



CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**TARCISIO DE PAULA MODESTO JÚNIOR**

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA  
COMPOSIÇÃO DAS CAMADAS DE UM PAVIMENTO DRENANTE**

PALMAS - TO

2019

**TARCISIO DE PAULA MODESTO JÚNIOR**

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA  
COMPOSIÇÃO DAS CAMADAS DE UM PAVIMENTO DRENANTE**

Monografia submetida como requisito de nota para a disciplina Projeto de Graduação II no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Tocantins.

Orientadora: Prof. Janaina Lima de Araújo, M.Sc.

PALMAS – TO

2019

**TARCISIO DE PAULA MODESTO JÚNIOR**

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA  
COMPOSIÇÃO DAS CAMADAS DE UM PAVIMENTO DRENANTE**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Palmas, 12 de junho de 2019

**Banca examinadora:**



Marcus Vinicius R. de Souza  
Prof. I Eng. Civil  
Mat. 1912767 CUP/UFT

Orientador: Prof. MSc. Janaína Lima de Araújo



Membro: Prof. MSc. Yago Isaias da Silva Borges



Membro: Prof. MSc. Tatiana Ferreira Wanderley

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

J95a Júnior, Tarcisio de Paula Modesto.

Avaliação das características dos materiais utilizados na composição das camadas de um pavimento drenante.. / Tarcisio de Paula Modesto Júnior. – Palmas, TO, 2019.

58 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2019.

Orientadora : Janáina Lima de Araújo

Coorientador: Marcus Vinícius Ribeiro e Souza

1. Desenvolvimento urbano. 2. Infiltração. 3. Pavimento drenante. 4. Blocos intertravados. I. Título

**CDD 624**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

Dedico este trabalho à Deus por me tornar capaz de alcançar meus objetivos, aos meus pais por me amarem e sempre cuidarem de mim e ao meu amor por me suportar e me dar forças.”

## AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, eu gostaria de agradecer a Deus por todas as maravilhas que faz em minha vida, por sempre me amparar e por me dar forças e capacitar a trilhar essa grande aventura que está se encerrando. Por me ensinar e me guiar nos caminhos dEle, me fazendo acreditar que não importando as dificuldades ele sempre estará comigo.

Agradeço a minha mãe, Rosinete, por além de ser essa grandiosa figura materna em minha vida, por ser uma das responsáveis em me tornar a pessoa que eu sou hoje. Por todos os ensinamentos ministrados e por todos os momentos de carinho e amparo que me destes, enquanto me concedia as lições de vida. A ela, meu grande amor e carinho como recompensa por me ajudar a trilhar esse caminho, lhe amo muito.

Agradeço ao meu pai, Tarcisio, pelo papel de me ensinar a ser uma rocha que, enquanto resistente, ainda ser totalmente maleável e susceptível a aprendizados e lições. Por mesmo sem saber, me mostrar que há a liberdade em nossas vidas e depende de nós mesmos para fazer tudo acontecer. A ele, muito amor e todas as bênçãos que Deus pode lhe conceder, lhe amo muito.

Ao amor da minha vida e grande companheira, Ana Clara, por todo o apoio e forças que me concedeu nessa caminhada, pela bondade e sabedoria e por me mostrar o quão poderoso o amor pode ser nas nossas vidas. Por me firmar nos caminhos de Deus e me fazer acreditar ainda mais em Suas obras, mesmo enquanto as lutas eram difíceis. Agradeço pela motivação e por ser parte dessa grande conquista que se encerra. A ela, meu imenso amor e carinho e o desejo de estar sempre ao seu lado em suas próprias conquistas e batalhas.

A minha irmã, Laiss, que mesmo na distância se importava em participar da minha vida e mostrava o seu interesse, principalmente, nessa reta final. Agradeço a Deus por vê-la conquistar tudo o que você anseia e gostaria muito de demonstrar minha felicidade por perceber o quão forte e suficiente você se tornou. E o meu sobrinho, Enzo, muitas bênçãos em sua longa caminhada.

Às pessoas que estiveram perto de mim durante esses anos, minha madrinha Luciene, meu padrinho Beltrão por atitudes as quais não sei como agradecer, porque foi um grande período de luta para mim, enquanto suportavam suas próprias dificuldades; fico feliz por poder ver o desenvolvimento de suas vidas durante esses anos. E aos demais familiares que residiram comigo ou me apoiaram da forma que eles podiam, uma gratidão imensa por tomarem seu tempo para me ajudar.

Aos meus amigos que tiveram ao meu lado todos esses anos, compartilhando momentos de alegria, felicidade e sucesso, mas também tristezas, sofrimentos e lutas, pelas quais passamos e vencemos, para enfim alcançarmos o que temos hoje.

Aos professores e, em especial, a Professora M. Sc. Janaina Lima de Araújo por todos os ensinamentos técnicos e por toda a paciência em liderar nessa reta final, por isso desejo a ela e sua família muitas bênçãos e muito sucesso nessa vida.

E, por fim, à Universidade Federal do Tocantins por apresentar esse ensino suficientemente de qualidade e fazer os moldes do profissional que me tornarei.

“Sejam sábios no procedimento para com os de fora; aproveitem ao máximo todas as oportunidades. O seu falar seja sempre agradável e temperado com sal, para que saibam como responder a cada um. Colossenses 4:5-6.”

## RESUMO

Apesar dos problemas com enchentes encontrados nos centros urbanos, mesmo naqueles bem desenvolvidos, não se percebe o emprego de tecnologias mitigadoras dos efeitos causados pela urbanização, que por sua vez acabam potencializando os volumes de cheias por meio das altas cargas hidráulicas das chuvas. Neste contexto, há alta propensão a inundações seja pela sobrecarga das galerias pluviais ou pelo aumento da área de influência de rios, uma vez que se pode caracterizar esses problemas às altas taxas de impermeabilização. Tendo em vista que a problemática em questão representa uma grande parcela dos problemas urbanos, este trabalho buscou estudar o uso de pavimentos permeáveis em blocos de concreto do estacionamento localizado na Universidade Federal do Tocantins – UFT em Palmas – TO, avaliando os materiais empregados para sua construção, bem como seu desempenho em relação a capacidade de infiltração e a atual disposição e emprego de manutenções e se utilizar de forma correta os recursos necessários em uma estrutura nova. A caracterização dos materiais foi feita com base nas normativas vigentes e regidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas e os parâmetros estabelecidos como base para se entender o desempenho foi baseado na NBR 16.416. O pavimento em questão possui estrutura em blocos arranjados em espinha de peixe e, atualmente, apresenta grandes problemas de alagamento mesmo durante o período de chuvas mais leves, pois a carga hidráulica não possui meios de escoamento significantes. Apesar da declividade razoável apresentada, o volume precipitado tende a ficar acumulado em pontos específicos do pavimento, devido a problemas de execução que acarretaram falhas na superfície e a presença de processo de colmatagem das juntas. Sendo assim, mediante essa situação negativa, o trabalho teve como objetivo avaliar as causas dos problemas encontrados no pavimento, caracterizando os materiais empregados pelos critérios normativos estabelecidos e, ainda, identificar novos materiais que cumprem com a função do pavimento. Por fim, a construção de um modelo representativo de dimensões 1,0 m x 1,0 m considerando as mesmas espessuras das camadas identificadas no restante do pavimento, realizando somente a substituição para os novos materiais, os quais garantiram a elevação do coeficiente de permeabilidade, para um valor de  $10^{-3} \text{ m/s}$ , classificado como ideal para a conjuntura do pavimento, enquanto a atual estrutura permitiu coeficientes entre a faixa de  $10^{-5}$  a  $10^{-7} \text{ m/s}$ . A diferença entre os valores encontrados é bastante nítida, enquanto no pavimento construído com materiais novos a infiltração se deu em menos de 30 segundos, na estrutura existente foram necessários cerca de 2 minutos para completar o processo. Deste modo, infere-se que o emprego desse sistema drenante é dado como eficiente desde que cumprindo-se os critérios e aplicando-se as devidas manutenções.

**Palavras-chave:** Blocos intertravados; Infiltração; Alagamentos; Eficiência;

## ABSTRACT

Despite the problems encountered in urban centers, for the most part, is not perceived as the work of technologies that mitigate physical effects and, therefore, they improve the generation of flood volumes through the high hydraulic discharge of the rains. In this context, there is a high suitability in the overload of the drainage systems and increasing of influential areas of the rivers, once it may be due to the high rates of impermeabilization. The survey problem arises as a large - scale problem of urban problems, and this work searched for the permeable paving on concrete blocks for parking at the Federal University of Tocantins - UFT in Palmas - TO, analysing the materials, as well as your performance in relation to the capacity to infiltrate and present the availability and working maintenance and the correct usage and ability to adapt to a new structure. The material characterization was performed based on the standards in force and governed by the Associação Brasileira de Normas Técnicas for Performance and all parameters established based on NBR 16.416. The studied pavement has a structure arranged in blocks in fishbone set up and, currently, shows great problems of flooding during the period of minor raining volume, since it is one of the most important means of significant flow. Although the slope built, the water flow limit was incurred to accumulate at some floor points, due to the failure in the surface and a process of sealing the joints. Therefore, to a negative situation, the work had a significant importance on reassembling all troubles as the search for resources and the characterization of materials that were subject to regulations and, also, the development of new materials that fulfill the function of pavement. Finally, the construction of a representative model of dimensions is 1.0 m x 1.0 m considering the thicknesses of the layers in the rest of the pavement, with only a replacement being made for the new materials, which are guaranteed to raise the coefficient of permeability, to a value of  $10^{-3}$  m/s, classified as ideal for a pavement scenario, while the current structure allows coefficients between  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$  m/s. The difference between the materials is very notorious, while in the pavement built took only 30 seconds and in the old structure was timed in 2 minutes to complete the infiltration process. That being said, it is inferred that the use of the drainage system is given as efficient once provided the conditions are fulfilled all criterias and applied the necessary maintenance.

