à jusante.

Como descreve Tucci (2008), o manejo tradicional das águas urbanas corrobora para aumentar dos impactos e prejuízos financeiros, ambientais, estético, à saúde e ainda à qualidade de vida da população. Sendo modelos ultrapassados devido ao crescimento das cidades e dos países em desenvolvimento onde há a massiva impermeabilização do solo e canalizações artificiais.

Para Fernandes (2020), o aumento da impermeabilização do solo a partir dos padrões de ocupação do solo urbano com bases tradicionais e as novas construções, somada a falta de manutenção dos sistemas de drenagem e sua não desobstrução são também um grande aliado

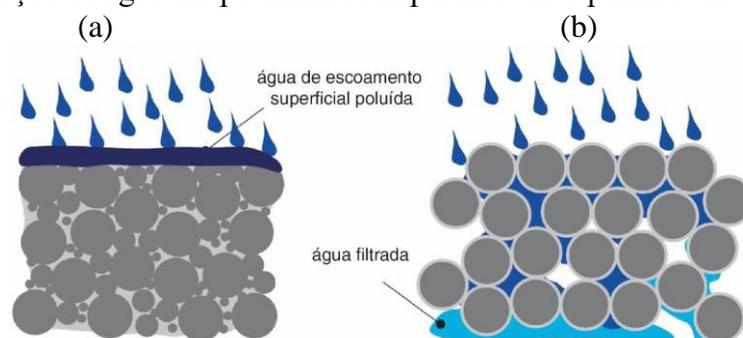
dos alagamentos, os eventos de alagamentos nas cidades brasileiras estão cada vez mais cíclicos. Conseqüentemente há o aumento do escoamento superficial e a amplitude do pico de cheia.

Surgindo metodologias e técnicas construtivas que são caracterizadas como compensatórias, a exemplo dos pavimentos em concreto ou asfalto permeável. Que buscam amenizar os efeitos dos picos de cheia e redução do volume de água, principalmente nas grandes cidades. Uma vez que estes “permitem a infiltração da água para o solo e que a depender de seu volume pode ser direcionada para um reservatório de detenção” (FERNANDES, 2020).

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Devido sua composição, com um elevado número de vazios, os pavimentos permeáveis acabam diminuindo o escoamento superficial, onde por meio da infiltração as precipitações acabam percolando, sem causar dano algum à sua estrutura. Como podemos verificar na Figura 2, onde, de acordo com Fernandes (2020) adaptação de Zhong *et al.* (2018), apresenta a ilustração do processo de infiltração da água nos poros de um pavimento impermeável (a) em comparação com um pavimento permeável (b).

Figura 2 - Percolação de água em pavimentos impermeáveis e permeáveis.

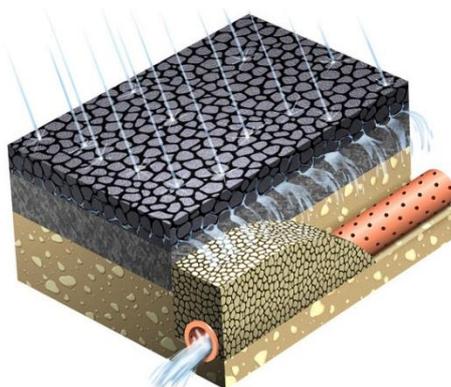


Fonte: FERNANDES (2020), adaptado de Zhong *et al.* (2018).

De acordo com Suzuki, Azevedo e Kabbach Júnior (2018), os pavimentos permeáveis também são conhecidos como estruturas-reservatório, de acordo com a matriz porosa que são constituídos, podendo possuir função mecânica e hidráulica. Os com função hidráulica tem seu funcionamento pautado em três princípios, sendo eles: entrada imediata, temporária e lenta de água.

As características mecânicas do pavimento em concreto permeável, assim como a taxa de permeabilidade são determinadas pela dosagem e método empregado para o adensamento do concreto no momento de sua execução.

Figura 3 - Modelo de Pavimento Permeável



Fonte: Inova Civil, disponível em: <https://engenharia360.com/pavimentos-permeaveis-reduz-inundacoes/>, acesso em 13 de maio de 2021.

Dentre as principais características do pavimento em concreto permeável, a permeabilidade, pois ela permite a infiltração da água pluvial no solo além de sua textura rugosa reduz a velocidade de escoamento da água da chuva, tais propriedades são importantes para mitigar problemas urbanos como o sobre carregamento da rede, conforme (OLIVEIRA, 2017).

Sendo preciso atentar ainda a todos os parâmetros e aspectos tecnológicos e seu controle, chamando a atenção de acordo com Balbo (2020), para a preocupação quanto as características mecânicas, devido a existência de vazios na composição do concreto permeável, que acaba afetando sobremaneira à resistência, módulo de elasticidade, comportamentos quanto à fadiga e fratura do material.

Ainda conforme Balbo (2020), a elevada porosidade coaduna em todas as fases de produção e aplicação das peças moldadas em concreto permeável. Desde o transporte, adensamento e até mesmo a produção e dosagem, já que não podem seguir critérios convencionais pautados na consistência, teor de argamassa e resistência.

Destacando que de acordo com a ABNT NBR 16.416:2015, é considerado permeável o pavimento que tem capacidade de drenar  $10^{-3}m/s$ . Ou seja, devendo toda a estrutura atender essa característica em seus ensaios, para que venha a ser considerado permeável. Porém, em algumas obras verificamos que muitas vezes essas análises não são observadas, quando se caracteriza as peças e/ou pavimentos como permeáveis/porosos. Sendo, a permeabilidade é um dos principais parâmetros a serem analisados para as peças que forem executadas a partir da técnica construtiva a serem analisadas se atender a todas as características delimitadas para peças permeáveis.

#### 5.4 MÉTODOS DE ANÁLISE DA PERMEABILIDADE EM PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

De acordo com Li et al; 2013, em estudos comparativos realizados com a ASTM C1701 e a NCAT, quanto a permeabilidade, mostraram inconsistência entre os resultados de campo e de laboratório, e geralmente os valores de permeabilidade foram maiores para pavimentos asfálticos porosos em medições em laboratório em comparação com medições dos mesmos materiais em campo. A diferença nos resultados de permeabilidade nesses estudos é principalmente devido ao fluxo horizontal irrestrito em testes de permeabilidade de campo, que não está presente nos testes de laboratório.

A ASTM C1701/C1701M-17a (ASTM, 2017), normativo americano, apresenta ensaios de pavimentos permeáveis, estabelecendo procedimentos para a determinação da permeabilidade e resistência à compressão, não apresentando requisitos para a classificação desses resultados. Trabalhos realizados com base nesse normativo, classificam a permeabilidade tendo como base os padrões de permeabilidade de solos (conforme Tabela A do Anexo I) desenvolvidos por Tezaghi e Peck, desenvolvidos em 1967, (FERNANDES 2019).

Já que o método não normatizado do NCAT, analisam a permeabilidade em asfalto poroso. Enquanto a ABNT NBR 16.416:2015, apresenta um pouco de semelhança com a análise realizada seguindo os parâmetros da ASTM C1701, com diferenciação em metodologia de análise quanto ao coeficiente de permeabilidade para pavimentos permeáveis.

Balbo (2020), destaca que para estudos relacionados a área de Engenharia Geotécnica, a ABNT apresenta dois normativos os quais acabam padronizando as análises quanto à permeabilidade, sendo: a ABNT NBR 14.454:2000 e a 13.292:1995, as quais tratam de Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável e Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a carga constante – Método de ensaio, respectivamente.

Sendo observada a ISO 17.785:2016, para o preparo das amostras a serem preparadas para utilização no dispositivo, uma vez que este normativo da família ISO, o qual descreve procedimentos para verificar a taxa de infiltração de amostras de pavimento de concreto permeável endurecido em laboratório. Mesmo tal procedimento não sendo uma metodologia para medir a permeabilidade do concreto permeável, mas, apresenta o preparo das amostras em laboratório e/ou em campo, além de outros pontos relacionados ao concreto permeável em estado endurecido. E ainda normativos como a ASTM C192 / C192M – 19, que trata de Prática Padrão para Fabricação e Cura de Amostras de Teste de Concreto no Laboratório.

Com o aumento na utilização do concreto permeável, há a necessidade de se implementar algum normativo que direcione os procedimentos e características necessárias, as peças com essa técnica construtiva, no intuito de garantir a permeabilidade, avaliando a capacidade de infiltração dos pavimentos, mesurando o desempenho através da análise das superfícies. Não foi identificado até o momento, nenhum normativo no Brasil, que padronize as análises dos *pavers* em concreto permeável, sendo empregados normativos americanos como o ASTM C1701/C1701M-17a (ASTM, 2017), NCAT e no Brasil como a ABNT NBT 16.416:2015, que são procedimentos existentes para pavimentos em concreto permeáveis e asfalto permeável, nenhum deles direcionam ou especificam as análises para *pavers* moldados com concreto permeável. Embora os blocos de concreto permeável, sejam uma boa alternativa para reduzir problemas de drenagem superficial, com sua aplicação em vias, passeios públicos, estacionamento, residenciais, entre outros.

Como não foi encontrada nenhuma publicação que trate das análises da permeabilidade específica para os *pavers* em concreto permeável, existe no Brasil e a norma brasileira que trata de concreto permeável, a ABNT NBR 16.416:2015, é atinente ao concreto permeável como um todo (placas e PCP (concreto e asfalto)), não padronizando os procedimentos e análises direcionadas aos *pavers* em concreto permeável. Ainda, nenhuma das normas citadas anteriormente apresentam a análise da permeabilidade com relação somente aos *pavers* fabricados com essa técnica construtiva, considerando por vezes o rejuntamento entre as peças e não o bloco em si, o que acaba interferindo no controle tecnológico das peças, desde sua fabricação. Nisso, o presente estudo aborda uma padronização na metodologia de ensaio e resultados, e ainda apresentará uma proposta de normatização para blocos de concreto permeável, de forma a analisar a permeabilidade somente dos blocos a partir do fechamento das juntas de dilatação entre peças instaladas.

## 5.5 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA

A urbanização brasileira não foi acompanhada de obras estruturais adequadas às características naturais. Em várias localidades, as enchentes e os deslizamentos de terra são desafios constantes. Apesar de ser um fenômeno de ocorrência natural, o transbordamento de rios em direção às suas margens é intensificado pela ação humana. O mau uso do espaço urbano e a retirada da mata ciliar que acompanha o trajeto dos rios promovem o aumento do escoamento superficial.

A problemática das enchentes e alagamentos nos centros urbanos levou à criação de

um novo conceito de gerenciamento das águas pluviais em meio urbano, conhecido como *Best Management Practices (BMPs)* cujo objetivo é reduzir as cheias a partir da origem do problema e melhorar a qualidade da água do escoamento superficial. Dentre as práticas adotadas observa-se o uso de reservatórios de acumulação, filtros biológicos e químicos e aumento de áreas permeáveis.

Diferente dos outros concretos, a qualidade do concreto drenante é definida pela sua porosidade, pela taxa de infiltração de água e seu peso, não sendo a resistência fator de grande importância. A alta porosidade é garantida pela utilização de agregado com a mesma granulometria, proporcionando volume de vazios, normalmente situado entre 15% e 30% do volume total. A quantidade de cada material é variável de acordo com a resistência pretendida e com a finalidade de utilização (FERREIRA, 2020).

## **6 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Para Tucci, (2003), a degradação do meio ambiente e o processo de urbanização e desenvolvimento dos grandes centros e núcleos urbanos contribuíram para uma intensa impermeabilização dos solos, resultando numa alteração da capacidade de infiltração das águas pluviais, reduzindo a recarga dos aquíferos e elevando o escoamento superficial com potenciais inundações em áreas mais baixas.

Os pavimentos permeáveis surgem como uma das técnicas construtivas e sistemas compensatórios capazes de mitigar os impactos ocasionados pela impermeabilização dos solos, como o caso da utilização de pavimentos permeáveis, os quais, de acordo com a ABNT NBR 16.416:2015 é ao revestimento que “atende simultaneamente às solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento e cuja estrutura permite a percolação e/ou acúmulo de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar dano à sua estrutura.”

Sendo caracterizado por permitir a percolação de 100% da água precipitada sobre as áreas de contribuição, conforme projeto. Diminuindo dessa forma, as contribuições decorrentes do Coeficiente de Runoof (escoamento superficial) dessa área, uma vez que razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado acabaria tendendo a zero, com a utilização desse tipo de pavimentação.

Com elevada porosidade e boa drenabilidade o pavimento permeável tem a capacidade de deixar a água infiltrar através de sua estrutura porosa, as quais quando corretamente projetadas e implantadas, acabam influenciando na diminuição das vazões de pico de cheia, já que o pavimento é considerado autodrenante. Promovendo ainda a recarga dos lençóis freáticos

de onde estão instalados, melhorando inclusive a qualidade da água que é infiltrada, conforme aponta BALBO, 2020.

Auxiliando no controle das enchentes e gestão de águas pluviais, minimizando o escoamento de águas pluviais, aumentando a infiltração no local e reduzindo contaminantes. Sendo recomendados ainda para auxiliar na redução das ilhas de calor urbanas, devido a sua coloração mais clara e os poros existentes nas peças, minimizando os impactos no microclima e nos habitats humanos e da vida selvagem.

Ainda na gestão das águas pluviais, destaca-se também a redução ou eliminação da necessidade de grandes tubos ou lagoas de retenção, sobrecarga dos sistemas de drenagem pluvial existentes, do potencial de inundações a jusante e mitiga a poluição impacto nas águas superficiais circundantes.

Havendo também a melhoria na qualidade da água e o tratamento de poluentes por infiltração, usando a infiltração natural de água da chuva para reduzir ou eliminar o escoamento maximizando a recarga das águas subterrâneas.

Uma vez que o concreto permeável também tem propriedades de absorção acústica, reduzindo não só ações de cheias e problemas de aquaplanagem, como também há a redução de níveis de ruído e acústica, do que os pavimentos em asfalto e concreto convencional, as camadas porosas de atrito ou os pavimentos em concreto permeável, são mais silenciosos. Esta absorção acústica superior deve-se, novamente, à natureza porosa do material.

A capacidade de infiltração do concreto permeável pode ser determinada através de diversas normas e procedimentos, para os pavimentos executados em concreto permeável. Li, Kayhanian e Harvey (2003) avaliaram as diferenças entre a norma e o método americano, como a ASTM C1701 e o método desenvolvido pelo Instituto Nacional de Tecnologia do Asfalto (NCAT), e verificaram que as taxas podem variar em até 25% dependendo do procedimento empregado para analisar a permeabilidade de pavimentos em concreto permeável.

Zhong, Leng e Poon (2018), apresentam os conceitos da permeabilidade aludida à condutividade hidráulica, definindo como a capacidade de medida quantitativa que caracteriza o fluxo de água através dos poros. Alertando para a importância de métodos apropriados para determinar a permeabilidade, aplicando a isso a qualidade de uma área e/ou projeto em concreto.

Tennis et al. (2004), trazem ainda os benefícios ambientais do concreto permeável, para o potencial de ser certificado para projetos de construção pelo sistema de Classificação de Prédios Ecológicos do Green Building Council dos EUA (LEED), devido aos benefícios ambientais e a capacidade de diminuição das ilhas de calor, provocadas pelos poros do PCP, fazendo com que tenha circulação de ar e ainda devido a coloração mais clara das superfícies.

Há também a redução do ruído com a interação pneu-pavimento, já que por sua superfície mais porosa. Minimizando a geração de ruído enquanto o sistema de poros do material absorve a energia do som através do atrito interno (ZHONG; *et al.* 2018).

Ainda de acordo com Tennis *et al.* (2004), a capacidade de infiltração varia de 0,21 a 0,51 cm/s, onde as características mecânicas e a taxa de permeabilidade são determinadas de acordo com a dosagem e adensamento do concreto no momento de sua execução. Passando a atuar como uma técnica compensatória, visando auxiliar nos problemas de drenagem e controle de enchentes, já que em sua composição apresenta uma diminuição e/ou ausência de agregados miúdos, garantindo as peças uma boa drenabilidade e uma elevada porosidade, provocada pelo número de vazios, variando de acordo com a composição do traço.

## 6.1 TIPOS DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Conforme descrito por Balbo, (2020) há de se considerar a existência de no mínimo três tipos de revestimentos considerados permeáveis (porosos), sendo eles: o concreto asfáltico poroso (camada porosa de atrito), o concreto permeável e os blocos (*pavers*) em concreto permeável (estes pode ser articulados ou intertravados, bem como existem os vazados, utilizando o concreto permeável).

### 6.1.1 Concreto Asfáltico Poroso (Camada Porosa de Atrito)

De acordo com Dresch, (2016), a busca por novas técnicas construtivas, que auxiliam na melhoria do trânsito em relação a segurança em dias chuvosos, principalmente, garantem propriedades ainda que favorecem a visualização da sinalização horizontal a noite, buscando atender requisitos de trafegabilidade e auxiliando na redução de acidentes.

Com propriedades mecânicas e hidráulicas, a Camada Porosa de Atrito - CPA ou o Concreto Asfáltico Poroso - CAP é um tipo de revestimento asfáltico com uma mistura asfáltica pré-misturada a quente, com características drenantes ou porosas, empregada na superfície dos pavimentos. Esse revestimento é pouco difundido no Brasil e por isso é de interesse o estudo aprofundado dos aspectos técnicos e funcionais do revestimento com o objetivo de avaliar a efetividade do método como aliado no sistema de drenagem urbana e sua real possibilidade de implementação no país (BALBO, 2007).

A norma DNER-ES 386/99, do Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNWE (DNER, 2009), trata da Camada Porosa de Atrito, além de apresentar as vantagens e

desvantagens do uso deste pavimento.

Atualmente, são muito utilizadas a fim de aumentar a segurança das vias e aeroportos e para diminuir o impacto ambiental com a redução dos ruídos (OLIVEIRA, 2003; BALBO, 2007).

Sua utilização em aeroportos, a segurança nas operações de pouso e decolagem apresentam benefícios para as operações de pouso e decolagem devido aos maiores coeficientes de atrito e macrotextura, diminuindo episódios de aquaplanagem.

A aplicação da CPA remonta a década de 1970, tendo sua aplicação nos EUA e na Europa. No Brasil, no ano de 1983, a CPA foi aplicada pela primeira vez, Aeroporto de Confins, em Belo Horizonte-MG - SBCF e mais recentemente nos Aeroportos de Santos Dumont no Rio de Janeiro-RJ - SBRJ e Congonhas em São Paulo-SP - SBSP. Incluindo processos de manutenção periódica e revitalizações, no intuito de garantir o atingimento das legislações aplicadas à aviação civil (OLIVEIRA, 2003; DUMKE, 2005; FARAH, 2009).

A CPA, nos SBSP e do SBRJ, vem com a característica de atingir de 20 a 25% de vazios, para garantir escoamento superficial da água de forma rápida, de acordo com a especificação. Sendo executadas pistas testes, para verificar desde o traço, compactação, bem como atendimento das especificações de atrito e macrotextura. No caso do SBSP, apresentando as características conforme Figura 4.

Figura 4 - Características CPA em Pistas de Pouso e Decolagem no Brasil



Fonte: <https://www.facebook.com/InfraeroAeroportos/videos/obra-da-pista-de-congonhas-cpa/611992946389443/>, acesso em 09 de maio de 2021.

### 6.1.2 Concreto Permeável

A ABNT 16.416:2015 – Pavimentos Permeáveis de Concreto – Requisitos e procedimentos, apresenta as seguintes definições: em seu item 3.12, concreto permeável é um concreto com vazios interligados que permitem a percolação de água da gravidade, já em seu item 3.15, caracteriza as peças de concreto permeável como um componente pré-moldado de concreto permeável, utilizado como material de revestimento em pavimento permeável e cujo índice de forma é superior a 4 – índice de forma, é a relação entre o comprimento e a espessura de peças ou placas de concreto, descontando a espessura do espaçador, item 3.16.

O Pavimento Permeável é também conhecido como Concreto Poroso, tem como função o aumento da permeabilidade de pavimentos submetidos a cargas reduzidas, sendo praticamente similar ao concreto convencional. A diferenciação entre o concreto convencional e o concreto permeável é o traço, já que o permeável dispõe de composição com maior porcentagem de agregados graúdos. Apresentando uma estrutura porosa com poros para facilitar a passagem da água e do ar, gerando um maior índice de vazios, de 15% a 25%. Já o concreto convencional possui uma granulometria com boa distribuição.

A partir da limitação do teor dos finos no traço do concreto, são criados poros interconectados que possibilitam que praticamente toda a água seja infiltrada na estrutura, funcionando, assim, como um sistema de drenagem e compensatório para mitigar impactos ocasionados pela impermeabilização dos solos e o crescimento desordenado.

Conforme Oliveira, (2017), como a dosagem do concreto permeável varia de acordo com o grau de permeabilidade que se deseja atingir, o concreto permeável é uma alternativa sustentável no conceito do desenvolvimento sustentável, sendo uma ferramenta do baixo impacto ambiental, ganhando destaque desde o ano de 1990.

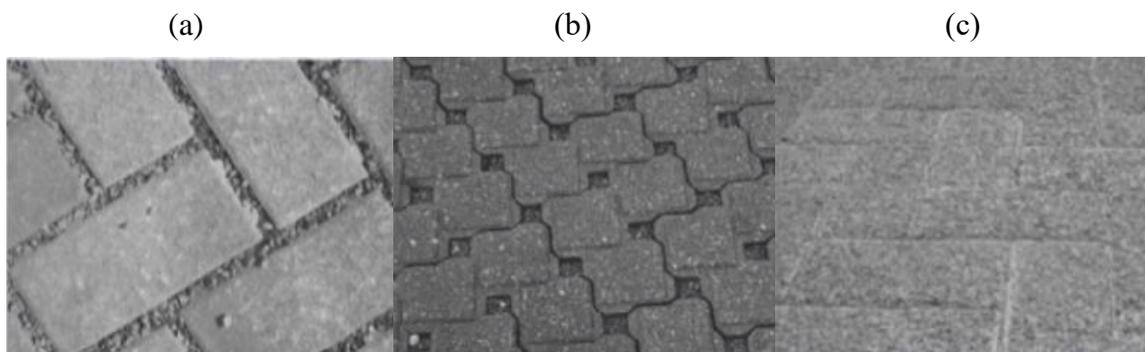
Hoje em dia, existem várias técnicas para elaboração de pisos permeável, sejam eles em pisos contínuos, placas e *pavers* (blocos pré-moldados intertravados), onde, este último será objeto desse estudo, para verificação e análise da permeabilidade das peças moldadas com esta técnica construtiva, bem como será apresentada uma proposição de norma técnica.

### 6.1.3 Paver em Concreto Permeável

Conforme ABNT NBR 16.4016:2015, os revestimentos de pavimentos intertravados permeáveis podem ser constituídos conforme previsto nos itens 4.1.1 a 4.1.3, podendo ser revestimentos conforme Figura 5, sendo definidos como: peças de concreto com juntas

alargadas (a), com área vazada (b) e peças em concreto permeável (c).

Figura 5 - Formas de pavimentos permeáveis



Fonte: ABNT NBR 16.416:2015 (ABNT, 2015).

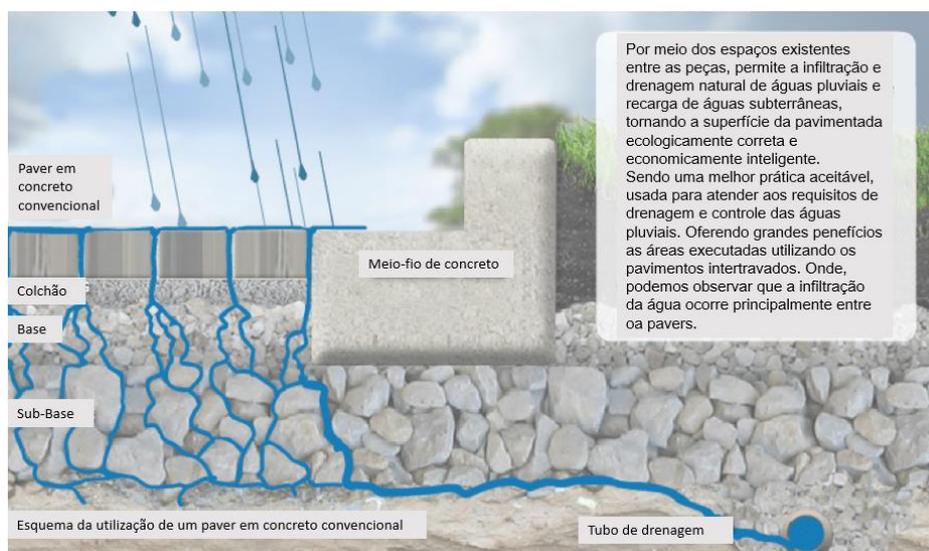
## 6.2. PAVERS EM CONCRETO CONVENCIONAL

O concreto convencional em si, é considerado um dos materiais mais versáteis do mundo da construção civil e por isso um dos mais utilizados. Além do uso como elemento estrutural em lajes, vigas e pilares, também é usado em fundações, pisos, alvenaria e elementos não estruturais como tampas, manilhas, como também nas calçadas e *pavers* (COSTA, 2021).

Todos *pavers*, são blocos pré-moldados de concreto (independentemente do tipo de concreto utilizado), que são instalados formando um piso intertravado. onde as peças não são aderidas através de argamassa colante, sendo através do atrito lateral destas peças a responsabilidade para o travamento, no decorrer da instalação e utilização, conforme paginação e aplicabilidade, em atendimento as especificações e projetos aos quais estejam sendo aplicados. Não sendo necessário a execução de nenhum tipo de junta de dilatação, pois os próprios encontros entre as peças já permitem a movimentação de toda a calçada e/ou pavimentação, evitando assim qualquer tipo de problemas com trincas e fissuras em decorrência da dilatação do material.

Os pavimentos moldados em concreto convencional, separados por juntas, onde seu rejuntamento pode ser realizado com a utilização de agregado triturado, acabam estas juntas (Figura 6) funcionando com a capacidade de infiltrar parte da água que escoar sobre a superfície. Tornando o semipermeável, a depender do rejuntamento utilizado, quando se utiliza um *paver* moldado em concreto convencional, a estrutura tende a ficar totalmente impermeável.

Figura 6 - Esquema dos pavers em concreto convencional e travamento permeável.



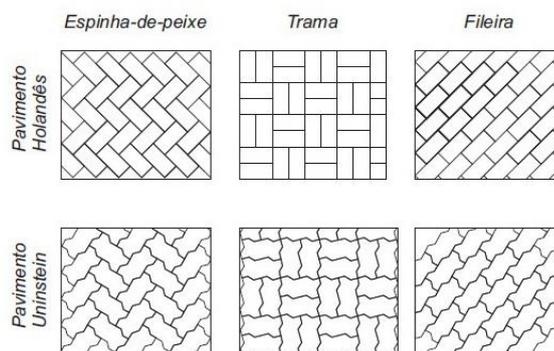
Fonte: COSTA (2021), adaptado de: <https://www.precisepaving.com/services/permeable-interlocking/>, acesso em 30/05/2021.

Costa (2021), destaca que os *pavers* em concreto convencional apresentam permeabilidade comparada ao revestimento asfáltico, o pavimento intertravado moldado em concreto convencional podendo ser considerado permeável. Alerta ainda para o monitoramento e melhor especificação e fiscalização tanto para os fabricantes destas peças quanto para órgãos de fiscalização e executores.

## 6.2 PAGINAÇÕES PAVERS EM CONCRETO CONVENCIONAL E EM CONCRETO PERMEÁVEL

As diretrizes a serem seguidas em uma instalação de um piso, leva o nome de paginação. Sendo quando bem elaboradas, responsáveis para realçar a beleza do revestimento de piso utilizado. Para os *pavers*, é possível prever diferentes paginações para as peças de piso de intertravado, conforme observamos na Figura 8.

Figura 7 - Paginação pisos intertravados - pavers.



Fonte: Tetracon, disponível em: <https://tetraconind.com.br/blog/concreto-ou-paver-qual-a-melhor-opcao-para-calcada/>, acesso em 10 de maio de 2021.

As diferentes combinações e cores, possibilitam vários detalhes arquitetônicos nas peças moldadas tanto em concreto convencional como em concreto permeável. Obtidas através da adição de óxidos inertes, as cores, não interferem nos processos químicos durante a fabricação dos *pavers*, sendo essa coloração permanente.

### 6.3 PERMEABILIDADE EM PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Dentre as principais características do PCP, a permeabilidade, pois ela permite a infiltração da água pluvial no solo além de sua textura rugosa reduz a velocidade de escoamento da água da chuva, tais propriedades são importantes para mitigar problemas urbanos como o sobre carregamento da rede, conforme (OLIVEIRA, 2017).

Ainda de acordo com Oliveira (2017), as principais características do PCP, a permeabilidade, pois ela permite a infiltração da água pluvial no solo além de sua textura rugosa reduz a velocidade de escoamento da água da chuva, tais propriedades são importantes para mitigar problemas urbanos como o sobre carregamento da rede.

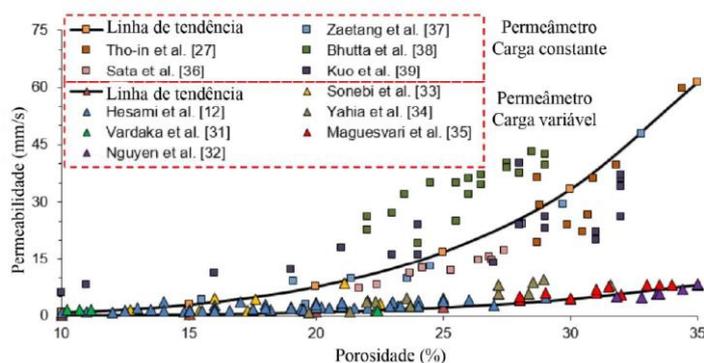
A capacidade de infiltração do concreto permeável pode ser determinada através de diversos normativos e procedimento, onde estudos demonstram uma variação entre os diversos métodos utilizados, conforme comparativo realizado por (Li et. al., 2003).

Balbo (2020) apresenta a determinação da permeabilidade a partir de normas de solo como a ABNT NBR 14.454:2000 e 13.292:1995, onde as análises geotécnicas para a determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável e a determinação de permeabilidade de solos granulares a carga constante.

Fernandes (2020) destaca estas duas maneiras de medição da permeabilidade, em

ambos, o teste basicamente consiste em medir a água que passa pelo tubo de ensaio em um dado intervalo de tempo. Sendo calculados com fórmulas distintas e apresentando valores distintos, além de serem utilizados com amostras de peças em concreto permeável a partir da adaptação de normas relacionadas a área geotécnica, como podemos observar na Figura 8.

Figura 8- Relação entre porosidade e permeabilidade - Permeâmetros carga constante e carga variável.



Fonte: Fernandes (2020), Adaptado de Perialisi (2016).

Pode-se dizer que a capacidade de infiltração da água em sua estrutura é um fator importante e correlacionado com todas as outras características do PCP. Ao longo da sua vida útil esta apresenta uma diminuição da capacidade de infiltração devido ao tamponamento dos vazios, conforme (OLIVEIRA, 2017).

Assim, as peças que forem executadas a partir da técnica construtiva de permeabilidade, devem estas atender as características delimitadas para peças permeáveis. Contudo, durante as revisões bibliográficas realizadas até o momento, não foi encontrada nenhuma publicação que trate das análises da permeabilidade específica para os *pavers* em concreto permeável, existe no Brasil. E a norma brasileira que trata de concreto permeável, a ABNT NBR 16.416:2015, trata de concreto permeável como um todo apresentando as características e parâmetros que devem ser analisados e observados para que seja considerado um concreto ou um asfalto poroso, não padronizando os procedimentos e análises direcionadas aos *pavers*/blocos em concreto permeável. Ainda, nenhuma das normas citadas anteriormente apresentam a análise da permeabilidade com relação somente aos *pavers* fabricados com essa técnica construtiva, referenciam apenas placas e PCP (concreto e asfalto).

## 7 METODOLOGIA

### 7.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

De natureza aplicada, com abordagem quali-quantitativa e objetivo exploratório, a pesquisa foi realizada através de revisões bibliográficas e levantamento dos principais referenciais teóricos e em bases científicas, como: Periódicos CAPES, SciELO, Science Direct e Google Acadêmico, apresentar a não existência de normativos, que tratem exclusivamente da realização de ensaio de permeabilidade em *pavers* moldados em concreto permeável, apresentando inclusive aspectos que os diferenciam dessas peças com as moldadas em concreto convencional, apresentar uma proposta de norma técnica brasileira para analisar a permeabilidade em *pavers* moldados em concreto permeável.

### 7.2 SURGIMENTO DA PESQUISA

A pesquisa teve início a partir das demandas das empresas parceiras do Centro Universitário do Rio Grande do Norte/UNI-RN, para a análise da permeabilidade. Onde, visando a melhoria do controle tecnológico da produção de pavimentos permeáveis, queriam verificar a qualidade das peças produzidas e as adequações necessárias para o perfeito enquadramento dos *pavers* como peças 100% permeáveis.

A partir desta demanda, começamos a estudar formas e metodologias para atender a demanda da empresa parceira, dando início a presente pesquisa.

### 7.3 PROCEDIMENTOS PARA A REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Para determinação da permeabilidade dos *pavers* moldados em concreto permeável, utilizamos como base a norma internacional ASTM C1701 (2009) e o método não normatizado desenvolvido pelo National Center for Asphalt Technology (NCAT), dos Estados Unidos e ainda a ABNT NBR 16.416:2015, apresentando adaptações no intuito de verificar a permeabilidade somente dos blocos analisados e nisso realizar a proposta de norma brasileira para análise da permeabilidade de *Pavers* fabricados em Concreto Permeável, apresentada nesta pesquisa.

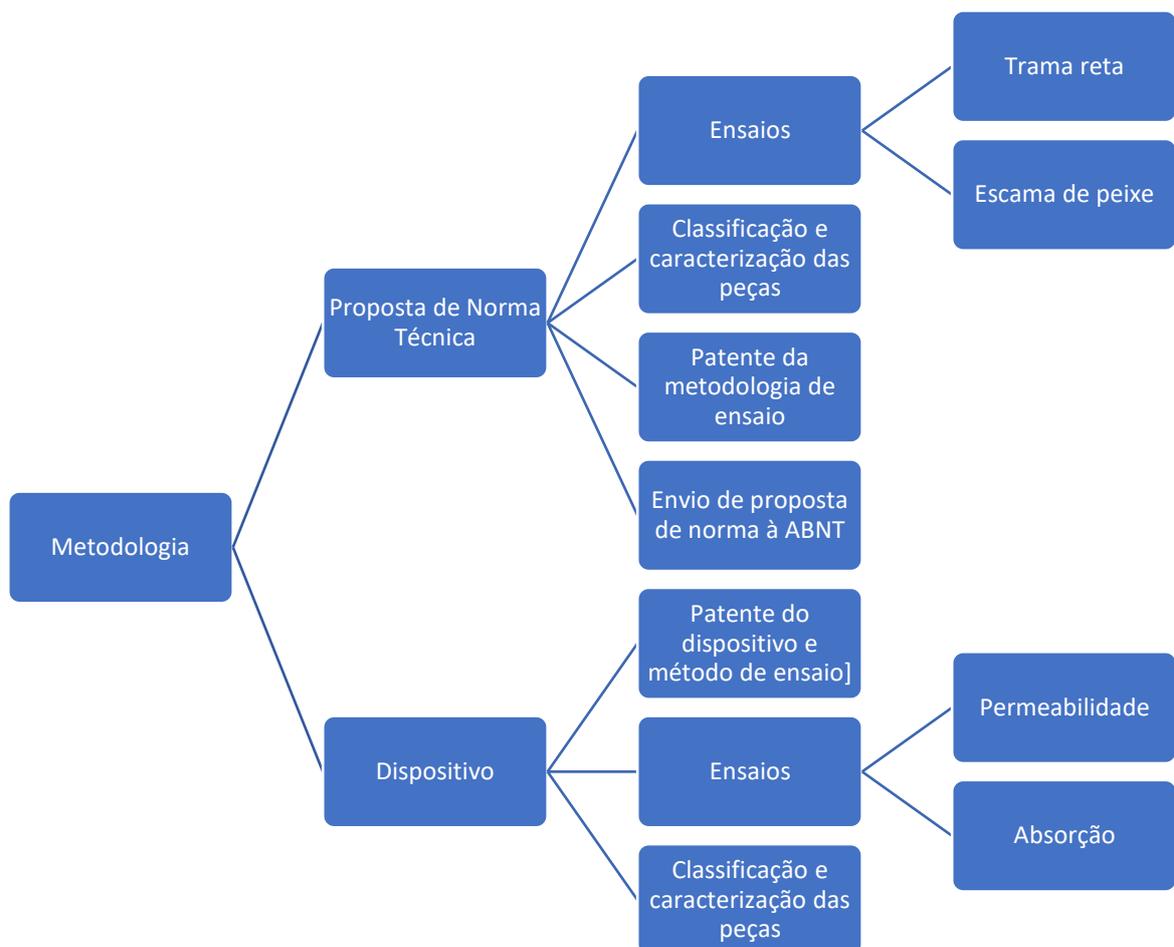
Os testes para as análises e proposta de norma foram realizados no Centro Universitário do Rio Grande do Norte – UNI/RN, a partir da necessidade de uma empresa

parceira, onde foram fornecidas amostras de *pavers* e solicitado a análise quanto à permeabilidade, para melhorias no processo de fabricação das peças a serem comercializadas. Para os ensaios, foram realizados com pavimento holandês com a paginação em escama de peixe e trama, uma vez que são as mais usuais.

Onde o dispositivo e metodologia apresentará de forma automatizada os coeficientes de absorção e permeabilidade das peças. De forma a fornecer maior controle tecnológico as empresas do ramo da construção civil, que venham a utilizar os *pavers* em concreto permeável, a partir de adaptação de normativos utilizados durante o desenvolvimento desta pesquisa.