**Keywords:** Interlocked blocks; Infiltration; Flooding; Efficiency.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de Urbanização .....	14
Figura 2 - Caracterização dos leitos dos rios.....	15
Figura 3 – Alagamento nas principais vias de Palmas .....	17
Figura 4 – (1) Pavimento poroso em asfalto; (2) Pavimento poroso em concreto; (3) Pavimento permeável em blocos pré-moldados de concreto.....	19
Figura 5 – Estrutura do pavimento drenante .....	23
Figura 6 – Foto do pavimento visto do alto.....	24
Figura 7 – Mapa de situação do campus Palmas da UFT.....	27
Figura 8 - Estacionamento do Restaurante Universitário - UFT .....	28
Figura 9 – Análise preliminar da estrutura do pavimento .....	28
Figura 10 – Curva Granulométrica para as camadas de base .....	31
Figura 11 – Representação dos modelos do pavimento <i>in situ</i> e tamanho real .....	33
Figura 12 – Identificação visual da área de estudo.....	34
Figura 13 – Reconstrução do pavimento em blocos de concreto .....	35
Figura 14 - Ensaio de massa específica para grãos retidos na peneira #4.75 mm .....	38
Figura 15 – Procedimento para ensaio de massa específica dos grãos de solo.....	39
Figura 16 – Procedimento para ensaio de limite de liquidez e plasticidade .....	40
Figura 17 – Procedimento para análise granulométrica .....	41
Figura 18 – Procedimento para ensaio de sedimentação.....	42
Figura 19 – Curva granulométrica para a camada de base .....	42
Figura 20 – Ensaio de compactação .....	43
Figura 21 – Curva de compactação, amostra (1).....	44
Figura 22 – Procedimento para o ensaio de CBR.....	45
Figura 23 – Curva granulométrica para a camada de assentamento.....	46
Figura 24 – Curva granulométrica para a camada de base nova. ....	47
Figura 25 – Curva granulométrica para a camada de assentamento nova. ....	48
Figura 26 – Ensaio de massa específica para brita 0 e 1 .....	49
Figura 27 – Procedimento de ensaio de coeficiente de permeabilidade .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável.....	29
Tabela 2 - Especificação para o material de sub-base e/ou base .....	29
Tabela 3 - Especificação para o material de assentamento.....	30
Tabela 4 - Massa específica e absorção do solo retido na 4,8 mm.....	39
Tabela 5 - Massa específica dos grãos de solos.....	40
Tabela 6 – Ensaio de Índice de Suporte Califórnia .....	45
Tabela 7 – Ensaio de massa unitária.....	49
Tabela 8 – Ensaio de massa específica para brita 0 e 1 .....	50
Tabela 9 – Cálculo do coeficiente de permeabilidade .....	51
Tabela 10 – Coeficientes de permeabilidade de referência. ....	51

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos da pesquisa .....</b>	<b>13</b>
1.1.1	Objetivo Geral .....	13
1.1.2	Objetivos Específicos .....	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Processo de urbanização e sua influência na drenagem urbana .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1</b>	<b>O processo de urbanização na cidade de Palmas-TO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Pavimentos drenantes .....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Área de Estudo: Universidade Federal do Tocantins.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2</b>	<b>Estudos da composição do pavimento.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3</b>	<b>Aplicação da metodologia .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4</b>	<b>Desempenho no pavimento permeável.....</b>	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Análise geométrica e espacial em campo .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>Caracterização da camada de base .....</b>	<b>37</b>
4.2.1	Massa específica e absorção do solo .....	38
4.2.2	Ensaio de limite de liquidez e plasticidade .....	40
4.2.3	Análise Granulométrica.....	41
4.2.4	Ensaio de Compactação.....	43
4.2.5	ISC – Índice de Suporte Califórnia .....	44
<b>4.3</b>	<b>Caracterização da camada de assentamento.....</b>	<b>45</b>
<b>4.4</b>	<b>Estudo de caso com novos materiais .....</b>	<b>46</b>
4.4.1	Ensaio de granulometria .....	47
4.4.2	Massa unitária e específica.....	48
<b>4.5</b>	<b>Avaliação do desempenho.....</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>51</b>
<b>5.1</b>	<b>Sugestão para trabalhos futuros.....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização que se identifica em meio ao crescimento urbano provoca grandes alterações no ciclo hidrológico da água na natureza, impactando por meio da diminuição do volume de cheias nos reservatórios d'água e nas recargas nos lençóis freáticos. A grande razão para este problema advém da impermeabilização superficial que ocorre nos centros urbanos, devido ao aparecimento das edificações e retirada do solo natural, acarretando a diminuição das áreas livres não ocupadas e que possuem ótimo estado permeável. Deste modo, a principal consequência é o aumento do escoamento superficial, dado pela redução da área livre não-edificada, além da diminuição da cobertura vegetal, que está associado a capacidade de infiltração do solo e a evapotranspiração.

Normalmente, em cidades menos urbanizadas, esse problema não se torna tão evidente, ainda mais em regiões a qual as chuvas não apresentam altos índices pluviométricos. Outrora, em grandes centros urbanos a situação se apresenta num estado mais agravante, visto que, durante as épocas de chuvas, se encontra um cenário com elevada taxa de escoamento superficial o qual aliado a impossibilidade de infiltração, provocando alagamentos, transporte de materiais e detritos que prejudicam a vivência e o bem-estar da população.

Em meio ao contexto urbano, a procura por soluções para os problemas de drenagem urbana se torna essencial, por isso, o planejamento urbano é algo que está intimamente ligado ao desenvolvimento das cidades. Por isso, deve-se priorizar a aplicação de sistemas que buscam compensar de forma direta e indireta o reestabelecimento da capacidade de infiltração do solo, objetivando a restauração das condições naturais de pré-ocupação. Em casos críticos, a sobrecarga que é gerada, durante os picos de precipitações, sobre as redes de drenagem pode se tornar muito intensa e, para isso, se deve investir em estruturas que permitam a infiltração de todo ou parte desse volume escoado, além de contribuir no controle de poluentes presentes na superfície, pela infiltração da carga de materiais contaminantes e contribuir para a recarga das águas subterrâneas.

Atualmente, no mercado, existem diversas técnicas e aplicações que permitem que o solo, mesmo impermeabilizado devido aos efeitos diversos da urbanização, absorva as águas pluviais escoadas. Dentre as estruturas existentes, os pavimentos permeáveis são grandes soluções por permitirem que seu revestimento seja dimensionado com a função de passagem do fluxo de água. Além disso, investimentos no uso de asfalto e concreto permeável, além das peças de concreto, representa simplicidade em sua execução, requerendo excelente, mas pouca

mão-de-obra, além de ser composto por materiais acessíveis na maioria das cidades pela fácil fabricação, garantindo a este sistema uma alta relação de custo e benefício, principalmente para sistemas constituídos em blocos intertravados de concreto.

Baseando-se nesse modelo, estruturas deste tipo podem trabalhar como drenantes atuando na minimização das lâminas máximas acumuladas sobre o pavimento, por funcionarem como alívio da carga hidráulica, tanto pela redução dos volumes superficiais escoados, por meio da infiltração quanto por trabalharem como reservatórios em alguns casos quando desejado, podendo desempenhar também um importante papel na remoção e controle de poluentes do escoamento superficial (ACIOLI, 2005).

Haja visto que o uso de pavimentos drenantes é uma proposta adequada e aplicável para os problemas de impermeabilização do solo devido ao processo de urbanização, este trabalho tem o propósito de estudar a partir de um estudo experimental, as características técnicas dos materiais utilizados na composição das camadas de um pavimento drenante em busca da sua eficiência no desempenho da sua função, seguindo como base os estudos já iniciados por Queiroz (2018) o qual avaliou o funcionamento do pavimento de blocos intertravados utilizado nos bolsões de estacionamento no Campus de Palmas, da Universidade Federal do Tocantins (UFT).

Assim, este trabalho por meio da construção de um sistema ainda em verdadeira grandeza buscou estudar quais as melhores características técnicas que os materiais constituintes desse tipo de pavimento podem ter tecnicamente, para que assim, garantam a impermeabilização da água pelo sistema, melhorando a capacidade de infiltração, principalmente com objetivo de simular o seu impacto em regiões com grandes áreas impermeabilizadas. Por fim, verificou-se o funcionamento após a implantação desse sistema pelo carregamento de água controlado.

## **1.1 Objetivos da pesquisa**

### 1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as características dos materiais usados nas principais camadas do pavimento drenante usado no estacionamento do restaurante universitário da UFT, Campus Palmas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Buscando alcançar o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Construir um pavimento drenante em escala real (1m x 1m) integrado ao pavimento intertravado já existente, fazendo uso dos materiais selecionados para cada camada através dos critérios de drenabilidade e resistência enquanto solo, bem como, se baseando nas normativas vigentes;
- Quantificar a permeabilidade e a infiltração do solo de base por meio de ensaios sob o sistema construído em escala real.

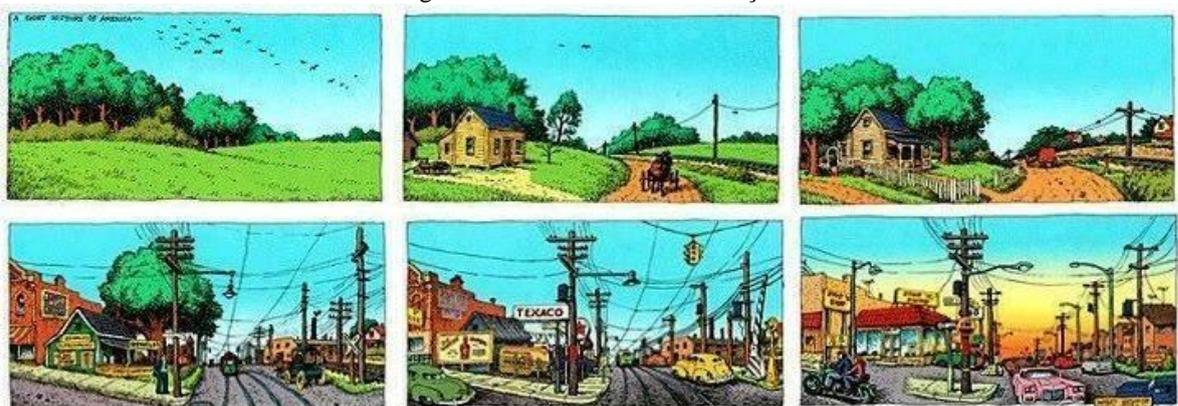
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico serão explicitadas as literaturas que serviram como base para a elaboração desse projeto de pesquisa. Dando abordagem aos temas referentes a necessidade do uso de pavimentos drenantes, a avaliação dos processos executivos e materiais com suas características inerentes a aplicação em campo, bem como a apresentação da estrutura estratificada das camadas que compõem um pavimento de blocos intertravados. Finalmente, serão descritos os métodos de avaliação de permeabilidade e parâmetros fundamentais para a classificação de uma estrutura drenante.