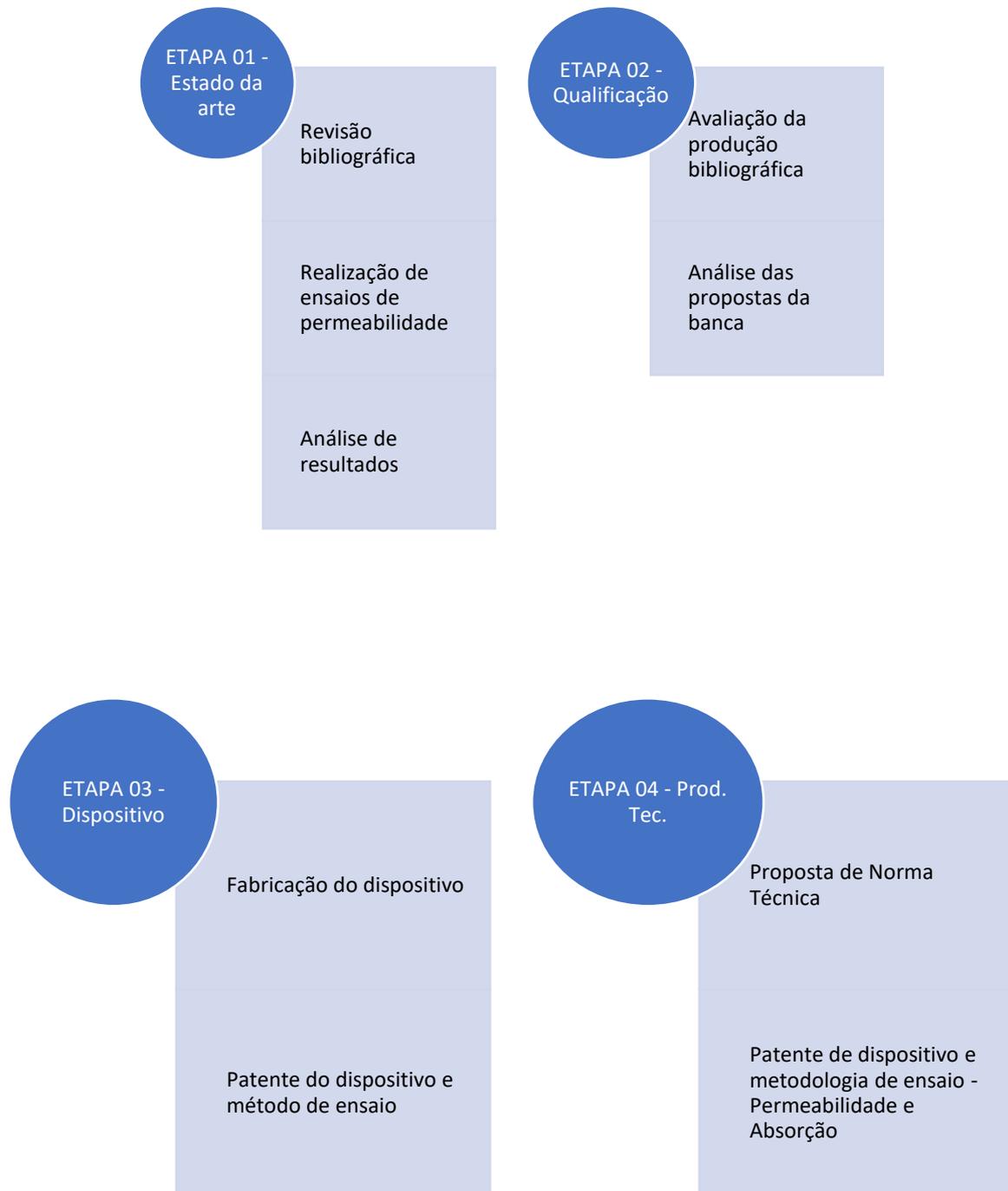
### 7.3.1 Resumo da pesquisa

Fluxograma 1 - Metodologia do estudo



Fonte: Elaboração própria em 2021.

## Fluxograma 2 - Etapas da pesquisa



Fonte: Elaboração própria em 2021.

## 8 RESULTADOS E DISCURÇÕES

### 8.1 ANÁLISE DOS *PAVERS* FABRICADOS EM CONCRETO PERMEÁVEL

Foram realizadas análises para verificar os aspectos físicos e mecânicos das peças, antes dos procedimentos para a realização do ensaio de permeabilidade.

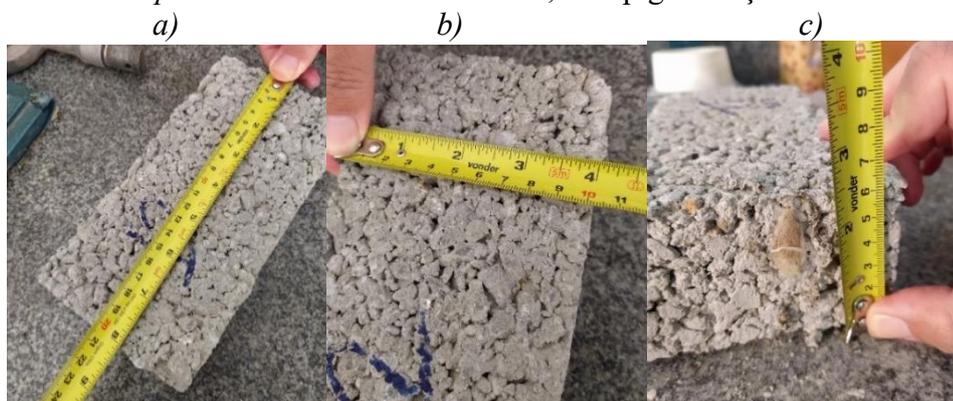
Para tanto, foram observadas as seguintes dimensões das peças, em atendimento a ABNT NBR 9781:2013, que trata de Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio, em seu Item 5.2, apresenta as dimensões e tolerâncias das peças em concreto intertravado devem atender, trazendo os seguintes aspectos a serem atendidos:

- ✓ Medida mínima nominal do comprimento de no máximo 250mm;
- ✓ Medida real de largura de no mínimo 97mm na área da peça destinada à aplicação de carga no ensaio de resistência à compressão, conforme especificado no Anexo A;
- ✓ Medida nominal da espessura de no mínimo 60mm, especificada em múltiplos de 20mm;
- ✓ Tolerância de dimensionais, apresentadas na Tabela 1, da referida norma, em que variam em  $\pm 3$  (C x L x E);
- ✓ O Índice de Forma (IF) para peças de concreto utilizadas em vias de tráfego de veículos ou áreas de armazenamento menor ou igual a 4.

Com base no normativo, foram verificadas as dimensões constantes nos itens a seguir, bem como nas Figuras de 9 a 14, dos *pavers* em concreto permeável e convencional:

- a) “Empresa 1” - 24x10x6cm, sem pigmentação, conforme Figura 9, subdividido em comprimento, largura e espessura (a, b e c, respectivamente);

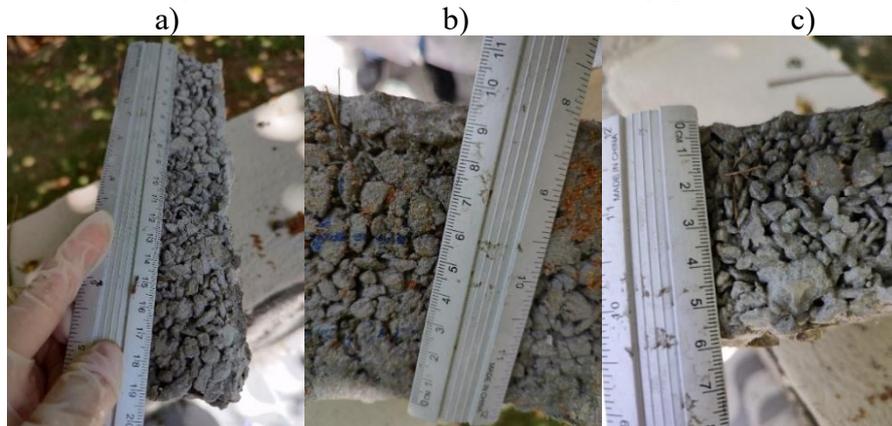
Figura 9- Dimensões *paver* em Concreto Permeável, sem pigmentação.



Fonte: Autora, 2020.

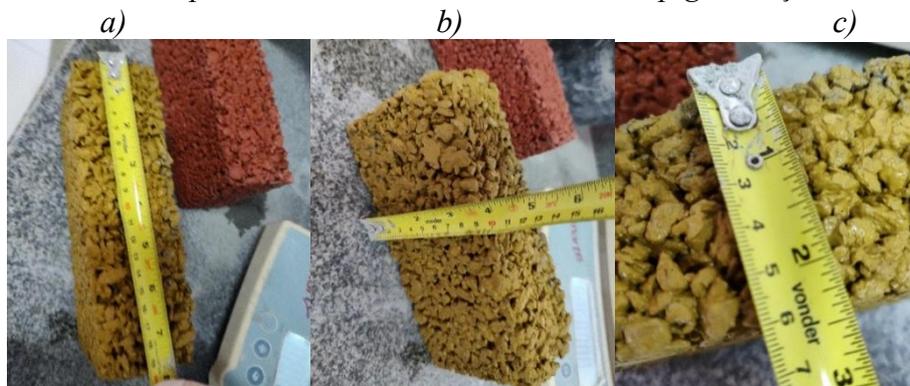
- b) “Empresa 2”: 19x9,5x5,8cm, sem pigmentação, conforme Figura 10, (19,4x9,8x6,1cm), as peças com pigmentação – amarela, conforme Figura 11 e 19,2x9,5x5,9cm), as peças com pigmentação – vermelha, conforme Figura 12. Todos subdividido em comprimento, largura e espessura (a, b e c, respectivamente);

Figura 10 - Dimensões paver em Concreto Permeável, sem pigmentação.



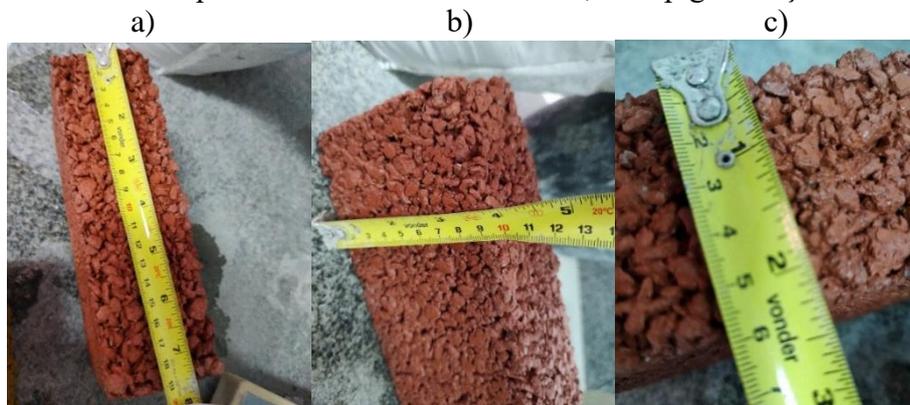
Fonte: Autora, 2022.

Figura 11 - Dimensões paver em Concreto Permeável, com pigmentação amarela.



Fonte: Autora, 2022.

Figura 12 Dimensões paver em Concreto Permeável, com pigmentação vermelha.

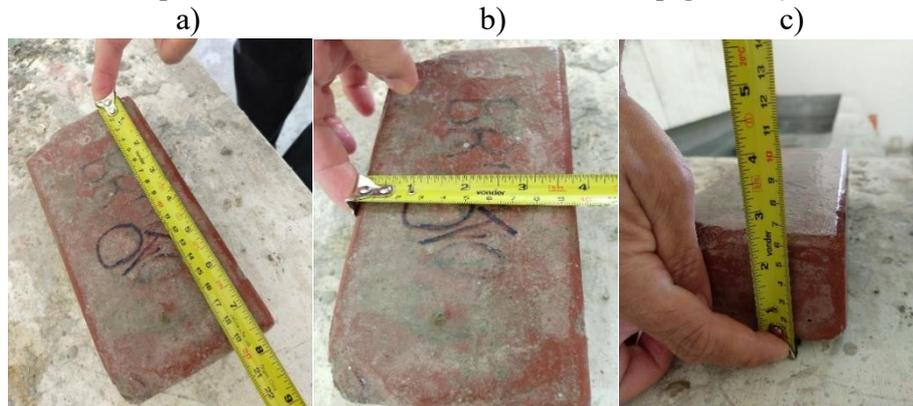


Fonte: Autora, 2022.

Já os blocos intertravados fabricados em concreto convencional, foram observadas as seguintes dimensões:

- c) “Empresa 3”, - 19x9,5x6,5cm, com pigmentação, conforme Figura 13, subdividido em comprimento, largura e espessura (a, b e c, respectivamente);

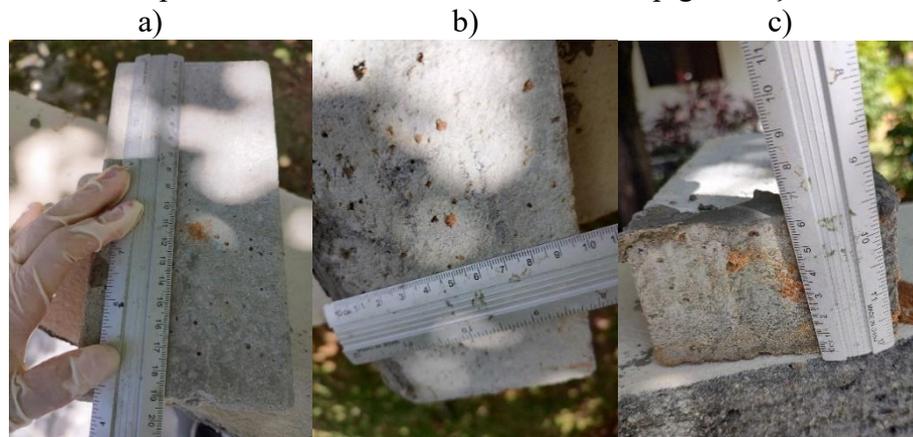
Figura 13 - Dimensões paver em concreto convencional, com pigmentação vermelha.



Fonte: Autora, 2020.

- d) “Empresa 2”, - 19,4x10x6cm, sem pigmentação, conforme Figura 14, subdividido em comprimento, largura e espessura (a, b e c, respectivamente).

Figura 14 - Dimensões paver em concreto convencional, sem pigmentação.



Fonte: Autora, 2020.

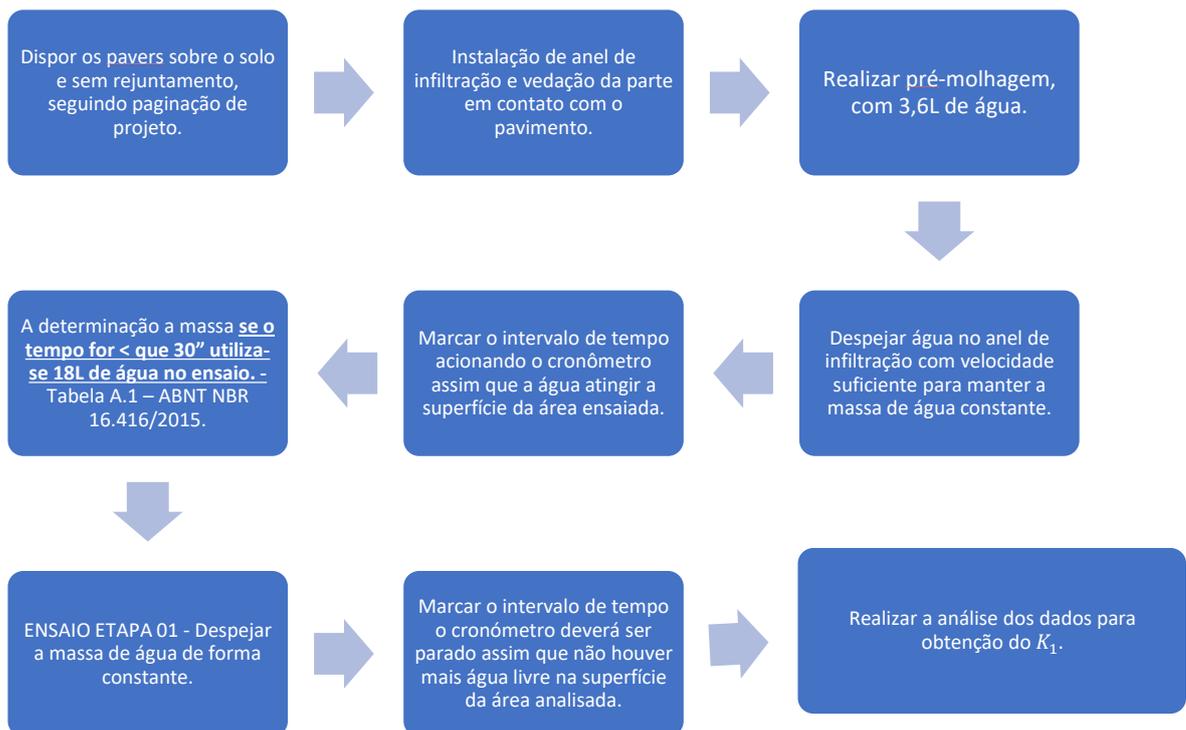
Com o anelo de verificar entre as duas tecnologias (concreto convencional e permeável), atenderiam aos parâmetros mencionados multicitada NBR, os quais forma constatados, estando todas as peças dentro dos limites toleráveis propostos pelo normativo, estando as peças então enquadradas com as dimensões de pavers e aptas a análises e estudos quanto à permeabilidade.

## 8.2 PROPOSTA DE NORMA BRASILEIRA PARA O ENSAIO DE PERMEABILIDADE EM PAVERS EM CONCRETO PERMEÁVEL

Como apresentado no Anexo I, foram realizados os ensaios de permeabilidade para os pavers moldados em concreto permeável, a partir de adaptação dos normativos preexistentes como ASTM C1701, a NCAT e a ABNT NBR 16.416:2015, no intuito de verificar o coeficiente de permeabilidade somente das peças. Ainda no Anexo I, encontramos todos os equipamentos utilizados, métodos para a análise do coeficiente de permeabilidade, ainda os procedimentos de ensaios com fotos e demonstração dos testes e ainda as análises dos *pavers*.

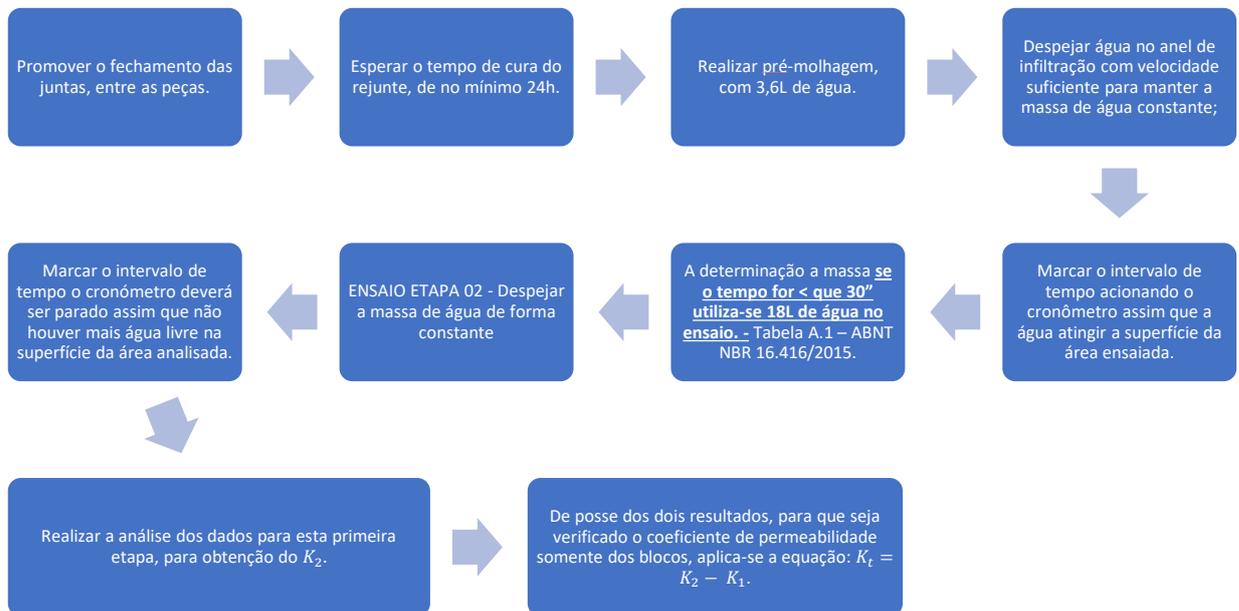
Em resumo, os ensaios para análise da permeabilidade foram realizados em dois momentos, seguindo a sequência apresentada nos esquemas a seguir:

### a) Primeira etapa – Peças sem fechamento/rejuntamento das juntas entre as peças:



Fonte: Elaboração própria em 2020.

### b) Segunda etapa – Peças com fechamento/rejuntamento das juntas entre as peças:



Fonte: Elaboração própria em 2020.

### 8.2.1 Realização dos Ensaios de Permeabilidade

Para os ensaios para determinação da permeabilidade, foi utilizado como parâmetro as normas internacionais como a ASTM C1701 bem como a ABNT NBR 16.416:2015, com adaptações no intuito de verificar a permeabilidade somente dos blocos analisados “in loco” e a proposta de norma constante no Anexo I, deste trabalho e apresentado com detalhes no decorrer desse item as análises realizadas que culminaram na proposta de Norma.

Inicialmente, para a realização dos ensaios com as amostras fornecidas por duas empresas distintas, o pavimento foi disposto sobre o solo, com duas tramas distintas (escama de peixe e reta) e os ensaios realizados em dois momentos distintos conforme proposta de norma constante Anexo I, deste trabalho.

Levando em consideração que o coeficiente de permeabilidade apresentado para o paver, deve ser  $\geq 10^{-3} m/s$ . Este requisito deve ser avaliado em campo após a execução do pavimento pelo método descrito no Anexo A da ABNT NBR 16.416:2015 e na proposta de norma existente nesse trabalho.

O teste foi realizado em duas etapas, com a instalação dos *pavers* sem rejuntamento e com rejuntamento à base de argamassa, com o intuito de verificarmos a real taxa de

permeabilidade somente dos blocos, instalados com trama e em forma de escama de peixe, conforme procedimentos apresentados nas Figuras 1 e 2 do Anexo I, deste trabalho.

Após os ensaios e de posse do tempo que a massa de água precisou para infiltrar totalmente, obtivemos os dados apresentados a seguir e que utilizaremos aplicado a Lei de Darcy:

$$K = \frac{C \times M}{D^2 \times t} \quad (1)$$

Onde:

$K$  = Coeficiente de infiltração;

$C$  = Fator de conversão (SI) = 4.583.666.000;

$M$  = Massa da água (Kg);

$D^2$  = Diâmetro do cilindro (mm);

$t$  = Tempo de percolação (s).

Para a classificação das análises tendo como base o grau de permeabilidade e ainda fazendo um comparativo a solos, as peças serão classificadas conforme Tabela 2 do Anexo I, deste trabalho.

Os ensaios foram realizados com *Pavers* em concreto permeável fabricados por duas empresas distintas, que as denominaremos de “Empresa 1”, e a “Empresa 2”, conforme dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo das análises de permeabilidade

<b>Empresa</b>	<b>Pav.</b>	<b>Trama</b>	<b>Sem Fechamento das Juntas (mm.s)</b>	<b>Com Fechamento das Juntas (mm.s)</b>	<b>Kt (mm.s)</b>
<b>Empresa 1</b>	<b>PCP</b>	RETA	0,34 x 10 <sup>-5</sup>	0,22 x 10 <sup>-5</sup>	0,12 x 10 <sup>-5</sup> ,
		E. PEIXE	0,31 x 10 <sup>-5</sup>	0,16 x 10 <sup>-5</sup>	0,15 x 10 <sup>-5</sup> ,
<b>Empresa 2</b>	<b>PCP</b>	RETA	0,16 x 10 <sup>-5</sup>	0,13 x 10 <sup>-5</sup>	0,03 x 10 <sup>-5</sup>
		E. PEIXE	0,23 x 10 <sup>-5</sup>	0,22 x 10 <sup>-5</sup>	0,01 x 10 <sup>-5</sup>

Fonte: Elaboração própria, 2022.

As tabelas trazem o resumo da análise da permeabilidade, conforme proposta de norma apresentada nesse estudo, com ensaios realizados com duas tramas distintas (reta e escama de

peixe), devido suas maiores aplicabilidades, na região.

A “Empresa 2”, em seu portfólio de materiais, disponibiliza ainda a confecção de placas de em média 50x50cm, fabricadas tanto em concreto convencional quanto em concreto permeável; as quais foram também analisadas, a luz da ABNT NBR 16.406/2015. Seguindo a sequência apresentada nas Figuras 15 e 16, subdividido em comprimento, (a) Fixação do anel; (b) Pré molhagem; (c) Realização do ensaio; (d) Peça após ensaio, respectivamente, sendo obtidos os dados apresentados na Tabela 3.

Figura 15 - Análise das Placas e Concreto Permeável - PLCP.

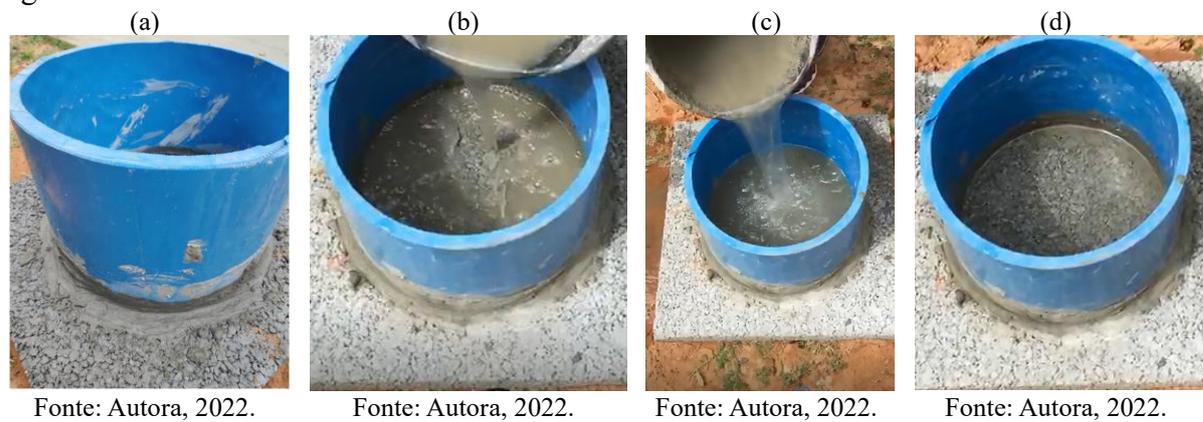


Figura 16 - Análise das Placas e Concreto Convencional – PLCC.



Para a análise da placa em concreto convencional, não foi observada permeabilidade durante a pré-molhagem, ficando a água acumulada no cilindro, o que se repetiu no ensaio, mesmo sendo realizado em dias distintos. Assim, a peça é totalmente impermeável, obtendo o resultado apresentado na Tabela 3.

Logo, conclui-se que os locais revestidos com pavimentos permeáveis devem permitir a percolação de 100% de água precipitada incidente sobre a área, bem como, 100% da precipitação incidente sobre as áreas de contribuição consideradas no projeto, desde que

cumpridas às especificações da ABNT NBR 16416:2015 e sejam realizadas as análises conforme proposta apresentada.

*Tabela 3 - Resumo das análises Permeabilidade das Placas*

<b>Pav.</b>	<b>Trama</b>	<b>Sem Fechamento das Juntas</b>	<b>Com Fechamento das Juntas</b>	<b>Kt</b>
<b>PLCP</b>	-	-	-	$0,14 \times 10^{-5}$
<b>PLCC</b>	-	-	-	-

*Elaboração própria, 2022.*

### 8.3 ENSAIOS COMPLEMENTARES

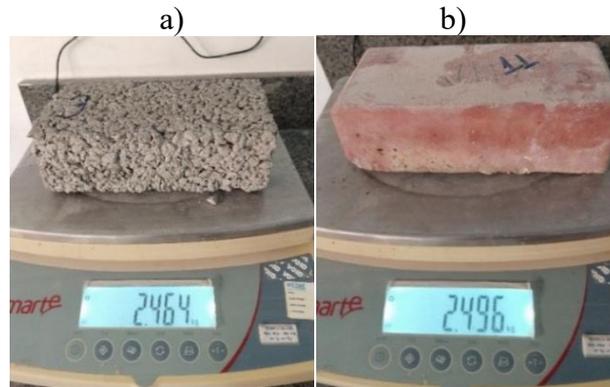
#### 8.3.1 Ensaio de Absorção

O ensaio de absorção de água foi realizado com as amostras dos blocos fabricados em Concreto Permeável e os em Concreto Convencional, realizando também adaptações para analisar o pavimento permeável, seguindo a metodologia da ABNT NBR 9781:2013, conforme Tabela 5 – amostragem para ensaios.

Tendo como princípio verificar a absorção das peças em porcentagem, tanto para os *pavers* PCP quanto os PCC, adaptando a norma no intuito de verificar a penetração e absorção de água nos poros das peças, verificando a capacidade de absorção dos PCC, que acaba, funcionando como uma espécie de “esponja” para acumulação e armazenamento de água.

As amostras foram pesadas na balança calibrada com precisão de 0,1g, 12 (doze) *pavers*, de cada, para verificar o peso seco das peças conforme Figura 17 (sendo: *paver* em concreto permeável (a) e em concreto convencional (b), respectivamente).

Figura 17 - Pesagem das peças – secas.



Fonte: Autora, 2020.

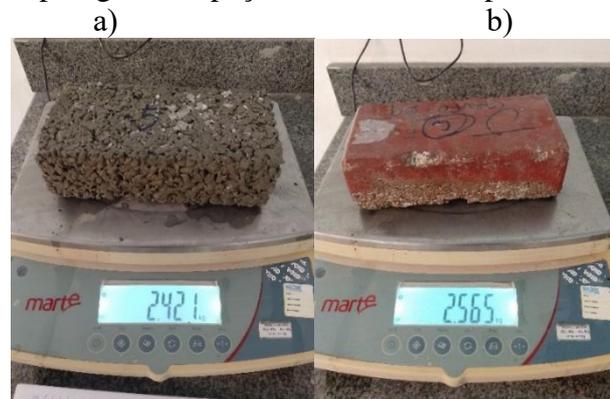
Na sequência foram postos em câmara úmida, conforme Figura 18, no intuito de se obter a massa saturada das peças. Transcorrido o período de saturação, foi verificado o peso úmido de todos os *pavers*, de acordo com as Figuras 19 e 20 - sendo: *paver* em concreto permeável (a) e em concreto convencional (b), respectivamente.

Figura 18 - Peças em câmara úmida



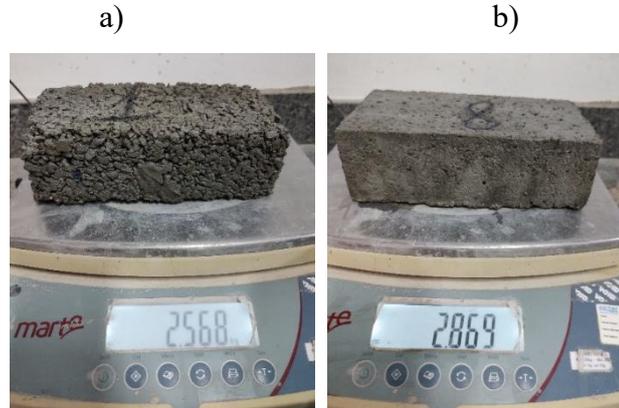
Fonte: Autora, 2020.

Figura 19 - Exemplo da pesagem das peças – úmidas – Empresa 1.



Fonte: Autora, 2020.

Figura 20 – Exemplo da pesagem das peças – úmidas – Empresa 2.



Fonte: Autores, 2022.

Após realizada a pesagem de todas as peças, para determinação do peso saturado e verificação da absorção, seguindo a fórmula a seguir, obtivemos os dados constantes na Tabela 5 e 6.

$$ABS(\%) = \frac{P_{sat} - P_{sec}}{P_{sec}} \times 100\% \quad (2)$$

Onde:

$P_{sec}$  = Peso dos pavers secos

$P_{sat}$  = Peso dos pavers saturados

Tabela 4 - Dados ensaios de absorção – Empresa 1.

BLOCO	PESO SECO PCP (Kg)	PESO SECO PCC (Kg)	PESO ÚMIDO PCP (Kg)	PESO ÚMIDO PCC (Kg)	ABSORÇÃO PCP (%)	ABSORÇÃO PCC (%)
1	2,42	2,63	2,52	2,65	4,13	0,76
2	2,38	2,53	2,48	2,58	4,20	1,98
3	2,46	2,48	2,59	2,57	5,28	3,63
4	2,32	2,63	2,42	2,67	4,31	1,52
5	2,30	2,55	2,42	2,61	5,22	2,35
6	2,32	2,48	2,39	2,51	3,02	1,21
7	2,44	2,49	2,55	2,58	4,51	3,61
8	2,46	2,47	2,55	2,52	3,66	2,02
9	2,53	2,42	2,63	2,50	3,95	3,31
10	2,48	2,54	2,57	2,61	3,63	2,76
11	2,49	2,49	2,59	2,52	4,02	1,20
12	2,39	1,42	2,52	1,54	5,44	8,45

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Tabela 5 - Dados ensaios de absorção – Empresa 2.

BLOCO	PESO SECO PCP (Kg)	PESO SECO PCC (Kg)	PESO ÚMIDO PCP (Kg)	PESO ÚMIDO PCC (Kg)	ABSORÇÃO PCP (%)	ABSORÇÃO PCC (%)
1	2,44	2,75	2,57	2,78	5,33	1,09
2	2,29	2,71	2,33	2,84	1,75	4,80
3	2,30	2,72	2,38	2,75	3,48	1,10
4	2,35	2,80	2,44	2,83	3,83	1,18
5	2,34	2,77	2,44	2,81	4,27	1,44
6	2,41	2,77	2,58	2,79	7,05	0,72
7	2,12	2,75	2,21	2,78	4,25	1,09
8	2,36	2,78	2,43	2,87	2,97	3,24
9	2,35	2,72	2,45	2,84	4,26	4,41
10	2,35	2,80	2,44	2,83	3,83	1,07
11	-	2,55	-	2,69	-	5,49

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Foram fornecidos dois *pavers*, com aplicação de pigmento (amarelo e vermelho – Figura 21) durante as análises, obtivemos os seguintes resultados: para o paver vermelho a absorção foi de 1,36% e para o amarelo, uma absorção de 1,49%; tais dados para um período de imersão em água de 48h (Figura 22), visto que com 24h não houve variação no seu peso úmido.

Figura 21 - Pesagem das peças secas - com pigmentação.



Fonte: Autora, 2022.

Figura 22 - Pesagem das peças úmidas (após 48h na imersão) - com pigmentação.



Fonte: Autora, 2022.

Dada a pequena diferença no peso úmido, mesmo após 48h de imersão, as peças foram postas submersas em câmara úmida, novamente, dessa vez por um período de 28 dias, mesmo assim, obtivemos pequena variação no peso úmido das peças saturadas, obtivemos os seguintes resultados. para o paver vermelho a absorção foi de 1,81% e para o amarelo, a absorção se manteve em 1,49%; como podemos observar a partir do peso úmido constante na Figura 23.

Figura 23 -Pesagem das peças úmidas (após 28 dias na imersão) - com pigmentação



Fonte: Autora, 2022

### 8.3.2 Ensaio de Resistência à Compressão – Empresa 2

Foram moldados 4(quatro) Corpos de Prova (CP's) cilíndricos, pela empresa fabricante dos pavês, a partir destes CP's, realizada a verificação da resistência à compressão dos CP's (10x20cm), conforme Figuras 24 e 25.

Figura 24 - Corpos de Prova - Secos e identificados



Fonte: Autora, 2022.

Figura 25 - Corpos de Prova - Úmidos e pesados



Fonte: Autora, 2022.

Obtivemos os dados apresentados na Tabela 6, que apresenta o resumo dos pesos e resistência à compressão ( $T_c$ ), conforme NBR 5739, obtidos conforme cálculos apresentados na sequência:

Tabela 6 - Resumo peso dos CP's

CP's	Peso Seco (Kg)	Peso Úmido (Kg)	$T_c$ (MPa)
1	3,07	3,18	13,25
2	3,15	3,26	13,90
3	3,13	3,24	12,06
4	3,12	3,23	14,27

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Cálculos da resistência à compressão, dos CP's, fornecidos pela empresa fabricante das peças em concreto permeável.

$$T_{c1} = \frac{10,55 \times 1.000}{\pi \times \frac{D^2}{4}} \times 0,0980665 \therefore T_{c1} = 13,25 \text{ MPa}$$

$$T_{c2} = \frac{11,07 \times 1.000}{\pi \times \frac{D^2}{4}} \times 0,0980665 \therefore T_{c2} = 13,90 \text{ MPa}$$

$$T_{c3} = \frac{9,60 \times 1.000}{\pi \times \frac{D^2}{4}} \times 0,0980665 \therefore T_{c2} = 12,06 \text{ MPa}$$

$$T_{c2} = \frac{11,36 \times 1.000}{\pi \times \frac{D^2}{4}} \times 0,0980665 \therefore T_{c2} = 14,27 \text{ MPa}$$

Figura 26 - CP's submetidos à compressão

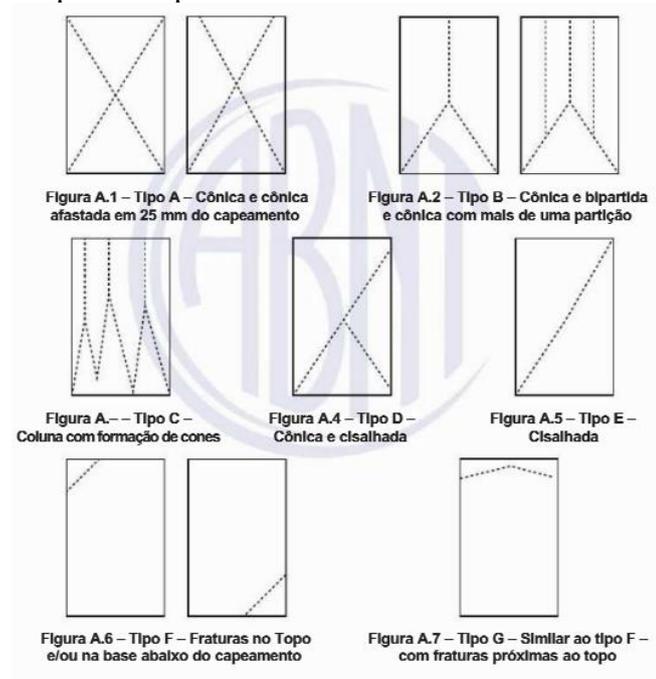


Fonte: Autora, 2022.