### 2.1 Processo de urbanização e sua influência na drenagem urbana

A urbanização é caracterizada pelo processo de aumento populacional das regiões que apresentam caráter rural ou pouco civilizados. O surgimento deste fenômeno acontece em locais onde se encontram grandes concentrações de recursos, sejam estes condicionantes de infraestrutura (rodovias) ou naturais (lagos, rios e mares), com o objetivo de aproveitamento destes para o desenvolvimento da cidade. Nas principais características estão inclusos crescimento contínuo da área urbana pela ocupação das propriedades rurais, juntamente com a redução das características ambientais na natureza, conforme ilustrado na Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Processo de Urbanização.



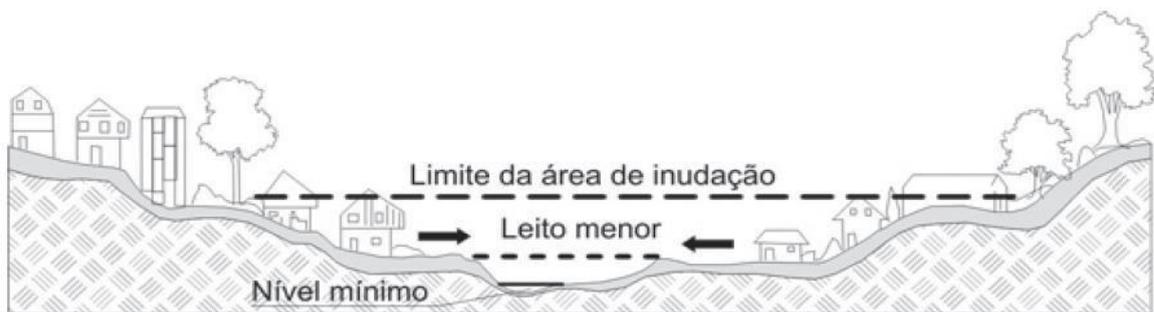
Fonte: Adaptado de Brasil Escola, 2013.

Esse tipo de formação não retrata um processo recente, mas sim algo que está relacionado a um grande período de desenvolvimento e, ainda mais, é resultado, muitas vezes, de uma sequência de ações que perlongam por vários anos. Boldrin (2005) revela que no ano de 1800 apenas 1% da população vivia nas cidades e, com o avanço da Revolução Industrial o processo de crescimento urbano se intensificou. Schiffer (2004) retrata que o censo

demográfico de 1970 indicava que cerca de 50% do crescimento urbano era devido às migrações internas em termos de média geral para o Brasil, o que serve de justificativa para a hipótese que se tornou necessário a vivência entre locais próximos aos centros urbanos, onde se localiza a grande maioria dos recursos e desenvolvimento tecnológico.

Certamente, um dos maiores agravantes é a intensificação dessa migração retratada por um impacto enorme na infraestrutura, uma vez que a intensidade desse processo lida para ocupações irregulares em regiões impróprias ou inalcançadas pelos recursos, além de grandes possíveis desastres naturais e impactos ambientais, como por exemplo, as alterações dos cursos naturais dos corpos hídricos com construções de desvios e barramentos. De acordo com Tucci (2008), a estrutura de um corpo hídrico é formada por dois leitos, o leito menor onde a água escoar na maior parte do tempo, e o leito maior que é quando as inundações atingem níveis superiores ao leito menor. A Figura 2, a seguir, ilustra as áreas de influência da variação dos níveis de água de um leito aquoso, apresentando o leito menor e o leito maior o qual seria a área limite de inundações.

Figura 2 - Caracterização dos leitos dos rios



Fonte: Tucci, 2008, p. 105.

Oliveira (2008), afirma que os principais problemas causados pela urbanização são aqueles que acometem a impermeabilização do solo, bem como alterações nos cursos naturais de águas fluviais e remoção da cobertura vegetal. Em suma, essa sucessão de eventos transmite problemas como as grandes erosões, o desbalanceamento dos processos de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial. Além disso, a ausência de sistemas de drenagem eficientes agregado à edificação em meio as regiões próximas aos corpos hídricos intensificam os problemas já citados. Sendo que, um dos principais tópicos que abordam a falta de infraestrutura se remete à ocupação do solo, manifestado por meio do cobrimento das áreas abertas por edificações ou pela aplicação de revestimentos. Este fenômeno retrata a diminuição das áreas livres que permitem o processo de infiltração no solo, provocando a diminuição permeabilidade do terreno.

Na forma legislativa, existem pautas que tratam do mau uso do terreno, visando a permanência de um percentual mínimo destinado para áreas livres. A lei do uso e ocupação do solo, definido pela projeção das áreas edificáveis no terreno, de forma a garantir a não ocorrência da má distribuição das áreas edificáveis e permanência das áreas livres e não-edificadas. Contudo, para ambientes públicos e de responsabilidade do governo, não existem classificações, por isso, em muitos dos casos não existe o controle da cobertura do solo e, logo, agregado a sistemas infraestruturas de drenagens falhos ou inexistentes, acarretam grandes problemas nos centros urbanos (TUCCI, 1995).

A NBR 9284 de 1986 define e classifica o que são equipamentos urbanos segundo sua função predominante, dentre os quais estão inclusos os sistemas de abastecimento e esgotamento sanitário e pluvial. A drenagem pluvial apresenta grande influência dentro dos centros urbanos, quando se demonstra a realidade sobre o desenvolvimento das cidades, o qual, geralmente, não segue acompanhado pela infraestrutura, uma vez que o planejamento urbano não é efetivamente implementado. Dentre os principais problemas advindos do processo de urbanização, pode-se citar, de acordo com a Ciria (1996) os aumentos no volume de escoamento superficial; do quantitativo e qualitativo no número inundações; e na carga de poluentes advindos das redes pluviais ou escoamento superficial.

Diversos trabalhos mencionam ferramentas como pavimentos permeáveis, aplicação de vegetação para estabelecimento das áreas de preservação e outros, conhecidas como medidas não estruturais para prevenção e controle de enchentes, de modo que se aplicam como métodos de contenção das consequências do processo de impermeabilização do solo, sobretudo as grandes enchentes, pela sua funcionalidade de infiltrar o volume (MARIANA, 2016). Este termo se refere ao uso indireto de sistemas para garantir a melhor convivência da população com as enchentes. Deste modo, estas podem ser agrupadas em: regulamentação do uso e ocupação da terra, aplicação de edificações à prova de enchentes, previsão e alerta de inundações para cidades próximas a cursos d'água; ainda pode-se incluir a elaboração do plano diretor e zoneamento de centros urbanos na listagem.

### 2.1.1 O processo de urbanização na cidade de Palmas-TO.

Palmas (Tocantins) é a capital mais nova do país e, segundo a estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para 2018, possui 295.855 pessoas, principalmente,

pelo desenvolvimento urbano que vem sendo observado, tornando o crescimento populacional e de ocupação nítidos.

O tema abordado é uma das problemáticas que a cidade vem enfrentando ao decorrer de vários anos, uma vez que, durante a temporada de chuvas, em locais onde o relevo favorece o acúmulo de águas pluviais, apresentam-se alagamentos e inundações, prejudicando efetivamente a utilização de vias e demais edificações. Como mostrado na Figura 3, observa-se que, em alguns casos, a situação é tão agravante que afeta os usuários das vias públicas, sejam estes de tráfego leve ou aqueles que necessitam do uso transporte coletivo.

Figura 3 – Alagamento nas principais vias de Palmas.



Fonte: Jornal Cenário Tocantins, 2017.

Apesar de todos os problemas, a cidade possui um plano diretor vigente, que visa a sua divisão em microrregiões dentro do município levando em consideração as características desde a influência dos problemas gerados pelo ambiente (poluição, barulhos, odores, etc.) até a adequação e distribuição espacial, bem como a execução de sistemas de coleta e distribuição de água, esgoto e pluvial, os quais são efetivos em grande parte da capital, inclusive as principais vias problematizadas (PREFEITURA DE PALMAS, 2017).

Segundo a Prefeitura de Palmas (2017), a cidade encontra-se com o seu plano diretor em revisão e, em relatório preliminar, afirma-se que possui diversos pontos de alagamentos em regiões como área central da cidade, onde ainda com a presença de sistemas de drenagem, o mesmo não apresenta funcionamento adequado, principalmente pela distribuição dos mecanismos de coleta das águas superficiais (bocas de lobo), seja pelo aproveitamento incorreta do relevo quanto pelo subdimensionamento dos coletores.

No mesmo ano de 2017, em relatório técnico final, a equipe de revisão do plano diretor afirma que a cidade apresenta grandes problemas de desigualdade socioespacial, desde principalmente pelo predomínio de ocupações irregulares urbanísticas. Há ocupação de diversas áreas de riscos como locais destinados à equipamentos públicos e áreas verdes, pelo licenciamento ambiental. Além disso, em vários pontos o relatório enfoca que a alta taxa de impermeabilização do solo, seja na área central da cidade ou nos interiores das quadras ou em locais públicos de paisagismo, tem influenciado na maneira como a população vivencia o espaço público, qualidade da ambiência urbana, ausência de calçadas.

Existem, ainda, muitas formas de se alcançar novos e melhores resultados, inclusive, solucionar os problemas recorrentes ao mal aproveitamento das áreas livres e, para isso, mesmo em meio a toda essa problemática, uma das diretrizes do plano diretor é a aplicação de métodos de drenagem natural, os quais substituem a canalização das águas, por ter maior potencial de servir à recarga dos lençóis freáticos e de minimizar a poluição das águas do lago e proporcionarem redução de custos. Sendo assim, os métodos naturais se resumem em trincheiras de infiltração, valas permeáveis, bacias de detenção e retenção, poços de infiltração, microreservatórios e pavimentos permeáveis (BAPTISTA *et al*, 2005).