A empresa fez a observação de que o traço utilizado para moldagem dos CP's foi o mesmo que é utilizado para a moldagem das peças as quais fabricam. Para tanto, é utilizado uma mistura com proporções definidas pelo fabricante que englobam um mix de materiais de construção como por exemplo: cimento, graute, pó de pedra, cascalhinho, aditivos, entre outros.

Após o rompimento do CP 10x20, e com base na ABNT NBR 5739:2018 - Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, apresenta o esboço dos tipos de ruptura, apresentados na Figura 27.

Figura 27 - Esboço dos tipos de ruptura



Fonte: ABNT NBR 5739:2018

Verificou-se os tipos de ruptura dos Corpos-de-prova, de acordo com o Anexo A da referida NBR, tendo sido catalogada como rupturas do Tipo: E – Cisalhada, para os CPs 1, 3 e 4 e Tipo F – Fratura no Topo do capeamento para o CP 2.

Figura 28 - Tipos de Rupturas dos CP's ensaiados



Fonte: Autora, 2022.

Para a ABNT NBR 5739:2018, o tipo de ruptura convém ser investigada para se observar e identificar possíveis defeitos durante o processo de moldagem dos corpos-de-prova, podendo ser sanados. Geralmente, quando ocorre uma dispersão significativa, a ruptura enquadra-se nos tipos F e G do Anexo A da referida norma.

## 8.4 DISCURSÃO E RESULTADOS DOS ENSAIOS APRESENTADOS ÀS EMPRESAS PARCEIRAS

### 8.4.1 Resultados dos Ensaios da Empresa 1

Tendo como base a ABNT NBR 9781:2013, as peças estão dentro das dimensões que orientam a norma, apresentando comprimento e largura dentro do tamanho máximo, bem como espessura dentro do mínimo estipulado, ficando todas as dimensões conforme especificado para atender a norma.

Na análise quanto a absorção, foi verificado o enquadramento das peças conforme normativos técnicos vigentes para absorção por imersão, adaptada da 9778:1987, tanto para as peças em concreto permeável como as em concreto convencional. Bom destaque para o registro de aumento da capacidade de absorção observado no PCP, funcionando como uma espécie de esponja, quando comparado ao *paver* em concreto convencional.

De acordo com a ABNT NBR 9781:2013, as peças estão dentro das dimensões que

orientam a norma, apresentando comprimento e largura dentro do tamanho máximo, bem como espessura dentro do mínimo estipulado, ficando todas as dimensões conforme especificado para atender a norma.

Assim, tendo como base a ABNT NBR 16.416:2015 e a proposta de norma existente neste trabalho, podemos enquadrar a área dos *pavers* em estudo como um Pavimento Permeável com alta percolação, já que os valores encontrados durante os ensaios com as peças sem e com rejuntamento e o coeficiente somente dos blocos, são enquadrados nos valores  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$ . Em caso de comparativo com um solo, as peças analisadas poderiam ser enquadradas como areias finas.

Cabe ressaltar que os locais revestidos com pavimentos permeáveis devem permitir a percolação de 100% de água precipitada incidente sobre esta área, bem como 100% da precipitação incidente sobre as áreas de contribuição consideradas no projeto, e o seu o coeficiente de permeabilidade deverá ser  $K > 10^{-3}$ , desde que cumpridas às especificações da ABNT NBR 16.416:2015 e conforme proposta de norma constante neste trabalho.

Para as peças analisadas recomendamos a adequação do traço, para que os *pavers* sejam submetidos a nova análise do coeficiente de permeabilidade e que seja verificado o enquadramento das peças no confiante indicado em norma e proposta de norma que compõe este trabalho, considerando as peças totalmente permeáveis e em concreto permeável. Devendo atentar-se ainda a realização de alguns ensaios como a análise da resistência à compressão e a absorção.

Em comparativo a solos, podem ser classificados com permeabilidade baixa, alta ou muito alta de acordo com a Tabela 2 do Anexo I deste trabalho. Onde, a areia grossa possui alta permeabilidade enquanto a areia fina e a argilosa possuem baixa permeabilidade.

Durante os ensaios foi observada que as peças com a trama em escama de peixe, apresentou um maior coeficiente de permeabilidade, durante os ensaios, uma vez que apresenta maior número de juntas entre a área analisada.

Em caso de comparativo com a permeabilidade de um solo, as peças analisadas poderiam ser enquadradas como areias finas.

Deverão se atentar ainda ao processo de moldagem evitando adensamento em excesso, para que tal ação não passe a diminuir a porosidade e a drenabilidade, reduzindo a permeabilidade das peças.

Após as adequações propostas, recomendamos a remessa das novas peças para a realização das novas análises, de acordo com a proposta de norma presente neste trabalho. Verificando de as adequações realizadas melhoraram a permeabilidade dos *pavers* fabricados

em concreto permeável, seguindo metodologia direcionada para esta finalidade, de modo a padronizar as análises.

Por fim, alerta-se que a não existência de normativo e consequentemente a ausência de cobrança de qualidade das peças, acaba dificultando o controle tecnológico e comprometendo as características de permeabilidade das peças moldadas em concreto permeável.

#### 8.4.2 Resultados dos Ensaios da Empresa 2

A ABNT NBR 9.781:2013, traz as especificações e metodologias de ensaios para peças de concreto para pavimentação, quer sejam elas componentes pré-moldados de concreto, utilizando material de revestimento intertravado. De acordo com a mesma norma, em requisitos gerais, as peças devem ser constituídas de Cimento Portland, agregados e água, sendo permitido o uso de aditivos e pigmentos; todos os componentes do traço deverão atender os seguintes os normativos expostos nos itens 4.1.2 ao 4.1.6 da multicitada Norma.

Já a ABNT NBR 16.416:2015 específica em seu item 6.7.2, a espessura mínima de revestimento permeável, conforme Tabela 7, apresentada a seguir:

Tabela 7 - Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Método de ensaio	
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 35,0^a$	ABNT NBR 9781	
	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	$\geq 2,0^b$		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	$\geq 2,0^c$		

<sup>a</sup> determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781.  
<sup>b</sup> determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 15805.  
<sup>c</sup> determinação da resistência à tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142.

Fonte: ABNT NBR 16.416:2015.

Dessa forma, as dimensões e espessura das peças foram classificadas de acordo com aspectos das NBR's 9.781:2013 e 16.416:2015, tendo os resultados apresentados na Tabela 8:

Tabela 8 - Resumo da dimensão das peças (medida real)

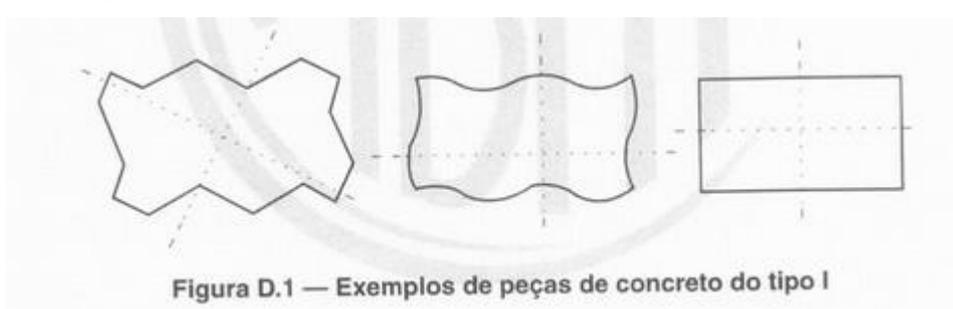
<b>Tipo Paver</b>	<b>C (cm)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>E (cm)</b>	<b>Obs.</b>
<b>PCP</b>	19	9,5	5,8	Estão dentro das tolerâncias, apresentadas no item 5.2 da ABNT NBR 9.781:2013
<b>PCP – Amar.</b>	19,4	9,8	6,1	Estão dentro das tolerâncias, apresentadas no item 5.2 da ABNT NBR 9.781:2013
<b>PCP – Ver.</b>	19,2	9,5	5,9	Estão dentro das tolerâncias, apresentadas no item 5.2 da ABNT NBR 9.781:2013
<b>PCC</b>	19,4	10,0	6,0	Estão dentro das tolerâncias, apresentadas no item 5.2 da ABNT NBR 9.781:2013

Fonte: Elaboração própria, 2022.

No entanto, as peças em concreto permeável, no contexto da resistência mecânica, só podem ser enquadradas para solicitação de tráfego de pedestres, desde que atinjam a resistência à compressão  $\leq 20\text{Mpa}$ , seguindo padrões da ABNT NBR 9.781:2013.

A avaliação dimensional, as peças analisadas, sejam elas em concreto convencional e em concreto permeável, realizada de acordo com o Anexo D da ABNT NBR 9.781:2013, enquadra-se as peças com formato do Tipo I, de acordo com a Figura 29.

Figura 29 - Exemplos de Formatos/Tipo de peças



Fonte: ABNT NBR 9.781:2013.

Na inspeção visual das peças permeáveis, realizada em conformidade com a ABNT NBR 16.416:2015, verificamos que os *pavers* apresentam aspecto homogêneo, com arestas regulares e ângulos retos, livres de rebarbas, defeitos de laminação ou descamação do concreto, arestas regulares nas duas faces e nas paredes laterais, sem chanfro, espessura com média nominal mínima dentro da tolerância dimensional para comprimento, largura e espessura de  $\pm$

3mm em relação às respectivas medidas nominais, conforme especificado no Item 6.7.2, podendo ser especificadas em projeto medidas superiores com múltiplos de 20mm.

Lembrando que de acordo com ABNT NBR 16.416:2015, a cada 300m<sup>2</sup> de área pavimentada do mesmo lote, deve-se acrescentar um corpo de prova ou ensaio de amostragem. A ABNT NBR 9.781:2013 acrescenta que as amostras devem ter no mínimo seis peças para cada lote de fabricação até 300m<sup>2</sup> e uma peça adicional a cada 50m<sup>2</sup> suplementar, até perfazer a amostra máxima de 32 peças, isso para os ensaios de inspeção visual, avaliação dimensional e resistência à compressão.

Para os *Pavers* em concreto convencional, chama-se atenção para o procedimento de traço e moldagem das peças. Pois, na análise foram observados poros em seu acabamento em todas suas faces, não apresentando uma superfície lisa e uniforme, como normalmente apresentado nos *pavers* em concreto convencional. Sem diferenciação entre face da peça a ser exposta ao tráfego e face da peça de concreto com a camada de assentamento.

Devendo para tanto, ser observadas as medidas mínimas das peças que estão no limite dos normativos, há de se destacar ainda uma descontinuidade nas dimensões das peças, tais variações das dimensões poderão ser ocasionadas pelo processo de moldagem e formas danificadas e/ou dilatada e/ou fora do prazo de reuso. Observando também e resistência à compressão, especificadas em norma, estas sofrem variações conforme aplicação/destinação das peças.

Quanto a absorção, a ABNT NBR 9.81:2013, determina um limite para a taxa com um valor para a **média  $\leq 6\%$ , não sendo admitido nenhum valor individual maior do que  $\leq 7\%$ , para *pavers* em concreto convencional**. Logo, verificamos que os valores encontrados nos ensaios estão condizentes com os tipos de blocos (em concreto convencional). Ressalta-se que os pavimentos permeáveis são caracterizados por possuir elevada porosidade e boa drenabilidade, dependendo da sua composição, porém os *pavers* analisados, não atendem as condições propostas pelas ABNT NBR 16.416:2015.

Chamamos atenção especial também para as peças em concreto permeável e com inclusão de pigmentação em seu traço (Figura 31), na pequena amostra analisada, observa-se distinção de resultados, principalmente quanto a absorção. Sendo recomendado um estudo mais aprofundado com um número de amostras mais significativas, visto que não foi observada uma mínima absorção, as peças analisadas não apresentam um grau de absorção significativo em comparativo com as peças sem pigmentação. Tal orientação se faz necessária, visto que as peças são fabricadas para atender característica de concreto permeável e que funcionariam como uma espécie de esponja atuando como uma técnica construtiva compensatória.

Devendo ser observado ainda se os pigmentos aplicados durante o processo de fabricação, são de base inorgânicas e atendem à ASTM C 979/C e 979M, conforme especificado nos requisitos gerais dos materiais, conforme ABNT NBR 9.781:2013.

Figura 30 - Exemplo de peça com pigmentação amarela.



Fonte: Autora, 2022.

Já as peças em concreto convencional, estas confirmam que são Pavimentos Impermeáveis, dados os resultados alcançados nas análises realizadas.

Dos aspectos gerais, a ABNT NBR 9.781:2013 orienta também que todas as peças devem ter espaçadores incorporados, devendo atender requisitos da ABNT NBR 15.953 quanto à espessura das juntas. E quanto a pequenas variações de coloração e de materiais nas peças em virtude da fabricação, são admitidos. No entanto, o padrão de cor dos lotes deve ser sempre acordado entre o fornecedor e o cliente.

A ABNT NBR 9.781:2013 orienta ainda que o lote de fabricação seja limitado à produção diária, desde que sejam utilizados o mesmo material e equipamento.

Quanto a permeabilidade, foram obtidos os resultados apresentados no quadro resumo constante na Tabela 9. Onde, apresenta a real taxa de permeabilidade somente dos blocos, tendo como base a proposta da pesquisa conduzida por esta equipe, as peças apresentaram os seguintes resultados:

Tabela 9 - Resumo das análises de permeabilidade

<b>Pav.</b>	<b>Trama</b>	<b>Sem Fechamento das Juntas (mm.s)</b>	<b>Com Fechamento das Juntas (mm.s)</b>	<b>Kt (mm.s)</b>
<b>PCP</b>	RETA	$0,16 \times 10^{-5}$	$0,13 \times 10^{-5}$	$0,03 \times 10^{-5}$

	E. PEIXE	$0,23 \times 10^{-5}$	$0,22 \times 10^{-5}$	$0,01 \times 10^{-5}$
<b>PCC</b>	RETA	$0,21 \times 10^{-5}$	$0,24 \times 10^{-3}$	$0,21 \times 10^{-5}$
	E. PEIXE	$0,20 \times 10^{-5}$	$0,11 \times 10^{-4}$	$0,19 \times 10^{-5}$
<b>PL - CP</b>	-	-	-	$0,14 \times 10^{-5}$
<b>PL - CC</b>	-	-	-	-

Elaboração própria, 2022.

As análises serão obtidas tendo como base os Valores de Coeficiente de Permeabilidade apresentado na Tabela 9. Em comparativo a solos, apresentado na Tabela 10, as peças analisadas podem ser classificadas como Areias finas.

Em comparativo a solos, podem ser classificados com permeabilidade baixa, alta ou muito alta de acordo com a Tabela 2 do Anexo I deste trabalho. Onde, a areia grossa possui alta permeabilidade enquanto a areia fina e a argilosa possuem baixa permeabilidade.

Durante os ensaios foi observada que as peças com a trama em escama de peixe, apresentou um maior coeficiente de permeabilidade, durante os ensaios, uma vez que apresenta maior número de juntas entre a área analisada.

Caracterizando as peças em concreto permeável, analisadas, estas podem ser classificadas como um Pavimento Permeável com baixa percolação, tendo como base a ABNT NBR 16.416:2015 e a proposta de norma existente na presente pesquisa. Em caso de comparativo com um solo, segundo Marchioni; Silva, 2011, as peças analisadas poderiam ser enquadradas como areias finas.

Para a resistência característica à compressão, chama-se a atenção para que a empresa fabricante, que as peças para pavimentação, a sua determinação da resistência à compressão deverá ser realizada seguindo procedimentos e equipamentos descritos na ABNT NBR 9.780:1987, para peças de pré-moldadas de concreto destinadas à pavimentação de vias urbanas, pátios de estacionamento e similares, enquadrado para o tipo de solicitações de tráfego, adequado a cada tipo de aplicação. Como por exemplo: calçada para pedestre, áreas para utilização de veículos leves, para veículos comerciais de linha, entre outros. Bem como para sua aplicação deverá ser necessário observar a ABNT NBR 9.781:2013, apresentado na Tabela 13.

Tabela 10 - Resistência Característica à Compressão NBR 9.781:2013.

Tabela 2 – Resistência característica à compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão ( $f_{pk}$ ) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	$\geq 35$
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	$\geq 50$

Os lotes de peças de concreto entregues ao cliente com idade inferior a 28 dias devem apresentar no mínimo 80% do  $f_{pk}$  especificado na Tabela 2, no momento de sua instalação, sendo que aos 28 dias ou mais de idade de cura, o  $f_{pk}$  deve ser igual ou superior ao especificado na Tabela 2.

Fonte: ABNT /NBR 9.781:2013.

Os ensaios para análise da resistência à compressão foram realizados com corpos de prova cilíndrico e estes atingiram pouco mais de 20% da sua resistência mínima que fora informado pela empresa fabricante para o traço utilizado para a moldagem dos quatro corpos de prova analisados.

Assim, para um melhor resultado de Resistência à Compressão, deverá ser observado melhor a caracterização dos materiais, traço e suas proporções, no intuito de trabalhar uma melhor Resistência/Ruptura, a partir da tensão máxima que a amostra de concreto possa suportar, variando de acordo com aplicabilidade das peças, para os *pavers*, em especial.

Recomenda-se durante o processo de fabricação para que sejam observadas as normas existentes para a correta aplicação das peças, sua aplicação e utilização, as quais variam conforme aplicação/tráfego e demais características importantes para as peças, sejam elas em concreto convencional e/ou concreto permeável.

Durante visita à fábrica, ficou evidente que os materiais utilizados para a composição do traço utilizado para moldagem das peças denominadas como em “concreto permeável”, na realidade não são moldadas sequer em concreto (Figura 31). Pois, o “concreto de cimento Portland é um material constituído por aglomerantes, pela mistura de um ou mais agregados e água” (YAZAGI, 2016). Podendo ainda ser incluídos aditivos, no intuito de melhorarem ou corrigirem algumas das propriedades (plasticidade, adensamento, trabalhabilidade, permeabilidade, resistência à compressão, entre outros.).