## **2.2 Pavimentos drenantes**

Em algumas regiões, as variações pluviométricas dificultam o processo de dimensionamento de cheias, devido aos grandes picos de chuva, onde se observa secas prolongadas, porém nas épocas de chuva ocorrem precipitações elevadas onde é possível aferir valores distintos em relação à média. Este tipo de situação implica diretamente no aumento dos gastos com sistemas de drenagem, além das grandes variações de volume escoados no sistema, pelo superdimensionamento para épocas de seca.

Nessa situação, é possível investir na aplicação de sistemas de drenagem natural, pois estes, além da capacidade funcional, permitem o processo de recarga dos lençóis freáticos por meio da infiltração das águas pluviais. Apesar de não estarem tão difundidos na sociedade, a maioria destes sistemas possuem fácil aplicação, além da redução do custo da obra para pequenas áreas. Dentre os principais dispositivos de infiltração está inserido o uso de pavimento permeável, uma estrutura que auxilia, de forma, mais efetiva, na recuperação das condições de pré-urbanização (TUCCI e GENZ, 1995).

Segundo a normativa brasileira NBR 16.416 (ABNT, 2015), um pavimento permeável é caracterizado como aquele que atende simultaneamente às solicitações de esforços mecânicos e condições de tráfego e cuja estrutura permite a percolação e/ou o acúmulo temporário de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar danos à sua estrutura. Em suma, o pavimento permeável tem a função de receber as águas pluviais e transporta-las, seja por meio da infiltração ou do armazenamento e reaproveitamento.

Urbonas e Stahre (1993) consideram pavimentos permeáveis aqueles que permitem a passagem das águas superficiais através do revestimento, seja pela própria peça ou por aberturas localizadas na cobertura e definem três tipos básico, sendo: o pavimento de asfalto poroso; o pavimento de concreto poroso; e o pavimentos de blocos de concreto vazados, os quais podem ser preenchidos com material granular, como areia ou vegetação rasteira, como grama ou mesmo maciços, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4 – (1) Pavimento poroso em asfalto; (2) Pavimento poroso em concreto; (3) Pavimento permeável em blocos pré-moldados de concreto.



Fonte: Tarmac Company, 2015) e Revista Techné, Edição 190, 2012.

Seja pelo pavimento em asfalto concreto ou concreto poroso constituído de cimento *portland*, assim como, nos blocos de concreto poroso, o revestimento apresenta elevado índice de permeabilidade pelo alto nível de porosidade da camada e/ ou das peças, uma vez que isto implica no aumento da área superficial que colabora efetivamente na infiltração. Todavia, para os blocos não permeáveis, o processo ocorre pela passagem do fluido pelas juntas que separam os blocos geometricamente o que torna diferente os dois tipos de sistemas, tanto pela execução quanto pelo uso de materiais.

Tais sistemas são, atualmente, difundidos por todo o Brasil, procurando conferir ao revestimento maior captação de água dentro dos centros urbanos, evitando os processos de escoamento superficial de forma intensa. O uso de blocos permeáveis em locais como passagem de pedestres, passarelas, ciclovias, estacionamentos e locais de alto tráfego de veículos tem sido o foco de muitos estudiosos, que incentivam essa metodologia, pelos grandes benefícios que ela pode trazer. Segundo Azzout *et al.* (1994), os blocos intertravados agregam várias vantagens como a possibilidade de integração estética ao ambiente, chegando a contribuir para a valorização do local.

Godinho (2009) atribui algumas características e vantagens relacionadas ao pavimento em blocos intertravados, na qual pode-se citar a imediata liberação e utilização do pavimento; além do impedimento da transmissão e o aparecimento, na superfície do pavimento, de eventuais trincas das camadas de base; o mesmo permite ainda fácil reparo quando ocorre o assentamento do subleito que comprometa a capacidade estrutural do pavimento; apresenta facilidade de acesso às instalações de serviços subterrâneas; resistem ao ataque de óleos e ao derramamento de combustíveis; e por fim, facilitam a incorporação de sinalização horizontal pela utilização de peças coloridas.

Assim como em outras modalidades, este método apresenta características determinantes na hora de escolhê-lo, um papel fundamental do engenheiro em meio ao ambiente de execução de obras. Apesar da grande difusão desse método, deve-se levar em consideração locais onde existem poucas cargas solicitantes, pois, apesar de existirem blocos com capacidade estrutural, não é recomendável o uso dos mesmos sobre pavimentos com tráfegos elevados.

No Guia para Águas Pluviais – Sistemas de Pavimentos Permeáveis (*Stormwater Best Management Practices – BMPs*) é ditado alguns critérios para viabilidade do sistema como a grande capacidade de armazenagem e integração com outros sistemas mais usuais. Um dos principais citados é o não requerimento de grandes proporções de terras para execução do pavimento, principalmente em locais onde há a presença de lotes privados e de alto custo.

Segundo o *District Department of the Environment* (2013), esse tipo de sistema requer uma composição de diversas camadas para o seu devido funcionamento, além da necessidade de afastamentos de outras estruturas, pois interferem diretamente na infiltração. A superfície do pavimento deve ser livre de material que afetam a cobertura do revestimento ou a passagem pelas juntas, necessitando de um programa efetivo de manutenções. Além disso, as condições do solo não influenciam tipicamente na capacidade drenante, embora elas determinam a necessidade de drenos, em solos com baixa capacidade de infiltração, de forma a contribuir com o escoamento da água interno ao sistema. Solos impermeáveis requerem sistemas de drenos completos.

Segundo Marchioni e Silva (2013), como material de preenchimento, os revestimentos moldados em juntas largas, quando bem executados, podem apresentar coeficiente de permeabilidade de até  $10^{-4}$  m/s. Ainda apontam que nos revestimentos com juntas finas, este valor apresenta-se na faixa de  $10^{-6}$  m/s, bem abaixo do encontrado anteriormente. Isso se dá ao fato que no primeiro caso, a água infiltra pelas juntas, o oposto ao revestimento em juntas finas, onde a água infiltra pelas peças de concreto poroso.

Segundo Schueler (1987), os sistemas de pavimentos drenantes se subdividem categoricamente em três tipos, baseando-se no método de absorção e armazenamento das águas de infiltração. Sendo estas:

- **Sistema de Infiltração Total:** toda a carga hidráulica presente no sistema é infiltrada no solo de subleito. Neste caso, o reservatório presente na base precisa ser grande suficiente para comportar todo o volume infiltrado.
- **Sistema de Infiltração Parcial:** quando o solo de subleito possui baixa capacidade de infiltração ou nenhuma, sendo necessário a aplicação de métodos que trabalham de forma paralela com o sistema. O funcionamento é feito pela coleta das águas que não foram absorvidas pela camada de solo-base e pode ser composto por tubos perfurados, conhecidos como drenos, e direcionados para a captação de águas pluviais, caso exista.
- **Sistema de Infiltração para controle de qualidade de água:** este sistema serve para o tratamento das águas que advém das primeiras chuvas, pois estas apresentam alta taxa de poluentes. O pavimento permeável em blocos de concreto ou asfalto poroso possuem vantagem quando se necessita de filtrar algum tipo de material poluente presente na superfície (PINTO, 2011).

Levando em consideração a função das camadas de uma estrutura de um pavimento drenante e os materiais que as constituem, observa-se que se assemelha bastante a estrutura utilizada em pavimentos comuns, uma vez que, em geral, seguem a mesma funcionalidade. As principais diferenças são as características advindas das propriedades dos materiais, neste caso, a camada de subleito, encontra-se o solo predominante da região, o qual sua definição é extremamente importante, pois, este define algumas características a serem consideradas no sistema, assim como a drenabilidade a ser estruturada no pavimento. O subleito é responsável por garantir ao pavimento sua própria capacidade drenante enquanto o solo permitir a infiltração de todo o volume escoado, nos casos contrário, se utiliza equipamentos que contribuam com a drenagem, tais como dreno e trincheiras (REVISTA TÉCHNE, 2012).

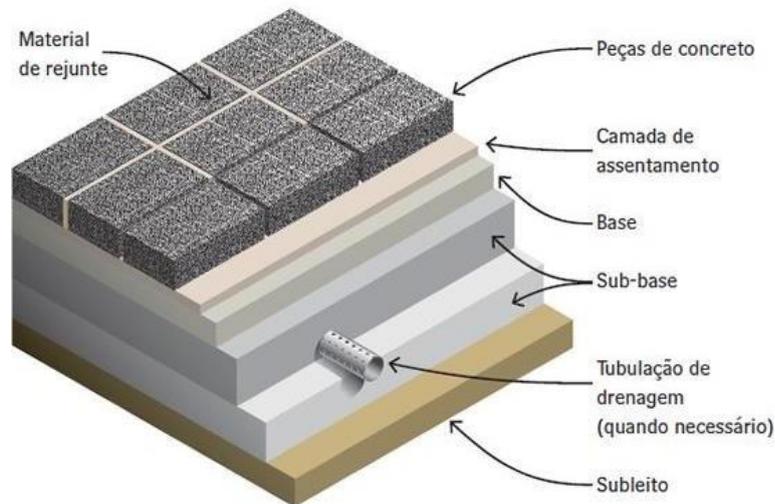
Basicamente, o pavimento drenante em blocos intertravados possui quatro camadas principais, sendo elas o revestimento onde são dispostos os blocos que podem ser arrançados de diversas formas geométricas, a camada de assentamento, onde é depositado camadas de areias de forma a permitir a montagem dos blocos; a base permeável, onde se mistura solo um pouco de brita com dimensões e granulometria padrões e, por fim, o subleito que é caracterizado como o solo natural do local.

O pavimento em blocos intertravados é comumente utilizado para se executar praças, passarelas, ciclovias e estacionamentos. Porém, pouco se tem controle sobre a construção de um pavimento seguindo uma metodologia e especificações de materiais corretamente, ocasionando problemas como a colmatação, processo de entupimento das juntas pela perda de material advindo da camada de assentamento (colchão drenante) ou da base permeável. Dito isso, é possível elencar algumas das principais causas destes problemas, como: a escolha inapropriada dos materiais componentes das camadas, bem como sua granulometria; a deficiência nos estudos e investigações geológicas para o reconhecimento do leito sobre o qual o pavimento está sendo executado; o déficit no confinamento lateral para evitar o transporte de solos não qualificados para o interior da estrutura, bem como o mal intertravamento entre os componentes da camada de revestimento; a falta de cuidados como a reforma e limpeza do pavimento (ACIOLI, 2005).

Conforme a Figura 5, sobre o subleito é posicionado a base, a qual possui função de reservatório para as águas de infiltração, tanto como absorver os esforços. Neste processo, a camada absorve o volume infiltrado e mantém sobre o subleito de forma a garantir que o mesmo não seja sobrecarregado por grandes volumes precipitados. A camada é composta por britas com alta capacidade resistiva e sua granulometria varia conforme a capacidade drenante do

subleito, pois, como dito, o volume a ser comportado em seus vazios se baseia nessa mesma característica.

Figura 5 – Estrutura do pavimento drenante.



Fonte: Revista Técnica, Edição 190, 2012.

Acima das camadas de base e sub-base é posicionada a camada de assentamento, principal responsável pela acomodação da camada de revestimento. Esta camada é exclusiva para uso em pavimentos com revestimentos em placas e peças pré-moldadas. Sua composição é feita pela aplicação de colchão drenante com o uso de areia grossa de granulometria compatível com o sistema; a compatibilização é feita com o objetivo de garantir à camada capacidade drenante semelhante a camada superior e, ao mesmo tempo, evitar que a areia seja carregada para passagem de água e depositada nas camadas inferiores.

De mesmo modo, a camada de assentamento, quando mal construída, é responsável por um dos principais problemas que danificam a eficiência do sistema, a colmatagem. Neste caso, a areia infiltra nos poros das camadas adjacentes provocando a diminuição dos espaços vazios e reduzindo a eficiência do sistema pela queda da permeabilidade. Por isso, a escolha da granulometria é essencial para essa camada, bem como a manutenção de todo sistema durante o período de uso. A quantidade de material indesejado depositado entre os poros das camadas do pavimento não depende diretamente do volume de água, mas envolve o tipo de revestimento aplicado. O uso de granulometrias maiores e volume de vazios e material fino reduzidos, menor será a chance de ocorrência da colmatagem (ACIOLI, 2005).

Neste tipo de sistema, a eficiência é ditada pelo índice de permeabilidade do pavimento, uma vez que o escoamento superficial seja mínimo, sem a formação de lâminas d'água. Nos casos onde a infiltração seja total, deve-se garantir que a camada de base possua capacidade de

armazenamento suficiente para comportar todo o volume de chuva sobreposto sobre o pavimento, outrora, para sistemas de infiltração parcial os sistemas é necessário que sejam implantados e dimensionados corretamente, uma vez que estes colaboram com a estrutura do pavimento em seu funcionamento.

### 2.3 Métodos de medidas de desempenho da drenabilidade em blocos intertravados

Acioli (2005) realizou um estudo em um estacionamento executado sobre pavimento permeável, localizado na cidade de Porto Alegre - RS. O sistema era composto por blocos vazados, asfalto poroso e coletores secundários, conforme observado na Figura 6.

Figura 6 – Foto do pavimento visto do alto.



Fonte: Acioli, 2005.

Nas extremidades, os coletores eram responsáveis por receber as águas advindas do escoamento das áreas do redor do pavimento afim de que se infiltrasse somente o volume provido pelas chuvas. Abaixo da estrutura principal do pavimento, foi executado um reservatório constituído por brita basáltica, com a finalidade especial de ajudar os ensaios para verificação da capacidade drenante e conferir uma camada de reserva para que não se sobrecarregue o solo de subleito, optando-se, também, para a execução de dreno de fundo e extravasor. De acordo com os objetivos do trabalho de Acioli (2005), foram feitas as avaliações do desempenho hidráulico, bem como o pavimento permeável pelo ponto de vista do funcionamento por meio de medições com equipamentos instalados no reservatório, além da

verificação da integridade física, se iniciando pela necessidade de limpeza do pavimento para evitar a futura obstrução dos poros (colmatação).

A partir dos resultados obtidos pela autora, o que tange a parte a funcionalidade dos materiais, foram levantados alguns parâmetros que influenciaram diretamente no desempenho do pavimento. Devido a presença do reservatório, se tornou fácil analisar por meio do nível de água, o quanto o subleito conseguia absorver nas condições de chuvas intensas. Logo, foi observado que durante as chuvas, apenas as áreas que possuem capacidade de infiltração inferiores as intensidades de precipitação contribuíam para o escoamento superficial e essa diferença é gerada pela variação do solo, agregado a formação granulométrica e textura. (ACIOLI, 2005).

Sobretudo, relacionado a colmatação, o pavimento demonstrou sinais do processo no revestimento superficialmente, principalmente, no pavimento asfáltico. Por consequência, foi notado aumento no escoamento superficial, devido ao avanço da degradação pela obstrução dos poros (QUEIROZ, 2018). Para isso, é necessário realizar uma programação elaborada para manutenções, sendo este, um dos grandes pontos negativos desse tipo de sistema.

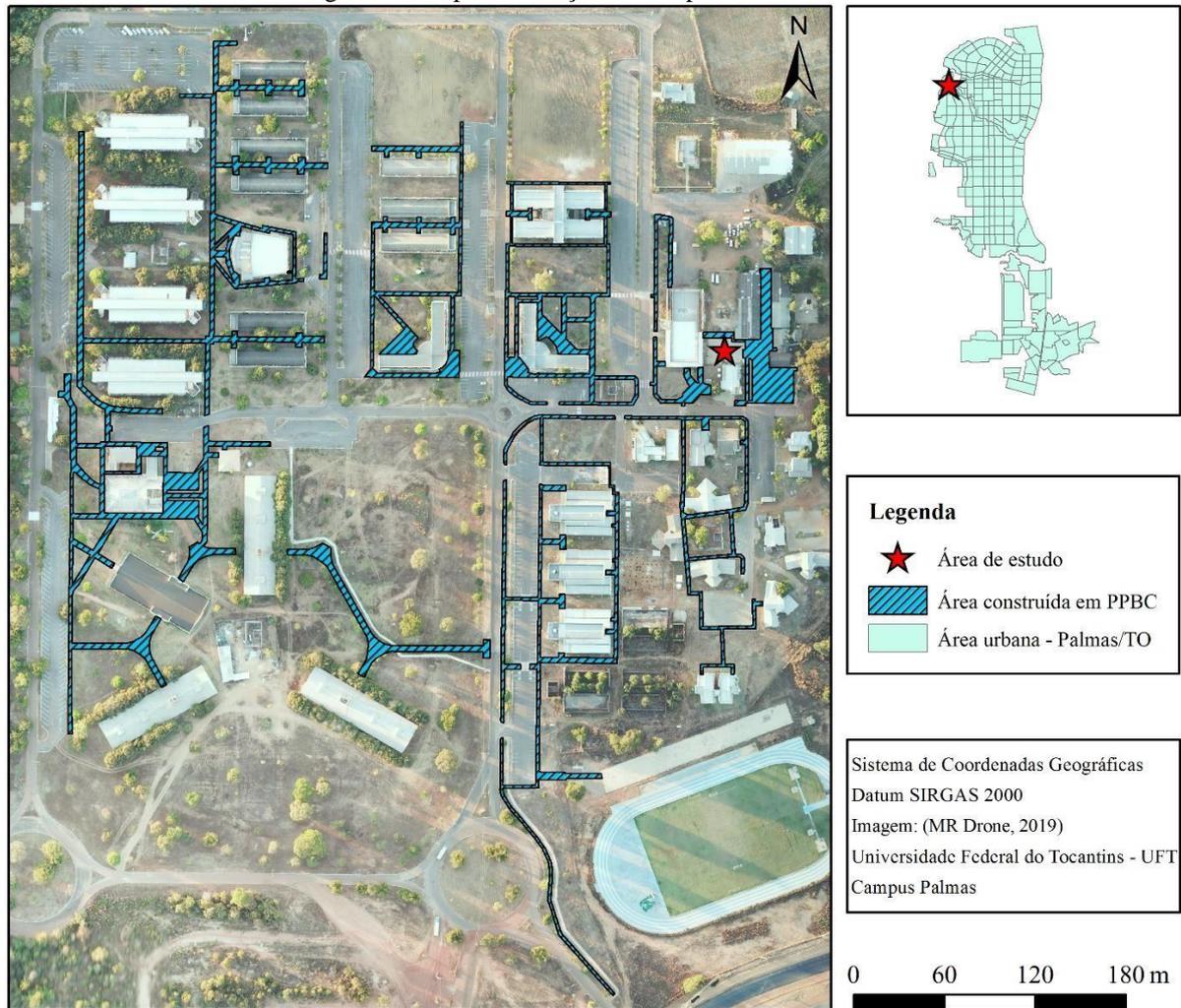
### 3 METODOLOGIA

Este capítulo é destinado ao detalhamento do processo de construção do pavimento drenante em blocos intertravados, que apresentará alta eficiência em seu desempenho. Deste modo, foram caracterizados pontos específicos da área de estudo, através de ensaios de permeabilidade, bem como a execução de ensaios para caracterização do subleito, determinados pela NBR 6457 (ABNT, 2016). A princípio, considerando a mesma estrutura do estudo realizado por Queiroz (2018), foi construído um pavimento de um metro quadrado (1,0 m x 1,0 m) cada, nas mesmas instalações, sem realizar o redimensionamento de suas camadas, objetivando avaliar a influência dos materiais no desempenho, por meio dos critérios que as normas estabelecem.

#### 3.1 Área de Estudo: Universidade Federal do Tocantins

Partindo para o local de estudo, o Campus de Palmas da UFT se encontra próxima às margens do Rio Tocantins e apresenta uma área total urbanizada de aproximadamente 372 mil m<sup>2</sup>. Possui uma grande parcela da sua área pavimentada de revestimento asfáltico, do tipo tratamento superficial e em alguns caso pré-misturado asfáltico delgado, aproximadamente 120 mil m<sup>2</sup> e 20 mil m<sup>2</sup> em estacionamento não drenantes de edificações, contando com a presença de passeios uma parte em área permeável de 232 mil m<sup>2</sup>, sendo apenas 17.507 m<sup>2</sup> em pavimento permeável, gerando uma taxa de ocupação de 37,6%, além de apenas 4,7% da área ser construída em pavimento drenante. A Figura 7 mostra um mapa do campus Palmas da UFT onde realça os locais onde se faz uso de pavimentos drenantes, sendo a área de estudo o único estacionamento executado com essa característica.