Figura 31 - Exemplo de materiais utilizados durante o processo de fabricação.



Fonte: Autora, 2022

Pontuaremos algumas ponderações atinentes a composição utilizada na fabricação das peças em concreto permeável, pelo que foi verificado durante a demonstração durante a visita da fábrica da Empresa 2, Figuras 32.

Figura 32 - Demonstração de mistura do traço e moldagem das peças, durante o processo de fabricação.





Fonte: Autora, 2022.

Tais análise em detalhes serão apresentadas no Anexo III, agregando a este trabalho mais um Produto Tecnológico, com uma cartilha com boas práticas de materiais a serem utilizados para a fabricação dos *pavers* a serem moldados em concreto permeável

No intuito de agregar cuidados inerentes ao controle tecnológico, desde a composição dos materiais ao seu traço e moldagem das peças de *pavers* a serem moldadas como em concreto permeável.

Devido principalmente ter sido observado uma total ausência de controle tecnológico, traço, utilização de materiais como “cascalhinho” e pó de pedra, ao invés de agregados com granulometria conhecida, como observado em visita técnica a Empresa 2. Tais materiais utilizados durante o processo de fabricação, faz com que a moldagem das peças se aproxima mais a um “microconcreto” - dada a graduação miúda - o que por sua vez, como não há a utilização de um traço padrão, pode inclusive ser um dos fatores que estão interferindo na permeabilidade das peças.

Sendo necessárias alterações para que todas as características, composições e propriedades das peças em concreto, desde que sejam realizados todas as caracterizações e controles tecnológicos dos materiais constituintes do concreto e posterior estudo do traço que melhor se adequa as características requeridas para as peças a serem fabricadas.

As ponderações apresentadas, tem o intuito somente de alertar para a melhoria das características das peças quanto a permeabilidade, absorção e conseqüentemente resistência à compressão das peças, buscando sempre atender os requisitos da ABNT NBR 16.416:2015 e a proposta de norma que compõe este trabalho e seus demais anexos.

Acrescenta-se ainda alguns pontos observados durante visita técnica e informações repassadas pelos responsáveis pelos processos de fabricação das peças, apresentamos mais algumas observações, com o intuito de melhorar a qualidade e desempenho das peças, apontando para cada material observado e relatado pelo representante da empresa, como componente do traço que sua utilização possa está comprometendo a drenabilidade e consequentemente a permeabilidade das peças.

Foram relatados no Anexo III, matérias como: o “microconcreto”, tipo *Graute*, o Pó de pedra, o Cascalho, o Cimento Portland CP V ARI, o Aditivo e a Água. No intuito de buscar a produção de peças capazes em sua totalidade de assumirem características das peças moldadas em concreto permeável, que visam garantir características de sustentabilidade. Fica sugerido a realização de um estudo dos materiais, caracterização, estudo do traço e sua adequação. Apontamos a necessidade também da realização da padronização das padiolas para medida dos materiais.

Tais ações poderão ser realizadas com a realização de estudos próprios (por parte do corpo técnico que compõe a empresa) ou com a contratação de uma consultoria específica, incluindo desde a caracterização dos materiais utilizados (agregados, aglomerantes, aditivos, etc.) até as medidas/padiolas utilizadas durante a realização dos traços, para as peças analisadas e o monitoramento da padronização e vibração da mesa e das peças vibradas manualmente, durante o processo de moldagem.

Após as adequações propomos nova remessa das novas peças para uma nova análise de resistência à compressão e do coeficiente de permeabilidade e o enquadramento no coeficiente indicado em norma para áreas consideradas totalmente permeáveis e em concreto permeável.

Fazendo ainda a análise dos resultados obtidos nos ensaios, pode ser feita a verificação de que vários dos materiais utilizados no traço para compor um concreto com características de concreto permeável, possuem neles um elevado teor de finos ou materiais com granulometria sem regularidade e sem ausência de controle tecnológico, que pode ocasionar assim, um elevado grau de finos que acaba colmatando os espaços que deveriam ser “porosos” nas peças e as compactando, deixando-as com características de impermeável, uma vez que quanto mais compactado os espaços na peça, menor é o número de vazios e por consequência menor é a porosidade e o coeficiente de permeabilidade. Uma vez que, todos os resultados encontrados, foram menores que o valor mínimo determinado em norma brasileira e americana usada como base para a condução da presente pesquisa.

É interessante salientar ainda, que a análise da permeabilidade dos pavers moldados

em concreto convencional apresentaram um coeficiente com permeabilidade maior que os *pavers* em concreto permeável, para o ensaio com fechamento das juntas. Que pode ter sido ocasionado pelo traço, processo de moldagem e acabamento das peças. Já que não há tanta mistura com materiais de composições e granulometrias distintas, que tem a tendência de diminuir a porosidade e conseqüentemente a permeabilidade durante a moldagem das peças.

Quanto aos tipos de tramas analisadas, a trama em escama de peixe apresentou uma pequena diferença do que as peças analisadas em trama reta. Tal fato pode ter sido influenciado devido o maior número de juntas existentes na configuração da paginação, dentro da área do cilindro, quando comparado com a trama reta.

Para as placas analisadas, em comparativo com os *pavers* em concreto permeável, por possuir uma maior área contínua e conseqüentemente maior vazios da amostra.

Chamamos atenção, mais uma vez para a análise da resistência à compressão, pois, com os resultados apresentados o produto não poderia ser comercializado para atender carregamentos pesados, que requeiram em normativos inerentes resistências maiores que a apresentada na análise realizada. Mesmo o traço tendo sido realizado em cilindros e não no próprio *paver*.

Na análise apresentada pela Empresa 2, para o Laudo Técnico por uma Empresa e Responsável Técnico que apresenta análises quanto a permeabilidade, trazem análises feitas por meio da norma ASTM C1707, a qual não analisa especificamente os *pavers* em si, apresentam análises na composição de peças, incluindo as juntas entre as peças, que tendem a aumentar a infiltração e conseqüentemente a permeabilidade das peças, não apresenta ainda o tipo de trama utilizada durante o ensaio. E ainda, como informado pelos responsáveis da Empresa 2, o traço utilizado a época da análise (10/12/2021) é distinto do que está sendo utilizado e comercializado hoje em dia, pela empresa. Apresenta ainda as dimensões das peças analisadas 40x20x8cm, com a informação que são amostras de peças de piso pré-moldado autodrenante, sem trazer características de traço e resistência à compressão.

De acordo com Balbo (2020), que a dosagem do concreto permeável, buscará sempre atender a critérios hidráulicos (condutividade hidráulica) e a critérios estruturais (resistência estática/módulo de elasticidade/resistência à fadiga). Para atender às especificidades dos equipamentos de construção e compactação empregados tanto quanto direto na obra ou na fabricação de pré-moldados.

A avaliação prévia do coeficiente de permeabilidade em laboratório, no qual está sendo realizada esta pesquisa, serve apenas para a aprovação preliminar dos materiais de revestimento e simulação das condições de permeabilidade do pavimento. Devendo para a melhoria do

processo e adequação das peças, serem submetidas a estudos dos materiais, métodos, processos, procedimentos e metodologia de fabricação das peças, no intuito de garantir requisitos de permeabilidade, objetivo da busca de sustentabilidade desta técnica construtiva compensatória.

Com atenção sempre para uma melhor proporcionalidade dos agregados, água e ligantes hidráulicos (adições e aditivos), já que ainda não existe no Brasil regras racionais consagradas de traços, como no caso dos concretos convencionais. Balbo (2020), apresenta como ponto de partida para a dosagem de natureza mais empírica o ACI (2010), que traz parâmetros básicos quanto às quantidades de materiais (básicos) de insumos para a mistura de concretos permeáveis, reproduzidos na Tabela 11.

Tabela 11 - Consumos (traços) básicos de materiais para concretos permeáveis

<b>Materiais ou parâmetros de dosagem</b>	<b>Faixa</b>
Agregado Graúdo (Kg/m <sup>3</sup> )	1.200 a 1.500
Ligante hidráulico (Kg/m <sup>3</sup> )	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).

Balbo (2020), apresenta alguns números e esclarecimentos dos padrões de criação de permeabilidade do concreto permeável, que podem auxiliar na reflexão e ponderações sobre aspectos diferenciados que diferenciam o concreto permeável dos demais tipos de concreto, transcritos na Tabela 12:

Tabela 12 - Padrões de variação de parâmetros de concreto permeável

<b>Parâmetro</b>	<b>Padrões típicos</b>	<b>Observações</b>
Condutividade hidráulica (cm/s)	01 a 1,5	Ou permeabilidade – conforme teste
Porosidade (%)	15 a 35	Também reconhecida como Índice de vazios
Resistência à tração na flexão (Mpa)	1,5 a 4	Em tese, pode-se dosar um concreto permeável para valores bem superiores
Módulo de elasticidade	6.000 a 18.000	Valores em laboratório e em campo

estático em flexão (Mpa)		(retroanalizados)
Peso específico (KN/m <sup>3</sup> )	17 a 21	-
Porcentagem (em peso) de grãos inferior a 4,8mm	Máximo 6	Usualmente nula ou apenas finos aderidos a agregados graúdos (pós)
Formato dos grãos	Preferencialmente Angulosos	

Fonte: Balbo (2020).

Há de se ressaltar ainda que para o concreto permeável ser capaz de apresentar uma boa capacidade de permeabilidade, cabe a este ser capaz de permitir o fluxo das águas pluviais pela sua estrutura interna e seus vazios, provocados pela ausência ou pequena quantidade de finos em sua dosagem. E ainda a relação entre a quantidade de pasta de cimento para melhor aderência aos agregados graúdos, formando pontes de resistência e transmissão de esforços (Zhong; Wille, 2015), proporcionando uma melhor ligação entre os grãos dos agregados componentes da mistura do concreto permeável

Ressaltando que as observações aqui expostas, tem somente o intuito de melhoria e adequações dos processos, o qual ressaltamos análise para adequação do traço, caracterização dos materiais, melhor controle no processo de moldagem. Ou ainda, retomada do traço utilizada na época da análise apresentada, 10 de dezembro de 2021, no intuito de retomar o coeficiente de permeabilidade anterior.

## 9 DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO

As informações quantitativas e qualitativas sobre os coeficientes serão analisadas e apresentados no próprio dispositivo, de forma a verificar parâmetros quanto a permeabilidade e absorção, que serão verificados a partir de adaptações de normativos como a NCAT, a ACTM C1701/C1701M-17a (ASTM, 2017), a ABNT NBR 16.416:2015, a ABNT NBR 9778:2009, bem como adaptações a Proposta de Norma para análise do Coeficiente de Permeabilidade apresentada por COSTA, (2021), tendo a análise de anterioridade conforme apresentada no Anexo II deste trabalho.

Para a análise da absorção por imersão, serão utilizados parâmetros de forma a verificar a capacidade de absorção das peças moldadas em concreto permeável, adaptados a partir da ABNT NBR 9778:2009, que trata de Argamassa e Concretos Endurecidos - Determinação da Absorção de Água por Imersão, Índice de Vazios e Massa Específica, atendendo também parâmetros da ABNT NBR 9781:2013, quanto às Peças de Concreto para Pavimentação, especificação e métodos de ensaios.

Para a determinação da permeabilidade, utilizamos como base a norma internacional ASTM C1701/C1701M-17a (ASTM, 2017) e o método não normalizado desenvolvido pelo National Center for Asphalt Technology (NCAT), dos Estados Unidos e ainda a ABNT NBR 16.416:2015, apresentando adaptações no intuito de verificar a permeabilidade somente dos blocos analisados e nisso realizar a proposta de norma brasileira para análise da permeabilidade de *Pavers* fabricados em Concreto Permeável apresentada por COSTA, (2021).

A presente invenção refere-se a um dispositivo automatizado e um método que realiza testes de permeabilidade e absorção por imersão em blocos intertravados moldados em concreto permeável. A invenção tem o objetivo de padronizar os procedimentos de medição de permeabilidade e absorção por imersão em laboratório para melhor controle tecnológico das peças de blocos intertravados moldados em concreto permeável a ser utilizado na indústria da construção civil e para fins de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em instituições de ciência e tecnologia.

As etapas consistirão nas etapas e procedimentos seguindo o esquema apresentado na Redação de Patente, constando da breve descrição da invenção, estado da técnica, breve descrição dos desenhos da invenção, a descrição detalhada da invenção e as reivindicações da referida patente solicitada, as quais serão mantidas em sigilo por conta do processo de patente nº BR 10 2022 019187 5, conforme comprovante constante no Anexo II.

## 10 CONCLUSÕES

A inspeção visual das peças foi realizada em conformidade com as ABNTs NBR 9781:2013 - Peças de Concreto para Pavimentação: Especificações e Métodos de Ensaio e 16.416/2015 – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos, onde verificamos que os pavers apresentaram aspecto homogêneo, com arestas regulares e ângulos retos, livres de rebarbas, defeitos de laminação ou descamação do concreto. Atendendo as medidas mínimas especificadas em norma.

Nas análises quanto a absorção de água, foi verificado o enquadramento das peças conforme normativos técnicos vigentes, tanto para as peças isoladas quanto nas análises em comparativo com os blocos intertravados convencionais, moldados em concreto comum e os moldados em concreto permeável, observando a capacidade de absorção de água dos *pavers* em concreto permeável, os quais em comparativo aos PCC, as peças de PCP, absorveram mais água durante a realização do ensaio.

Ressaltamos que não foi identificado nenhum normativo no Brasil e nem trabalhos nos principais bancos de dados de periódicos, que trate especificamente da análise de absorção dos *pavers* moldados em concreto permeável, por isso as análises foram feitas a partir de adaptações de normativos já existentes.

### 10.1 DAS ANÁLISES – PROPOSTA DE NORMA

A proposta de norma apresentada nesse trabalho, apresenta a análise dos pavers moldados em concreto permeável, garantindo maior controle tecnológico para empresas fabricantes e executores que venham a trabalhar com essas peças. A partir de adaptações de normativos existentes, como a ABNT NBR 16.416:2015, a ASTM C 1701 e a NCAT, analisando somente o *paver*. tornando viável a sua aplicação e a caracterização dos *pavers* nos ensaios realizados.

Para a engenharia Geotécnica a ABNT, traz as análises de permeabilidade a partir das NBR's 14.545 e 13.292, no entanto, tais parâmetros se tornam inviáveis de serem aplicados direcionado a análise somente dos *pavers* em concreto permeável, visto que as normas tratam dos métodos de ensaios para determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a carga variável e constante, respectivamente e as normas utilizadas para analisar a permeabilidade em concretos permeáveis, como as utilizadas como parâmetros para a proposta de norma brasileira, constante nesse trabalho, como as ABNT NBR 16.416:2015, a ASTM C

1701 e a NCAT, não tratam diretamente das análises dos *pavers*.

Como podemos observar nas revisões bibliográficas e nos ensaios realizados, tendo em vista a importância da análise da permeabilidade nas peças de *pavers* moldados em concreto permeável e a metodologia apresentada, a partir da adaptação de normativos pré-existentes, onde para os ensaios realizados, observamos o coeficiente de permeabilidade somente dos *pavers*, visto as adaptações e procedimentos apontados na proposta de norma desse trabalho.

Garantindo o coeficiente de permeabilidade das peças, de forma a adequá-los para garantir as características de serem permeáveis, de acordo com os graus de permeabilidade preteridos, seguindo características de fabricação. Garantindo dessa forma, melhor controle tecnológico para a realização da aplicação e execução em campo das peças de *pavers* em concreto permeável, conforme projeto.

## 10.2 DAS ANÁLISES DO DISPOSITIVO

Não foram realizados testes no dispositivo, ainda em fase de protótipo, para a patente solicitada devido às lacunas e por vezes imprecisões de detalhes encontradas na literatura, a presente invenção propõe um dispositivo, de análise da permeabilidade em *pavers* moldados em concreto permeável e que:

- ✓ Possibilita padronizar as análises a serem realizadas por fabricantes e construtores de forma a assegurar um controle tecnológico das peças desde a sua fabricação, recebimento e aplicação;
- ✓ Possibilita realizar testes nos blocos intertravado, de forma individual, onde as amostras possam ser analisadas de forma a assegurar se a composição, fabricação, moldagem e assentamento das peças, estão garantindo a elas as características quanto a permeabilidade;
- ✓ Possibilite mensurar os parâmetros de e classificação das peças quanto a sua permeabilidade, a partir de normativos existentes como as normas ASTM C1701/C1701M-17a (ASTM, 2017), NCAT e no Brasil como a ABNT NBR 16.416:2015 e a proposta de norma apresentada por COSTA, 2021;
- ✓ Possibilite a análise da absorção por imersão, serão utilizados parâmetros de forma a verificar a capacidade de absorção das peças moldadas em concreto permeável, adaptados também a partir de normativos existentes, como a ABNT NBR 9778:2009, que trata de Argamassa e Concretos Endurecidos - Determinação da Absorção de Água

por Imersão, Índice de Vazios e Massa Específica, atendendo também parâmetros da ABNT NBR 9781:2013, quanto às Peças de Concreto para Pavimentação, especificação e métodos de ensaios

- ✓ Possibilitando assim a padronização das análises das peças de forma individual, quanto a permeabilidade e a absorção. A classificação quanto a permeabilidade será seguindo os padrões e adaptações, trazidos pela proposta de norma a partir da adaptação da ABNT NBR 16.416:2015 e o coeficiente de permeabilidade de solos, apresentado por Terzaghi e Peck, isso para a qualificação das peças analisadas quanto a permeabilidade. Já a absorção, deve atender parâmetros da ABNT NBR 9778:2009, que trata de Argamassa e Concretos Endurecidos - Determinação da Absorção de Água por Imersão, Índice de Vazios e Massa Específica, atendendo também parâmetros da ABNT NBR 9781:2013, quanto às Peças de Concreto para Pavimentação, especificação e métodos de ensaios.

Os processos e procedimentos da Patente solicitada serão mantidas em sigilo por conta do processo de patente nº BR 10 2022 019187 5, conforme comprovante constante no Anexo II.

### 10.3 DA CARTILHA DE BOAS PRÁTICAS PARA MATERIAIS UTILIZADOS NOS PAVERS

Traz ponderações a partir de experiências práticas observadas durante visita técnica e tem o intuito de melhorar o desempenho das peças, orientando empresas fabricantes como também alertando aos responsáveis técnicos para observar e cobrar melhor controle tecnológico dos materiais utilizados no traço e que conseqüentemente influenciam no desempenho das peças.

## 11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 11.1 DAS ANÁLISES – PROPOSTA DE NORMA

Nos ensaios de permeabilidade realizados na proposta de norma, verificamos a diferenciação entre os resultados, com e sem rejuntamento, apresentando resultados que representam melhor o comportamento da permeabilidade dos *pavers* moldados em concreto permeável, padronizando, na prática, as análises para melhor controle tecnológico e garantia das características de permeabilidade.

A proposta de norma para os *pavers* em concreto permeável mostrou ser uma solução extremamente eficiente durante os ensaios foi observada que as peças com a trama em escama de peixe, apresentou um maior coeficiente de permeabilidade, durante os ensaios, uma vez que apresenta maior número de juntas entre a área analisada.