Figura 7 – Mapa de situação do campus Palmas da UFT.



Fonte: Acervo próprio.

De tal modo, cria-se o hábito de construir pavimentos permeável em blocos de concreto e, atualmente, alguns estacionamentos e áreas de passeios foram feitos sobre o sistema de blocos intertravados, entretanto, segundo com análises visuais e observações da situação durante a época de chuva, pode-se entender que os sistemas empregados não possuem características drenantes pelo fato de apresentarem baixo índice de infiltração e o aparecimento de lâminas d'água. Esses fatores podem ser justificados pela pouca ou nenhuma presença de manutenções em grande parte das calçadas.

A Figura 8 apresenta imagens retiradas no local de estudo, o estacionamento localizado atrás do Restaurante Universitário (RU) do Campus Palmas da UFT, no início do mês de outubro de 2018. Pode-se observar que o sistema está completamente ineficiente, apresentando

acúmulo de água sobre a superfície, mesmo após mais de 40 minutos uma das primeiras chuvas do final do ano, o que justifica a afirmativa sobre a problemática dos pavimentos do campus.

Figura 8 - Estacionamento do Restaurante Universitário - UFT.

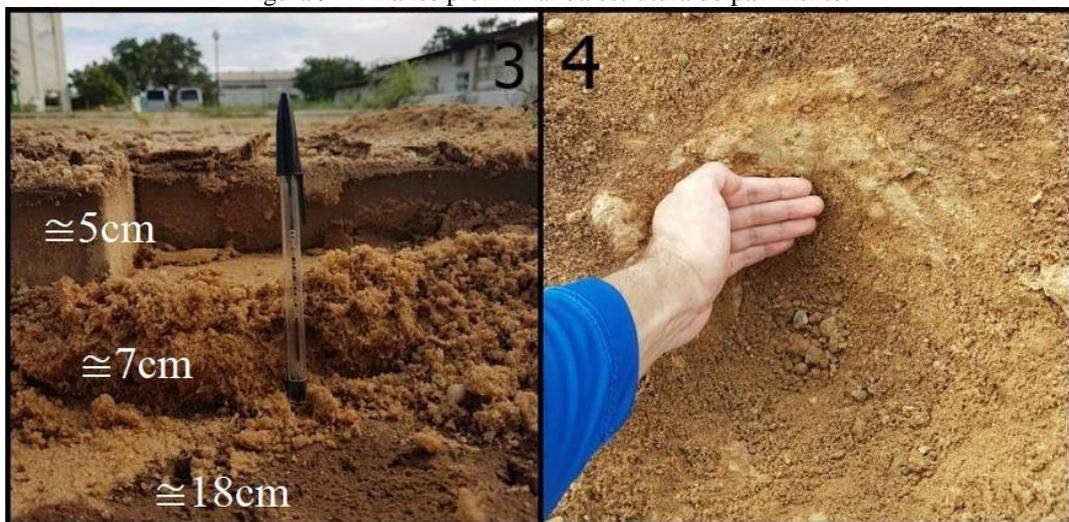


Fonte: Acervo Próprio.

Segundo Queiroz (2018), as principais causas remetem ao estado de conservação do pavimento, pela presença agravante do processo de colmatação e ausência de manutenção. Também pode ser justificado pela escolha de materiais com qualidade baixa ou características impróprias para este tipo de aplicação, situação a qual apoia-se o presente trabalho.

Dito isso, o estacionamento é revestido em blocos intertravados em formação de espinha de peixe. Queiroz (2018), em análise preliminar sobre o pavimento (Figura 9) após a desconstrução e identificou que o mesmo possuía cerca de 4 centímetros de camada de assentamento (colchão de areia) e base construída em cascalho laterítico. A estrutura apresentada difere, em alguns aspectos, dos requisitos importantes exigidos pelas normativas, dito os quais deverão ser abordados nas seções subsequentes.

Figura 9 – Análise preliminar da estrutura do pavimento.



Fonte: Adaptado de Queiroz, 2018.

### 3.2 Estudos da composição do pavimento

Durante o levantamento dos materiais a serem utilizados na construção do modelo, serão considerados as normativas NBR 16.416 (ABNT, 2015) - Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos e NBR 6457 (ABNT, 1984) - Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Desta forma, se avaliará as melhores propostas de materiais, por meio de análise das curvas granulométricas e de ensaios de permeabilidade.

Segundo a norma brasileira NBR 16.416 (ABNT, 2015), das características que definem um pavimento permeável, aquela que garante eficiência quanto a drenabilidade é o seu coeficiente de permeabilidade em valores maiores ou iguais a grandeza de  $10^{-3} \text{ m/s}$ , portanto deverão ser aplicados materiais que confirmam esta propriedade. Além disso, por se tratar de um pavimento caracterizado com tráfego leve de Volume Médio Diário (VMD) de até 400, podendo existir, ocasionalmente, o tráfego de ônibus e caminhões em número não superior a um VDM de 20, a normativa preconiza critérios referentes ao revestimento em blocos de concreto, conforme se observa na Tabela 1.

Tabela 1 – Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável.

<b>Tipo de Revestimento</b>	<b>Tipo de Solicitação</b>	<b>Espessura Mínima (mm)</b>	<b>Resistência à Compressão Característica (MPa)</b>	<b>Método de Ensaio</b>
Peças de Concreto Permeável	Tráfego de Pedestre	60,0	$\geq 20,0$	ABNT NBR 9781
	Tráfego Leve	80,0	$\geq 2,0$	

Fonte: ABNT NBR 16.416.

Mediante os critérios estabelecidos pela norma, os ensaios que devem ser prescritos para as camadas de base e sub-base, seguem conforme demonstrado nas Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2 - Especificação para o material de sub-base e/ou base.

<b>Propriedade</b>	<b>Método</b>	<b>Especificação</b>
Abrasão “Los Angeles”	ABNT NBR NM 51	$< 40 \%$
Índices de vazios	ABNT NBR NM 45	$\geq 32 \%$
Índice de suporte Califórnia (CBR)	ABNT NBR 9895	$\geq 80 \%$
Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075 mm	ABNT NBR NM 46	$\leq 2 \%$

Fonte: ABNT NBR 16.416.

Tabela 3 - Especificação para o material de assentamento.

<b>Propriedade</b>	<b>Método</b>	<b>Especificação</b>
Abrasão “Los Angeles”	ABNT NBR NM 51	< 40 %
Índices de vazios	ABNT NBR NM 45	≥ 32 %
Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075 mm	ABNT NBR NM 46	≤ 2 %
Dimensão máxima característica	ABNT NBR 7212	9,5 mm

Fonte: ABNT NBR 16.416.

Deste modo, é necessário conhecer o material o qual foi empregado no pavimento. Sendo assim, foram empregados os ensaios ditados pela NBR 6457 (ABNT, 1984) para caracterização do solo de base e assentamento.

Para a determinação da massa específica se usou como referência na norma técnica NBR 6508 (ABNT, 1984) que rege o ensaio para solos com granulometria menor que 4,75 mm – passante na peneira nº 4 -, solo fino. Outrora, a NBR 6458 (ABNT, 1984) trata do mesmo assunto para o material retido, representado por um material mais grosseiro. Este índice tem como objetivo identificar a densidade do solo nos diversos estados e condições de saturação, além de auxiliar no cálculo de outros valores importantes para a caracterização do solo.

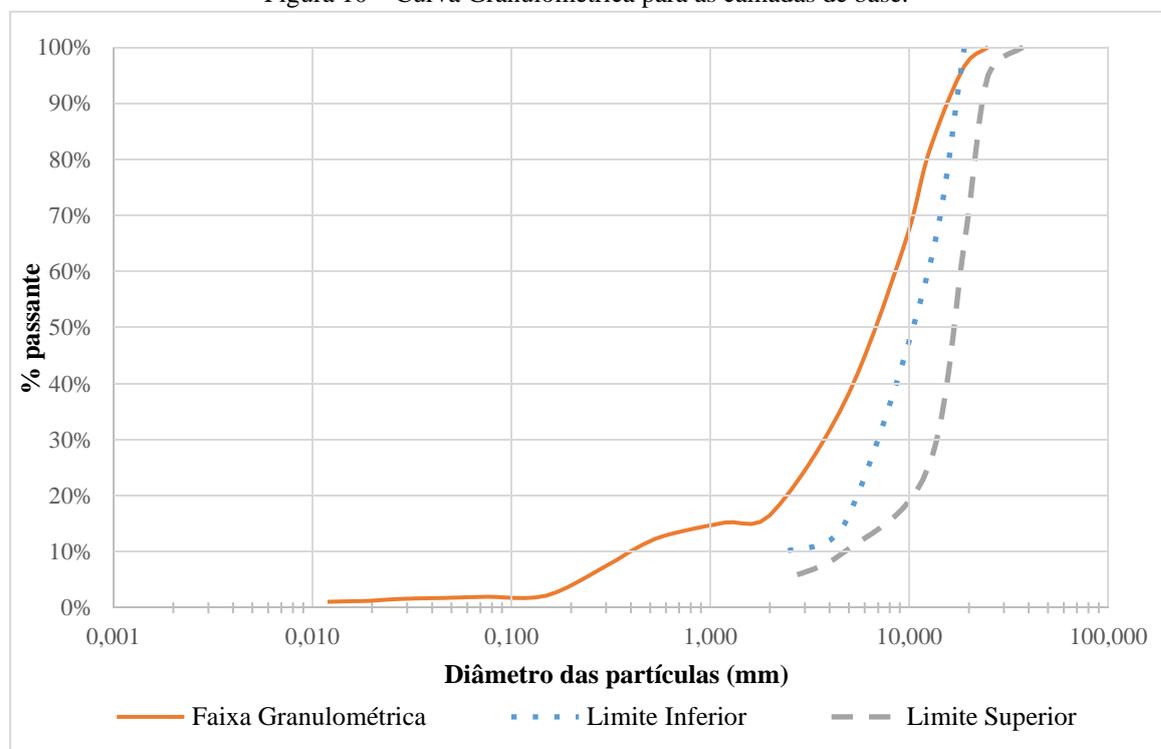
Os limites de Atterberg são índices que indicam a umidade para qual o solo entra em estado líquido ou plástico, pela alteração de sua consistência; são de extrema importância para a identificação da compatibilidade do solo com ambientes úmidos, seja presença de lençol freático aflorados ou em locais onde haja infiltração excessiva de água. As normativas que tratam desses limites são NBR 6459 (ABNT, 1984) – Limites de Liquidez (LL) e NBR 7180 (ABNT, 1984) – Limite de Plasticidade (LP).

Um dos critérios mais importantes para material de base e assentamento para pavimentos drenantes é a composição granulométrica do solo, obtida através de ensaios normatizados pela NBR 7181 (ABNT, 1984), por meio do peneiramento em série nominal para obtenção do percentual retido de material em cada peneira. O ensaio executado dividiu em dois conjuntos de peneiras, sendo estas definidas pelo peneiramento grosso – material retido na peneira de abertura 2 mm e fino – material passante na peneira de abertura 2 mm. Por fim, o ensaio de sedimentação executado para o percentual de solo passante na peneira de abertura 0,075 mm.

Também de suma importância para análise do pavimento e normatizado pela NBR NM 46 (ABNT, 2003) é a quantificação do material passante pela peneira #200 (abertura de 0,075 mm), apoiado pelo ensaio de granulometria para a obtenção da curva, é possível analisar se o problema surge a partir das partículas de espessuras menores presentes no solo, pois estas não favorecem a infiltração por se encaixarem entre as partículas maiores e impedindo a passagem da água.

Verificando o trabalho realizado por Queiroz (2018), observou-se que o pavimento demonstra diversas manifestações patológicas direcionados a escolha dos materiais de composição. Para alcançar tais resultados, o autor realizou ensaios de granulometria para as camadas de assentamento e base, conforme mostrados na Figura 10.

Figura 10 – Curva Granulométrica para as camadas de base.



Fonte: Adaptado de Queiroz, 2018 e NBR 16.416, 2015.

Os valores resultantes encontrados para material passante na peneira #200 (0,075 mm) foram de 5,39%, o qual, comparado com o valor limite dado na Tabela 2, deixa evidente que o solo não foi selecionado de forma a atender os parâmetros da norma para sua função. Em termos de classificação, o solo utilizado para a camada de base apresenta granulometria muito menor que o recomendado, conforme se observa pela diferença entre a posição das curvas bastante evidente.

Afim de se estabelecer o ponto de melhor consistência do solo, foi executado o ensaio de compactação normatizado pela NBR 7182 (ABNT, 1986). Por meio desse procedimento foi capaz de identificar o ponto onde a umidade ótima confere ao material a melhor resistência por meio do peso específico seco do mesmo. O ensaio foi realizado conforme os procedimentos da norma, com reuso de material em 2 amostras.

Após encontrada a umidade ótima, foi realizado o ensaio de CBR ou ISC (Índice de Suporte Califórnia) baseado na norma NBR 9895 (ABNT, 1987) que tem como objetivo comparar a resistência do solo com uma pedra britada padrão definida pela norma. O ensaio permite, também, identificar a expansão do material durante sua etapa de imersão. Este é um dos ensaios mais importantes quando se remete a pavimentos com alta taxa de tráfego, pois está diretamente ligado a resistência. Para o CBR são medidas deformações conferidas durante o período de ensaio, sendo que os tempos de 2 minutos e 4 minutos são usados como comparativos em relação a resistência da brita. Nesse trabalho, foi executado dois corpos de prova seguindo os requisitos da normativa de referência citada anteriormente.

Em contrapartida, para a camada de assentamento foi executado ensaio de granulometria, pois os critérios principais que a norma estabelece são diâmetro máximo característico ( $D_{cm\acute{a}x}$ ), índice de vazios e material passante na peneira com abertura de 0,075 mm ( $n^{\circ}$  200). Deve-se observar que ela indica o ensaio de abrasão *Los Angeles*, mas por ser um critério de resistência, optou-se pela não execução do mesmo.

Para o ensaio de granulometria a norma utilizada é a mesma da camada de base, bem como os procedimentos a serem utilizados para o peneiramento fino, por se tratar de um material arenoso e não haver a presença de grãos maiores. Neste mesmo ensaio, será possível identificar o  $D_{cm\acute{a}x}$  e o percentual passante na peneira  $n^{\circ}$  200, ambos usados como variáveis na execução de outros ensaios e como limites que definem indiretamente a aceitabilidade do solo ao ambiente em contato com água, pela alta densidade de partículas pequenas. Em contrapartida, o índice serve como medidor da capacidade de absorção do solo, pois o mesmo define a relação entre a massa de vazios e de sólidos presentes no estado natural.

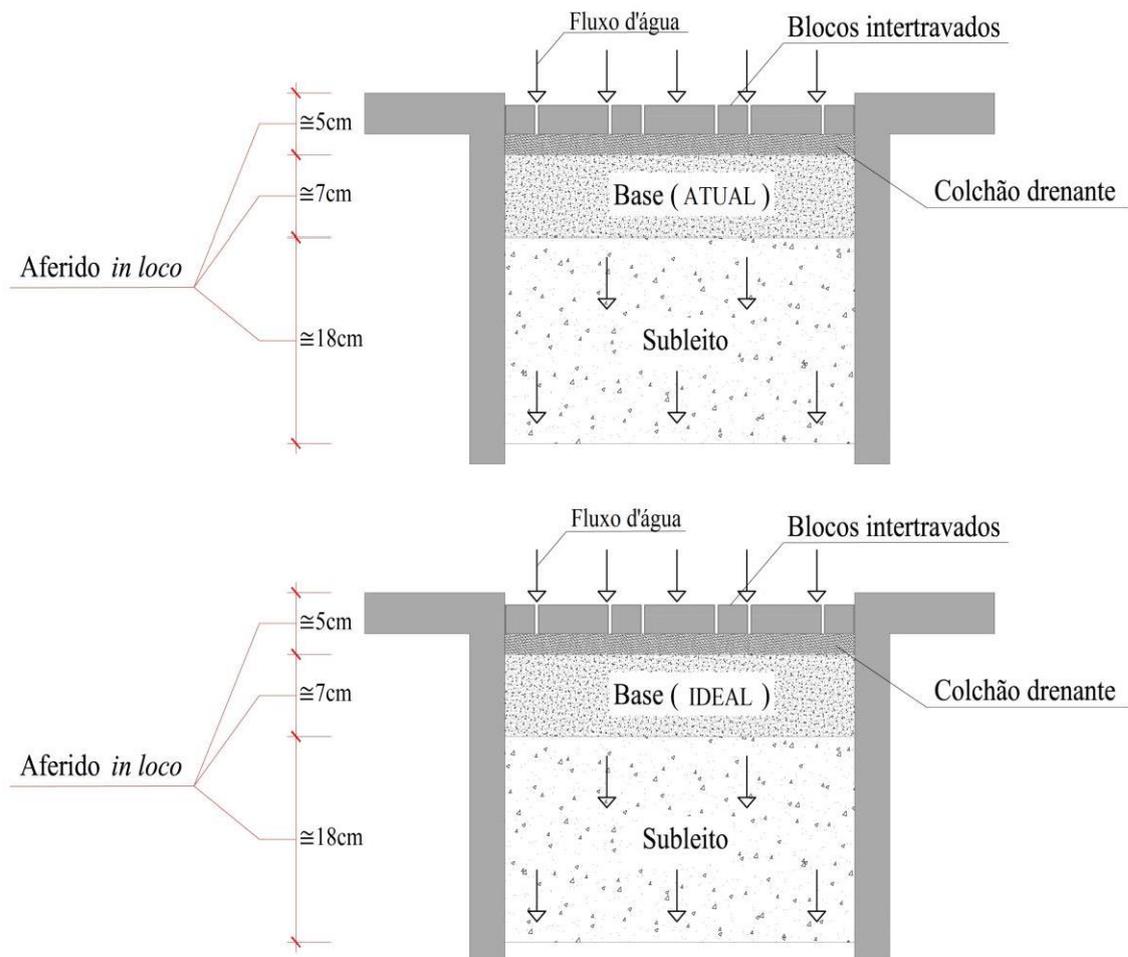
### **3.3 Aplicação da metodologia**

Nesta etapa, foi executado um modelo representativo de 1 m<sup>2</sup> no mesmo local das investigações iniciais feitas por Queiroz (2018). De tal modo, foram removidas as camadas do

pavimento até a profundidade da camada de subleito. Os parâmetros estruturais do pavimento foram mantidos afim de preservar as espessuras de camadas, assim como manter o uso dos mesmos blocos de revestimento. As principais análises para a caracterização do novo material foram feitas conforme introduzido no item 3.2 seguindo os parâmetros que as normativas determinam.

Uma vez que o pavimento apresenta diversas camadas em toda sua estrutura, foi necessário, em campo, retirar por medições e estimativas as espessuras aproximadas de cada uma delas para a construção dos pavimentos tipo. Além disso, todos os critérios que se referem as dimensões da estrutura foram preservados conforme o aferido *in loco* após investigação, uma vez que todo dimensionamento tornaria inviável a execução, devido o novo pavimento ser instalado junto ao antigo, podendo acarretar diferença de nível entre as camadas e sobressaltos no revestimento. O esquema do pavimento tipo seguiu o demonstrado na Figura 11.

Figura 11 – Representação dos modelos do pavimento *in situ* e tamanho real.



Fonte: Acervo Próprio.

Os ensaios preconizados pelas normativas de referência serviram como suporte para a escolha dos materiais a serem empregados. Logo, foram avaliadas as faixas granulométricas tanto para a camada de assentamento que compõem um colchão de areia com granulometria ideal para evitar a colmatação das peças de concreto, e a camada de base com diâmetro nominal dos grãos menores 0,075 mm em quantidade menor que 2%. As peças de concreto devem ser dimensionadas segundo os critérios da norma da ABNT NBR 9781 para pavimentos de tráfego leve do tipo estacionamento, contudo, não será feita nenhum tipo de análise que avalie a resistência dos mesmos e foram aplicados aqueles encontrados no local de estudo.