Garantindo que as características de permeabilidade estejam nas peças, de forma a se observar demais parâmetros inerentes ao traço, resistência à compressão, buscando a porosidade ideal, para a correta aplicação dessa técnica construtiva que funciona como compensatória aos problemas ocasionados pela antropização e impermeabilização dos solos. Onde com a aplicação de revestimento em *pavers* em concreto permeável auxiliem na diminuição do escoamento superficial que ocasionam episódios de enchentes e inundações urbanas. Sendo de extrema importância a sua utilização para o gerenciamento das águas pluviais e recarga das águas subterrâneas.

Há de se observar ainda que as análises, tem o intuito de garantir a permeabilidade das peças moldadas em concreto permeável, excluindo a capacidade de infiltração também do não rejuntamento, como podemos observar a ocorrência em *pavers* moldados em concreto convencional.

### 11.2 DAS ANÁLISES – DISPOSITIVO

A presente invenção é um dispositivo para análise em escala laboratorial, onde o sistema de controle das peças é composto de quatro sistemas: sistema hidráulico, sistema de suporte, sistema de sensores e atuadores de teste hidráulico, sistema de aquecimento e resfriamento da água e sistema de controle.

Possibilita aos fabricantes, construtores na área de engenharia civil e pesquisadores em geral um melhor controle tecnológico e conseqüentemente desempenho das peças em sua

fabricação, recebimento e aplicação das peças. Apresentando as análises de dois parâmetros (permeabilidade e absorção), de modo automatizado, trazendo assim maior controle das análises que seguirão a sequência e procedimentos apresentados na Patente Requerida, conforme comprovante constante no Anexo II.

### 11.3 DAS ANÁLISES – CARTILHA

Apresentando boas práticas (Anexo III) de materiais a serem utilizados e a importância para a caracterização destes na composição do traço e conseqüentemente no desempenho, qualidade, drenabilidade, porosidade, absorção, resistência à compressão, dentre outros aspectos a serem observados no controle tecnológico em especial, neste trabalho, os *pavers* moldados em concreto permeável.

### 11.4 TRABALHOS FUTUROS

Em continuidade a esta pesquisa, poderá ser realizada consulta as empresas fabricantes e executoras que trabalham com pavers em concreto permeável, para que se verifique a importância e a aplicabilidade da proposta de norma nas análises da permeabilidade.

Poderão ser realizadas ainda, as análises da colmatação das peças, de forma a se verificar a durabilidade e evolução da permeabilidade, tendo em vista o período de utilização. Verificando ainda a aplicabilidade da proposta de norma constante neste trabalho.

Com o fito de se observar a manutenibilidade das características dos *pavers* moldados em concreto permeável.

Poderá ainda ser analisada a influência dos Planos de Drenagem, especial o da cidade de Natal e a utilização de técnicas construtivas compensatórias, como o caso do paver moldado em concreto permeável.

Verificação das Análises de Absorção de Água e a capacidade de funcionamento como uma espécie de esponja, uma das características do concreto permeável. E sua influência na diminuição dos picos de cheia.

Análises dos materiais (compósitos) e sua influência nos traços e conseqüentemente na porosidade das peças.

E ainda a ausência de costume dos profissionais e empresas que venham a utilizar peças pré-moldadas em concreto, em especial os pavers em solicitar comprovação do controle tecnológico que ateste as qualidades, composição, resistência, porosidade das peças.

## REFERÊNCIAS

ACI – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R-10 Report on Pervious Concrete**. Farmington Hill, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING OS MATERIAIS. **ASTM C1701M-17a**: Standard Test Method for Infiltration Rate of in Place Pervious Concrete. West Conshohocken, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING OS MATERIAIS. **ASTM C0192\_C0192M-19**: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, São Paulo, 2010. 36p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 13.292**: Solo – Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Granulares à Carga Constante – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 14.545**: Solo – Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Argilosos a Carga Variável. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 16.416**: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 9.778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água

\_\_\_\_\_. **NBR 9.781**: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

BALBO, J T. **Pavimentos de Concreto Permeáveis**: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente. São Paulo: Editora de Texto, 2020. 175 p.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica Materiais, Projeto e Restauração**. São Paulo/SP: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção I**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

BETEZINI, R. **Estudo das Características Hidráulicas e Mecânicas de Calçadas em**

**Concreto Permeável em Pista Experimental.** Tese (Doutorado) – Programa de pós-Graduação em Engenharia dos Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. (Orientador: José Tadeu Balbo).

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 117:** Mistura betuminosa - determinação da densidade aparente. Método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 136 - ME:** Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2010.

COOLEY, A.J., 1999. **Permeability of Superpave Mixtures: Evaluation of Field Permeameters** NCAT. Report 99-1. Disponível em: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/13975>, acesso: 16 de novembro de 2020.

COSTA, W. P. L. B. da. **Existência da Permeabilidade em Paviers Moldado em Concreto Convencional?** 2021. 18 f. TCC (Especialização) - Dimensionamento, Patologia, Terapia e Tecnologia de Estruturas de Concreto., Centro Universitário do Rio Grande do Norte - UNI/RN, Natal/RN, 2021.

DEVIA, G. K.; GANASRI, B. P.; DWARAKISH, G. S. A Review on Hydrological Models. **Aquatic Procedia**, v. 4, n. Icwrcoc, p. 1001–1007, 2015.

DRESCH, F. **Comportamento de Misturas Asfálticas Tipo Camada Porosa de Atrito - CPA.** 2016. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/12926>. Acesso em: 09 de maio de 2021.

DUMKE, M. P. (2005). **Concreto Asfáltico Drenante com Fibras de Celulose, Ligante Modificado por Polímero e Asfalto-borracha.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103024/222704.pdf?sequence=1>.

FAURE, B. et al. **Techniques nouvelles de couches de roulement – les enrobés drainants.** Bulletin de Liaison de Laboratoire des Ponts et Chaussées, n. 172, 1991

FERNANDES, G. de S. **Utilização de pavimento permeável de concreto com agregados de RDC na mitigação de alagamentos: estudo de caso do estacionamento do Instituto Central De Ciências da UNB.** 2020. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/39525>. Acesso em: 20 de julho de 2021.

Ferreira, R. J. C. **Estudo comparativo da viabilidade técnica entre bloco intertravado drenante e convencional para pavimentação.** 2020. 41 f. TCC. Disponível em: <https://ulbra-to.br/bibliotecadigital/uploads/document607d6f0c66166.pdf>. Acesso em 20 de julho de 2021.

FINI, A. et al. Nature based solutions to mitigate soil sealing in urban areas: Results from a 4-year study comparing permeable, porous, and impermeable pavements. **Environmental Research**, v. 156, n. April, p. 443–454, 2017.

INFRAERO, Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. **Obra da pista de Congonhas - CPA.** 2021. Facebook: Infraero Aeroportos. Disponível em: <https://www.facebook.com/InfraeroAeroportos/videos/obra-da-pista-de-congonhas-cpa/611992946389443/>. Acesso em: 09 maio 2021.

International Organization for Standardization - **ISO 17785-1:** Testing methods for pervious concrete – laboratory specimens and infiltration rate of hardened *pervious concrete* pavement specimens in the laboratory. 2019.

KUMAR, K.; KOZAK, J.; HUNDAL, L.; COX, A.; ZHANG, H.; GRANATO, T. In-situ infiltration performance of different permeable pavements in a employee used parking lot – A four-year study. **Journal Of Environmental Management**. Sddas, p. 8-17. 01 fev. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971530373X>. Acesso em: 03 jul. 2021.

LI, H.; KAYHANIAN, M.; HARVEY, J. T. Comparative field permeability measurement of permeable pavements using ASTM C1701 and NCAT permeameter methods. **Journal Of Environmental Management**. p. 144-152. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713000443>. Acesso em: 16 de novembro de 2020.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. **Melhores Práticas: Pavimento Intertravado Permeável.**

2011. Disponível em <[http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files\\_mf/Cartilha\\_Pav\\_Intertravado\\_Permeavel\\_v1.pdf](http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/Cartilha_Pav_Intertravado_Permeavel_v1.pdf)>. Acessado em: 20 de novembro de 2020.

MOTA, L. D. **Procedimentos de Projeto Viário em Pavimentos Permeáveis com Base na ABNT NBR 16.416/2015 - Comparação entre Blocos Permeáveis e Convencionais**. 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/Es, 2019. Disponível em: [http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_13620\\_Disserta%E7%E3o%20-%20Luciano%20-%20Vers%E3o%20P%F3s-defesa.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_13620_Disserta%E7%E3o%20-%20Luciano%20-%20Vers%E3o%20P%F3s-defesa.pdf). Acesso em: 27 de julho de 2021.

NAÇÕES UNIDAS, 2015. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: [ww.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-developmentgoals](http://ww.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-developmentgoals) . Acesso em: 27 de julho de 2021.

NIGRI, I. R. **Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos Gerais de projeto estabelecidos pela norma ABNT NBR 16.416:2015**. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Civil. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

NIGRI, Ilan Ricardo. **Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos Gerais de projeto estabelecidos pela norma ABNT NBR 16.416:2015**. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Civil. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

OLIVEIRA, C. G. (2003). **Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia.

OLIVEIRA, C. G. M. **Estudo de propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto asfáltico drenante**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

OLIVEIRA, L. C. B. **Análise da permeabilidade e colmatação em concretos permeáveis**. Dissertação de Mestrado, Sistema de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2017.

ONO, B. W.; BALBO, J. T.; CARGNIN, A. **Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado**. Transportes, v. 25, n. 3, p. 90, 2017.

PARDO, A. R. F.; INNOCENTINI, M. D. M.; MENEGAZZO B.; PANDOLFELLI V. C. **Permeability of Advanced Refractory Castables**. *Cerâmica*. Vol. 47, nº 302, 2001.

RIZZO, A.; BRESCIANI, R.; MAIS, F.; BOANO, F.; REVELLI, R.; RIDOLFI, I. Flood reduction as ecosystem servisse of constructed wetlands for combined sewer overflow. **Journal of Hydrology**, v. 560, pp. 150-159, doi: [10.1016/j.jhydrol.2018.03.020], 2018.

ROCHA, R. A. **Effect of High Temperature In Concretes: A Review of Literature**. *Inter Scientia*. Vol. 6, nº 1, 2018.

SCHNEIDER, D. **Determinação do teor de asfalto para enquadramento de uma mistura asfáltica aberta como camada porosa de atrito**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 09 dez. 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/1409>, acesso em 23 de dezembro de 2022.

SHACKEL, B.; LIM, D. O. O., 2003. **Mechanisms of Paver Interlock**. Disponível em: <http://www.sept.org/techpapers/1026.pdf>, acessado em: 13 de maio de 2021.

SMITH, D. R.; EARLEY, K. e LIA, J. M. **Potential Application of ASTM C1701 for Evaluating Surface Infiltration of Permeable Interlocking Concrete Pavements, in Pervious Concrete**. ed. H. Brown and M. Offenbergl (West Conshohocken, PA: ASTM International, 2012), 97-105. <https://doi.org/10.1520/STP104560>, acesso em 20 de novembro de 2020.

SUZUKI, C. Y.; AZEVEDO, Â. M.; KABBACH JUNIOR, F. I. **Drenagem Superficial de Pavimentos Conceitos e Dimensionamento**. 2. ed. São Paulo/SP: Oficina de Textos, 2018. 240 p.

TENNIS, P. D.; LEMING, M. L. L.; AKERS, D. J. **Previus Concrete Pavements: Portan Cement Association**. Ed. Skokie, Illinois, 36p, 2004.

TENNIS, P.D., LEMING, M.L. e AKERS, D.J. **Pervious Concrete Pavements. Technical Report**, EB30202. Portland Cement Association, Skokie, and National Ready Mixed Concrete Associated, Silver Spring, Ed. Skokie, Illinois, 36p, 2004. Disponível em: <https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2663491>, acesso em 20 de novembro de 2020.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B. **Soil Mechanics in Engineering Practice**. 2 ed. New York: Johon Willey & Sons, 1967.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas. Estudos Avançados**. v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

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

TUCCI, Carlos E. M. **Inundações e drenagem urbana**. In: Carlos E. M. Tucci e Juan Carlos Bertoni (Org.). **Inundações urbanas na américa do sul**. 1ª ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 45-150, 2003.

WEISS, P. T.; KAYHANIAN, M.; GULLIVER, J. S.; KHAZANOVICH, L. Permeable pavement in northern North American urban areas: research review and knowledge gaps. **International Journal Of Pavement Engineering**, p. 143-162. 31 jan. 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10298436.2017.1279482>. Acesso em: 15 set. 2021.

XIE, N.; AKIN M.; XIANMING S. Permeable concrete pavements: A review of environmental benefits and durability. **Journal Of Cleaner Production**. Oxford, p. 1605-1621. 10 fev. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618335376>. Acesso em: 14 set. 2021.

YAZIGI, W. **A Técnica de Edificar**. 15 ed. Ver. E atual. – São Paulo: Pini: Sinduscon, 2016.

ZHONG, Rui; LENG, Zhen; POON, Chi-Sun. Research and application of pervious concrete as a sustainable pavement material: a state-of-the-art and state-of-the-practice review.

**Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 183, p. 544-553, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.131>.

**ANEXOS**

## **ANEXO I – MINUTA DE PROPOSTA DE NORMA BRASILEIRA PARA O ENSAIO DE PERMEABILIDADE IN SITU, PARA PAVERS EM CONCRETO PERMEÁVEL.**

### **1. ESCOPO**

Estabelecer requisitos mínimos e método de ensaio para análise da permeabilidade de *pavers*/blocos em concreto permeável.

### **2. REFERÊNCIAS NORMATIVAS**

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes dos referidos documentos (incluindo emendas).

ABNT NBR 7212, Execução de concreto dosado em central - Procedimento

ABNT NBR 9778, Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica

ABNT NBR 9781, Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio

ABNT NBR 9895, Solo – Índice de suporte Califórnia – Método de ensaio

NBR 9.778, Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água

NBR 12.118, Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio

ABNT NBR 12142, Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova

ABNT NBR 13292, Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante – Método de ensaio

ABNT NBR 14545, Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável

ABNT NBR 15805, Placas de concreto para piso – Requisitos e métodos de ensaio

ABNT NBR 16416, Pavimentos permeáveis e concreto – Requisitos e procedimentos

ACI 522R-10 Report on Pervious Concrete. Farmington Hill

ASTM C1701M-17<sup>a</sup>, Standard Test Method for Infiltration Rate of in Place Pervious Concrete

ASTM C0192-C0192M-19, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

ASTM C 979/C 979M-1 O, Standard specification for pigments for integral/y colored concrete

ABCP, Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público

### 3. TERMOS E DEFINIÇÕES

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições, tendo como apoio a ABNT NBR 16.416:2015.

#### 3.1. Pavimento

Estrutura construída após a terraplanagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto a:

- ✓ Resistir e distribuir os esforços verticais oriundos dos veículos
- ✓ Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança
- ✓ Resistir aos esforços horizontais que nela atuam tornando mais durável a superfície de rolamento

#### 3.2. Pavimento permeável

Pavimento que atende simultaneamente às solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento e cuja estrutura permite a percolação e/ou acúmulo temporário de água, diminuindo o escoamento superficial. Sem causar dano à sua estrutura

#### 3.3. Base permeável

Camada constituída de materiais de granulometria aberta, destinada a resistir e distribuir os esforços aos quais o pavimento estará submetido e que permite a percolação e/ou o acúmulo temporário de água e sobre a qual se constrói um revestimento permeável

#### 3.4. Sub-base permeável

Camada constituída de materiais de granulometria aberta, utilizada como reforço do subleito ou camada complementar à base

#### 3.5. Subleito

Terreno de fundação do pavimento

#### 3.6. Revestimento permeável

Camada que recebe diretamente a ação de rolamento e carga de veículos, tráfego de pedestres ou cargas estáticas, e simultaneamente atende aos critérios de coeficiente de permeabilidade

#### 3.7. Concreto permeável

Concreto com vazios interligados que permitem a percolação de água por ação da gravidade

#### 3.8. Peça de concreto

componente pré-moldado de concreto, utilizado como material de revestimento em pavimento intertravado

#### 3.9. Peça de concreto permeável

Componente pré-moldado de concreto, utilizado como material de revestimento em pavimento intertravado permeável e cujo o índice de forma é inferior a 4

#### 3.10. Placa de concreto permeável

Componente pré-moldado de concreto, utilizado como material de revestimento em pavimento intertravado permeável e cujo o índice de forma é inferior a 4

### **3.11. Pavimento intertravado**

pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justaposta sem uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção

### **3.12. Índice de forma**

Relação entre o comprimento e a espessura da peça ou da placa de concreto, descontando a espessura do espaçador

### **3.13. Precipitação pluviométrica**

Processo de condensação do vapor de água da amostra até que, gravitacionalmente, atinge a superfície terrestre sob forma de chuva (água precipitada)

### **3.14. Duração de precipitação**

Intervalo de tempo de referência para a determinação de intensidades pluviométricas

### **3.15. Altura pluviométrica**

3.16. Volume de água precipitada por unidade de área horizontal

### **3.17. Intensidade pluviométrica**

Quociente entre a altura pluviométrica precipitada em um intervalo de tempo e este tempo

### **3.18. Área permeável**

Superfície que permite a rápida percolação de água e contribuição para diminuição do escoamento superficial

### **3.19. Área impermeável**

Superfície que não permite a rápida percolação de água e contribui para o aumento de escoamento superficial

### **3.20. Área de contribuição**

Soma das áreas com superfícies impermeáveis que recebem e conduzem a água precipitada para determinar área permeável do pavimento

### **3.21. Área pavimentada permeável**

Área total que deve ser considerada como área permeável. Compreende a soma das áreas permeáveis e das áreas de contribuição referente a estas áreas

### **3.22. Escoamento superficial**

Parte da água precipitada que escoar sobre a superfície

### **3.23. Coeficiente de escoamento superficial (runoff)**

Razão do volume de água precipitada escoada superficialmente pelo volume total de água precipitada

### **3.24. Permeabilidade**

Percolação de água através dos vazios interligados, no estado aturado, de um material ou estrutura permeável submetida a determinada pressão. Quando é considerado um intervalo de tempo nesse processo obtém-se o coeficiente de permeabilidade

### **3.25. Percolação**

Movimento descendente de água precipitada, pela ação da gravidade, através de um material ou estrutura permeável

### **3.26. Coeficiente de permeabilidade**

Parâmetro que representa a velocidade com que uma determinada quantidade de água percola um elemento ou estrutura permeável

### **3.27. Infiltração**

Processo pelo qual a água superficial penetra no subsolo, se movendo por ação da gravidade através dos vazios interligados do solo, até atingir uma camada impermeável, formando um lençol de água

## **4. TIPOLOGIA DO PAVIMENTO**

Os pavimentos permeáveis de concreto obedecerão a tipologia apresentada nos itens 4.1 a 4.3 da ABNT NR 16,416:2015.

## **5. SISTEMA DE INFILTRAÇÃO**

Os pavimentos permeáveis de concreto obedecerão a tipologia apresentada nos itens 5.1 a 5.3 da ABNT NR 16,416:2015.

## **6. OBJETIVO**

O método de ensaio proposto, tem como objetivo verificar o real coeficiente de permeabilidade dos *pavers* fabricados em concreto permeável.

## **7. EQUIPAMENTOS**

Os equipamentos necessários são:

- a) Anel de infiltração: composto com um cilindro vazado com diâmetro de  $(300\pm 10)$ mm e altura mínima de 20cm. O material do cilindro deve ser resistente a água, com rigidez suficiente para não deformar, quando cheio;

- b) Balança com resolução de 0,1g;
- c) Recipiente com volume mínimo de 20L, que permita derramamento controlado do volume da água;
- d) Cronômetro com resolução de 0,1s
- e) Massa de calafetar;
- f) Água limpa.

## 8. COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

O pavimento permeável, independentemente do tipo de revestimento adotado, deve apresentar quando recém construído, coeficiente de permeabilidade maior que  $10^{-3}m/s$ . Este requisito deve ser avaliado em campo após a execução do pavimento.

O coeficiente de permeabilidade pode ser previamente avaliado em laboratório, podendo-se ensaiar apenas a camada de revestimento, que resume as considerações para determinação de coeficiente de permeabilidade em campo e em laboratório, conforme NBR 16.416/2015.

Tabela 1 – Determinação do Coeficiente de Permeabilidade.

Tipos de revestimento	Método de ensaio		Coeficiente de permeabilidade do pavimento recém construído
	Local de avaliação		
	Em laboratório	Em campo	
Peça de concreto permeável	ABNT NBR 13.292 ou Anexo A		$> 10^{-3}$

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 16.416:2015.

A avaliação prévia do coeficiente de permeabilidade em laboratório serve apenas para a aprovação preliminar dos materiais de revestimento e simulação das condições de permeabilidade do pavimento. A aprovação final do pavimento permeável, em relação ao coeficiente de permeabilidade, deve ser realizada em campo, após a aprovação o pavimento.

## 9. PROCEDIMENTO

- a) Dispor os blocos na disposição da paginação solicitada em projeto e sem aplicar rejuntamento entre estas, de forma a simular a aplicação real dos *pavers*;
- b) O pavimento deve ser limpo, sem sedimentos ou outros materiais que não estejam aderidos ao pavimento;
- c) O anel de infiltração deve ser posicionado no local de ensaio e vedado na parte em contato com o pavimento, utilizando massa de calafetar;
- d) Realizar a pré-molhagem;
- e) Despejar água no anel de infiltração com velocidade suficiente para manter a massa de água constante;
- f) Marcar o intervalo de tempo acionando o cronômetro assim que a água atingir a superfície da área ensaiada.
- g) A determinação do volume de água deve ser utilizada conforme orienta a Tabela A.1 – Determinação da massa de água para ensaio, da ABNT NBR 16.416/2015;
- h) O ensaio deve ser iniciado logo após a pré-molhagem;
- i) Despejar a massa de água de forma constante, conforme orienta a Tabela A.1 – Determinação da massa de água para ensaio, da ABNT NBR 16.416/2015;
- j) Marcar o intervalo de tempo da pré-molhagem, acionando o cronômetro assim que a água atingir a superfície do pavimento. O cronômetro deverá ser parado assim que não houver mais água livre na superfície da área analisada;
- k) Realizar a análise dos dados para esta primeira etapa, para obtenção do  $K_1$ ;
- l) Promover o fechamento das juntas, entre as peças, de forma a que seja verificado desta vez a permeabilidade somente dos blocos, sem que a água infiltre entre os blocos;
- m) Esperar o tempo de cura do rejunte, de no mínimo 24h, para que sejam repetidos os procedimentos apontados nas alíneas “d” a “j”;
- n) Realizar a análise dos dados para esta primeira etapa, para obtenção do  $K_2$ ;
- o) De posse dos dois resultados, para que seja verificado o coeficiente de permeabilidade somente dos blocos, aplica-se a equação:  $K_t = K_1 - K_2$ .

## 10. CÁLCULO

O cálculo para coeficiente de permeabilidade (k) usando a equação apresentada a seguir, para obtenção do “ $K_1 - K_2$ ”:

$$K = \frac{C \times M}{D^2 \times t}$$

Onde:

$K$  = Coeficiente de infiltração (mm/h);

$C$  = Fator de conversão (SI) = 4.583.666.000;

$M$  = Massa da água (Kg);

$D^2$  = Diâmetro do cilindro (mm);

$t$  = Tempo de percolação (s).

## 11. DAS ANÁLISES

Em comparativo a solos, podem ser classificados com permeabilidade baixa, alta ou muito alta de acordo com a Tabela 2. Por exemplo, a areia grossa possui alta permeabilidade enquanto a areia fina e a argilosa possuem baixa permeabilidade.

Tabela 2 - Classificação de Permeabilidade.

PERMEABILIDADE SOLO K (M/S)	GRAU DE PERMEABILIDADE DO SOLO	TIPO DE SOLO	
PAVIMENTOS PERMEÁVEIS	$> 10^{-3}$	Muito Alta	Brita
	$10^{-3} a 10^{-5}$	Alta	Areia de brita, areia limpa, areia fina
	$10^{-5} a 10^{-7}$	Baixa	Areia, areia suja e silte arenoso
PAVIMENTOS IMPERMEÁVEIS	$10^{-7} a 10^{-9}$	Muito baixa	Silte, silte argiloso
	$< 10^{-9}$	Praticamente impermeável	Argila

Fonte: Adaptado de Terzaghi e ABNT NBR 16.416:2015

## 12. DOS ESAIOS

Os testes deverão ser realizados em duas etapas, com a instalação dos *pavers* sem rejuntamento e com rejuntamento, podendo ser com rejunte à base de argamassa ou nata, com o intuito de verificarmos a real taxa de permeabilidade somente dos blocos. Tendo como exemplo as Figuras apresentadas na sequência 33 e 34, o qual foi realizado com os *pavers* instalados com trama reta e com escama de peixe, respectivamente.

A Figura 1, apresenta a seguinte sequência: (a) Instalação dos blocos e cilindro de 300mm e h=20cm; (b) Aplicação e massa de calafetar; (c) Pré-molhagem.; (d) Após a pré-molhagem; (e) Realização do ensaio - peças sem rejuntamento; (f) Peças após o ensaio - sem rejuntamento; (g) Fechamento das juntas entre os *pavers*; (h) Pré molhagem – Peças após o fechamento das juntas; (i) Realização do ensaio, com o fechamento das juntas, conforme; (j) Peças após o ensaio - com o fechamento das juntas.

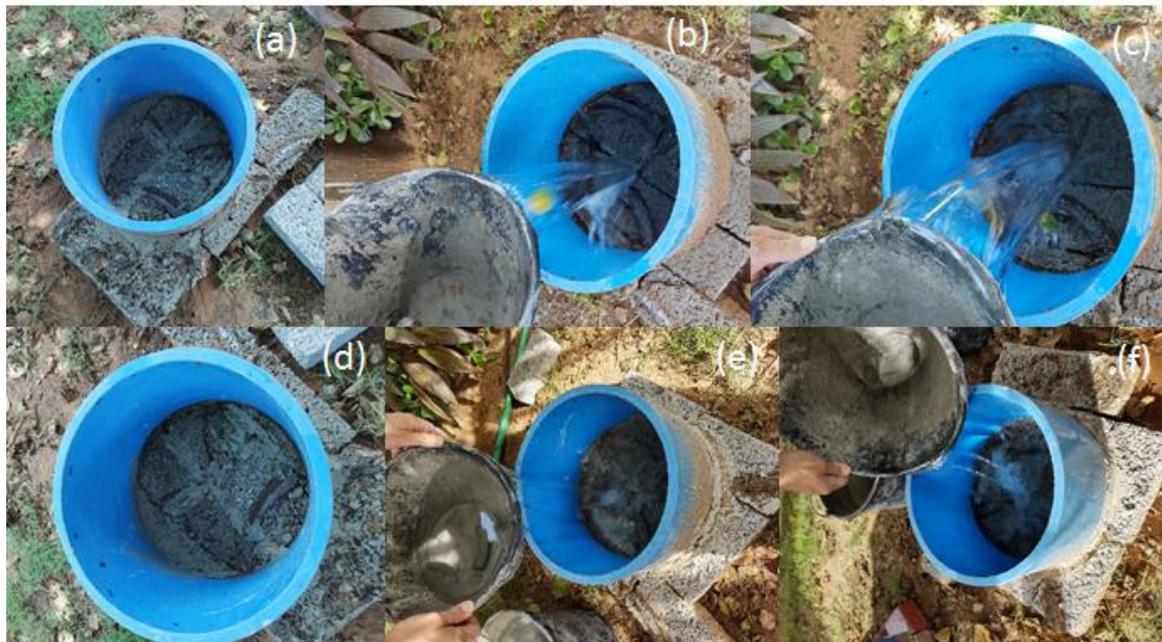
Figura 1 – Realização do ensaio com a trama em escama de peixe.



Fonte: Elaboração própria em 2020.

A Figura 2, apresenta a seguinte sequência: (a) Peças sem o fechamento das juntas; (b) Pré molhagem; (c) Realização do ensaio, com o fechamento das juntas; (d) Fechamento das juntas; (e) Pré-molhagem, com o fechamento das juntas; (f) Realização do ensaio, com o fechamento das juntas.

Figura 2 - Realização do ensaio com a trama em linha reta.



Fonte: Elaboração própria em 2021.

Realizada as caracterizações das peças, tendo como base os parâmetros apresentados pela ABNT NBR 16.416/2015 e coeficiente de solos, apresentados na tabela 2. Analisando a caracterização de percolação da água, conforme enquadramento apresentado.

Analisando os resultados, tendo em vista que o objetivo das análises era verificar o real coeficiente de permeabilidade “in situ”, para os *Pavers* em Concreto Permeável, apresentada sua caracterização e classificação, apresentam-se recomendações devendo ser observada adequações do traço, processos de fabricação e moldagem, após atendidas as recomendações propõe-se que as novas peças sejam submetidas a uma nova análise.

**ANEXO II – PEDIDO DE PATENTE DE INOVAÇÃO, COM O TÍTULO: DISPOSITIVO E MÉTODO DE ENSAIO PARA ANÁLISE DE PERMEABILIDADE E ABSORÇÃO DE BOCOS INTERTRAVADOS EM CONCRETO PERMEÁVEL.**



## Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2022 019187 5

### Dados do Depositante (71)

---

Depositante 1 de 1

**Nome ou Razão Social:** INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE

**Tipo de Pessoa:** Pessoa Jurídica

**CPF/CNPJ:** 10877412000168

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Jurídica:** Instituição de Ensino e Pesquisa

**Endereço:** Rua Dr. Nilo Bezerra Ramalho, 1692, Tirol

**Cidade:** Natal

**Estado:** RN

**CEP:** 59015-300

**País:** Brasil

**Telefone:** 84 40050763

**Fax:**

**Email:** rafael.passos@ifrn.edu.br

## Dados do Pedido

---

**Natureza Patente:** 10 - Patente de Invenção (PI)

**Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):** DISPOSITIVO E MÉTODO DE ENSAIO PARA ANÁLISE DE PERMEABILIDADE E ABSORÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS EM CONCRETO PERMEÁVEL

**Resumo:** O DISPOSITIVO E MÉTODO DE ENSAIO PARA ANÁLISE DE PERMEABILIDADE E ABSORÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS EM CONCRETO PERMEÁVEL, possibilita aos fabricantes, construtores na área de engenharia civil e pesquisadores em geral um melhor controle tecnológico e conseqüentemente desempenho das peças em sua fabricação, recebimento e aplicação. O dispositivo constitui de: um sistema hidráulico composto por um tubo de alimentação (2), um tubo de ensaio (1), um reservatório de ensaio (3), um tubo de drenagem (4), um reservatório de depósito (5) e um tubo de sucção (6); um sistema de suporte composto por quatro estruturas de suportes superiores (7) e quatro inferiores (8); um sistema de sistema de sensores e atuadores de teste hidráulico constituído de sensores infravermelhos (15) e (16), dois sensores de peso (17), uma bomba d'água (12) e uma válvula eletrônica (11) e seus respectivos atuadores (13) e (14) e uma fonte de alimentação principal (18); um sistema de resfriamento e aquecimento da água composto por um sensor de temperatura (20), duas resistências (21), uma célula de peltier (22), um conjunto com dissipador e ventoinha (23) e um atuador (24); e um sistema de controle constituído de um microcontrolador (19) e um painel de controle (25).

**Figura a publicar:** 1

**ANEXO III – CARTILHA DE BOAS PRÁTICAS PARA MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO UTILIZADOS PARA MOLDAGEM DE PAVERS EM CONCRETO PERMEÁVEL.**

### ANEXO III – CARTILHA DE BOAS PRÁTICAS PARA MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO UTILIZADOS PARA MOLDAGEM DE PAVERS EM CONCRETO PERMEÁVEL.

Apresentamos mais algumas observações, com o intuito de melhorar a qualidade e desempenho das peças moldadas com traços de concreto permeável, tendo como base as observações e apontamentos constantes a seguir:

- a) Da utilização do “microconcreto”, tipo *Graute*, como um dos componentes do traço, de acordo com o responsável técnico da empresa tal material no intuito de “aumentar a resistência à compressão”, como informado durante a visita. Para este ponto, é necessário esclarecer que:
- ✓ O *Graute*, é uma combinação de aglomerantes (com base mineral ou orgânica) – que podem incluir resina epóxi ou de cimento Portland – agregados (miúdos, geralmente), aditivos, cal, entre outros componentes no intuito de tornar numa espécie de “microconcreto”, fluido, capaz de preencher vazios;
  - ✓ Sendo bastante utilizado para recuperação e reforço estrutural devido a sua grande quantidade de finos, que acaba contribuindo para a **baixa permeabilidade** do material;
  - ✓ Utilizado também para grauteamento e fixação de estruturas, tirantes, pré-moldados, etc;
  - ✓ Podendo ser caracterizado como uma “argamassa” ou um “microconcreto” autoadensável, devido sua diminuída capacidade de deixar vazios e/ou nichos de concretagem;
  - ✓ Embora seja uma “argamassa” com grande utilização na construção civil, não há nenhuma solução e normatização pela ABNT para a caracterização, aplicação, destinação, traços, entre tantas características deste material;
  - ✓ Apesar do produto – devido a sua composição – trazer consigo a capacidade de garantir uma elevada resistência inicial e final (num curto espaço de tempo), essa capacidade tende a ficar diminuída quando o material é utilizado em conjunto (diluído) com outros componentes (aglomerantes, agregados, aditivos, água, etc) em um mesmo traço.

b) Da utilização do Pó de pedra, no traço, ao invés de agregados com granulometrias conhecidas:

- ✓ Por definição, também chamado de areia artificial, é o material obtido por fragmentação de rocha, com granulometria de 0 a 4,8mm;
- ✓ Sua curva granulométrica pode diferir de pedreira para pedreira, já que sua formação se faz de todo material que passa na peneira de 2,4mm, (BAUER, 2013);
- ✓ Podendo ter inclusive **maior porcentagem de finos que as areias padronizadas**, (BAUER, 2013);
- ✓ Utilizado para pavimentação asfáltica, lajotas, blocos intertravados, concreto jateado e acabamento em geral;
- ✓ Material não característico na composição de um traço de concreto, devido sua pulverulência.

c) Da utilização do Cascalho no traço, ao invés de agregados com granulometrias conhecidas:

- ✓ Tem sua granulometria variando de 2 a 256mm de diâmetro, na escala de Wentworth;
- ✓ Sendo uma denominação genérica para o seixo, de acordo com a literatura;
- ✓ Observou que não há controle na granulometria do material utilizado, visualmente tendendo a uma granulometria graduada em fina ou muito fina – que pode variar de 4 a 2mm;
- ✓ Como não há controle na granularidade do material, não há como se garantir que não existam materiais de granulometrias mais finas, nem a origem e tipo de rocha, que possam vir a contribuir na diminuição da porosidade das peças de concreto permeável.

d) Da utilização do Cimento Portland, utilizado o CP V ARI de acordo com informações obtidas durante a visita técnica com a Empresa 2, no “intuito de aumentar a resistência inicial”. Sobre este ponto, apresentamos as seguintes observações:

- ✓ O Cimento Portland em si, é um pó fino com propriedades aglutinantes, aglomerantes ou ligantes, que endurecem a partir da ação da água, (YASIGI, 2016);

- ✓ O CP ARI, ou o Cimento Portland de alta resistência inicial tem alta reatividade em baixas idades em função do grau de moagem a que é submetido, proporcionando maior rendimento ao concreto;
  - ✓ É largamente utilizado em produção industrial de artefatos, concreto protendido pré e pós-tensionado, pisos industriais e argamassa armada;
  - ✓ O Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI), atinge alta resistência inicial (com o próprio nome já diz), devido a dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, ainda **devido a moagem mais fina do cimento**, de modo que, ao reagir com a água, acabe fornecendo maior resistências, em um menor espaço de tempo;
  - ✓ O Cimento utilizado, não há identificação se seria o CP V ARI, somente apresenta em sua embalagem a identificação de ser CP ARI, com a identificação de “secagem ultrarrápida e alta resistência”, não deixando claro se a composição é equivalente ou não ao CP Y ARI;
  - ✓ O CP V ARI, durante seu processo de fabricação, é composto por moagem mais fina do cimento em comparativo com outros tipos de cimento, com isso, acaba também sendo diminuída a sua porosidade e conseqüentemente a permeabilidade. Tais características e composições do cimento a ser utilizado, deverão ser observadas durante o estudo e determinação do traço.
- e) Da utilização do Aditivo, de acordo com informações obtidas durante a vista técnica com a Empresa 2, no “intuito de aumentar a resistência das peças”. Sobre este produto, apresentamos:
- ✓ Há a necessidade de identificar o tipo de aditivo utilizado. Uma vez que durante a visita somente observou-se ser ou estar na forma líquida, sendo lançado na betoneira sem nenhum controle de medida/volume.
- f) Da utilização da Água para composição do traço:
- ✓ Não foi identificado nenhum controle de medida e nem compensação no teor água cimento, tendo em vista a colocação do aditivo líquido, sendo este ou estando na forma líquida, como apontado na letra e.

Assim, no intuito de buscar a produção de peças capazes em sua totalidade de

assumirem características das peças moldadas em concreto permeável, que visam garantir características de sustentabilidade. Fica sugerido a realização de um estudo dos materiais, caracterização, estudo do traço e sua adequação. Apontamos a necessidade também da realização da padronização das padiolas para medida dos materiais.

Tais ações poderão ser realizadas com a realização de estudos próprios (por parte do corpo técnico que compõe a empresa) ou com a contratação de uma consultoria específica, incluindo desde a caracterização dos materiais utilizados (agregados, aglomerantes, aditivos, etc.) até as medidas/padiolas utilizadas durante a realização dos traços, para as peças analisadas e o monitoramento da padronização e vibração da mesa e das peças vibradas manualmente, durante o processo de moldagem.