Após a execução dos ensaios para caracterização dos materiais, deu-se procedência para a execução do modelo representativo do piso intertravado sob as novas condições. Primeiramente, foram feitas análises preliminares no local de estudo para a identificação das condições geométricas do pavimento. Em campo, observou-se pedaços de calçadas de concreto que causam interferência na drenagem de forma direta, por fim, identificou de forma aproximada as dimensões das camadas, totalizando aproximadamente 5 cm para a camada de assentamento e 20 cm para camada de base, como apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Identificação visual da área de estudo.



Fonte: Acervo próprio.

Levando em consideração as análises realizadas por Queiroz (2018) relacionado aos ensaios de anéis concêntricos sobre o subleito do pavimento, fica explícito que o material não é próprio para sua função como drenante, apresentando coeficiente de permeabilidade na ordem de  $10^{-7}$ , sendo que a NBR 16416 (ABNT, 2015) recomenda índices na ordem de  $10^{-3}$ .

Diante dos resultados alcançados, deu-se início a reconstrução do pavimento, considerando a preservação das alturas das camadas, bem como o reaproveitamento das peças

de blocos de concreto. Após feito a regularização do subleito, considerou a camada de base a cada 10 cm a realização da compactação manual, bem como no acabamento da camada de assentamento para nivelamento da superfície. Os procedimentos e resultados da construção do pavimento podem ser observados na Figura 13.

Figura 13 – Reconstrução do pavimento em blocos de concreto.



Fonte: Acervo próprio.

Na primeira imagem é possível observar a aplicação de brita 1 no fundo da vala, como definido para a camada de base e, posteriormente, a aplicação de brita 0 como a segunda camada de assentamento e espera para a instalação dos blocos. Finalmente, com a estrutura do pavimento pronta, os blocos estavam aptos a serem montados, ressaltando que a forma de montagem dos blocos é a mesma do restante do pavimento: em espinha de peixe.

Ao final dos procedimentos, utilizou-se brita 0 para o preenchimento das juntas de assentamento, fazendo a seleção de diâmetros compatíveis com as aberturas, a partir desse grupo, enquanto com o auxílio de escova se encaixava os pedriscos. Nas condições atuais, o pavimento está pronto para uso e, logo, foi realizado o ensaio de drenabilidade para identificar de forma integral o funcional da estrutura por completo. Deste modo, os resultados obtidos serão comparados aos ensaios realizados por Queiroz (2018) nos demais locais do estacionamento, incluindo onde houve ocorrência de colmatação.

### 3.4 Desempenho no pavimento permeável

Uma vez que executado o modelo representativo foram realizados ensaios qualitativos os quais preconizados pela NBR 16.416 (ABNT, 2015), de forma a conferir a eficiência do

pavimento tipo. Queiroz (2018) em seu trabalho determinou pelo ensaio de infiltração que o piso possui baixo coeficiente de permeabilidade, considerando os requisitos normativos, logo, dado esse resultado, é necessário identificar quais são

Afim de explicitar o desempenho da estrutura e fazer um comparativo com o que se tem atualmente, foram executados ensaios de permeabilidade sobre os dois modelos. Além disso, foi feito o acompanhamento do desenvolvimento do processo de colmatção do revestimento, medido a partir de inspeções visuais.

Após finalizado o pavimento, foi executado o ensaio de drenabilidade para identificação do coeficiente de permeabilidade da estrutura. Os procedimentos de ensaio seguem as indicações da ASTM C1701 (2017), os quais indicam o uso de um corpo cilíndrico vedado de forma a permitir a infiltração somente de forma vertical de uma carga hidráulica.

À princípio, se realizou um ensaio de teste com um volume inicial de 3,6 litros para verificar se o tempo de infiltração seria menor que 30 segundos, com o objetivo de identificar se o processo seria rápido suficiente. Nesse caso, se o valor for superior, é possível considerar os resultados como satisfatórios, caso contrário, na obtenção de um tempo inferior, é indicado o aumento do volume ensaiado para 18 litros afim de se obter maior precisão. Sendo assim, o ensaio resultou em um tempo menor que 30 segundos, se fazendo necessário o uso do volume maior e permitindo então alcançar valores coerentes.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Nesta seção serão apresentados os resultados referentes aos procedimentos definidos anteriormente na metodologia que envolvem a caracterização dos materiais coletados em campo e a serem empregados no estudo, bem como análises ‘*in situ*’ da infiltração do pavimento existente e do modelo reformulado.

### **4.1 Análise geométrica e espacial em campo**

Durante o processo de escavação e coleta do material foram feitos estudos preliminares da estrutura, servindo como detalhamento geométrico e composição das camadas existentes, bem como identificação de problemas que vêm a influenciar na eficiência do pavimento e na procedência do trabalho. Como observado anteriormente, o pavimento apresentou elevado índice de colmatção em qual toda sua totalidade, além da presença de vegetação nas juntas de assentamento do revestimento. Além disso, durante a escavação foi identificado a presença de uma camada de concreto não prevista que embora não estivesse presente em todo o pavimento, influencia diretamente na drenabilidade do local; ressalta-se que não existem estruturas auxiliares que compõem o sistema de drenagem do local, exceto pelos coletores superficiais que conduzem as águas de uma região a outra através de um passeio.

### **4.2 Caracterização da camada de base**

Tendo como base a NBR 16416 (ABNT, 2015) – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos, foram considerados como principais os ensaios que a normativa prioriza na análise de um pavimento drenante.

Após a coleta em campo, o material foi levado ao laboratório para aplicação dos ensaios de caracterização determinados principalmente pela NBR 6457 (ABNT, 1986) – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

Em estufa, foi colocado uma parcela de solo em estado seco ao ar para a aferição da umidade higroscópica e após 24h de secagem o valor encontrado foi de 2,25%

#### 4.2.1 Massa específica e absorção do solo

Visto como um dos principais índices de um solo, a massa específica está diretamente ligada a diversos outros parâmetros, os quais serão descritos no decorrer deste trabalho. A NBR 6508 (ABNT, 1984) preconiza a divisão do solo em duas faixas granulométricas, sendo estas limitadas entre os grãos retidos e passantes na peneira de abertura nominal #4.75 mm (nº 4). Para os grãos de pedregulho retidos na peneira 4, a normativa aplicada é a NBR 6458 (ABNT, 1984).

Referente ao ensaio com grãos retidos na peneira #4.8 mm, a normativa define que as amostras devem ser definidas se baseando no diâmetro dos maiores grãos e, por conseguinte, lavadas para a remoção dos finos presentes na superfície do material e secadas em estufa durante 24h, resultando numa massa inicial de aproximadamente 2 kg em estado seco. Os procedimentos ensaiados podem ser observados na normativa gente, sendo assim, as amostras preparadas para os ensaios observados na Figura 14.

Figura 14 - Ensaio de massa específica para grãos retidos na peneira #4.75 mm



Fonte: Acervo Próprio.

Após efetuado os ensaios, os resultados obtidos são estes apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Massa específica e absorção do solo retido na 4,8 mm

Amostra 1		Amostra 2	
Massa da amostra saturada	2199,9 g	Massa da amostra saturada	2199,5 g
Massa da amostra submersa	1295,8 g	Massa da amostra submersa	1307,2 g
Massa da amostra seca	2064,9 g	Massa da amostra seca	2065,3 g
Temperatura	27,1 °C	Temperatura	27,1 °C
Massa específica dos grãos	2,68 g/cm <sup>3</sup>	Massa específica dos grãos	2,71 g/cm <sup>3</sup>
Massa específica aparente	2,28 g/cm <sup>3</sup>	Massa específica aparente	2,31 g/cm <sup>3</sup>
Absorção	6,14%	Absorção	6,10%

Fonte: Acervo próprio.

A permeabilidade do pavimento é o foco principal deste ensaio, sendo denotado pelo valor da absorção. Sendo assim, se baseando tendo em vista os critérios estabelecidos pelas ASTM C-936, a absorção está próxima aos limites superiores aceitáveis, não sendo possível identificar se esses valores influenciam na capacidade drenante do pavimento, embora os valores de massa específica indiquem um solo bastante arenoso.

De mesmo modo, o ensaio para os grãos passantes na peneira #4.8 mm foram realizados em laboratório conforme a normativa indica. O ensaio consiste na análise da densidade do material relevando os espaços vazios preenchendo-os com água a temperatura conhecida. O procedimento é realizado por meio do bombeamento à vácuo da amostra seguida por aquecimento a uma temperatura maior que 70 °C, afim de remover as bolhas de ar presente na água do picnômetro, conforme mostrado na Figura 15.

Figura 15 – Procedimento para ensaio de massa específica dos grãos de solo.



Fonte: Acervo Próprio.

Para realizar as aferições das massas, deve ser respeitado um período de resfriamento exigido em norma, afim de obter temperatura ambiente para a amostra, sendo assim, a

temperatura atual é usada para o cálculo pela aplicação da massa específica da água. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 - Massa específica dos grãos de solos

Massa de solo úmido	60 g
Massa Picnômetro + Solo + Água	690,64 g
Massa Picnômetro cheio até a marca de referência	652,34 g
Temperatura	26,0 °C
Massa específica dos grãos de solo	2,756 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Acervo próprio.

A verificação da massa específica dos grãos de solo é uma medida para verificar o tipo de material que se está lidando, permitindo então entendê-lo como um solo arenoso, confirmando os resultados obtidos anteriormente.

#### 4.2.2 Ensaios de limite de liquidez e plasticidade

Seguindo as normativas NBR 6459 (ABNT, 1984) – Limites de Liquidez (LL) e NBR 7180 (ABNT, 1984) – Limite de Plasticidade (LP), se executou os ensaios de forma a obter os limites de Atterberg. Em conformidade com análises prévias, o solo apresentava mistura de areia, o que pode ser justificado pelo processo de carregamento do material da camada de assentamento para a base e, também, pode ser uma característica do solo, uma vez que demais ensaios apontaram para estes resultados. Logo, os resultados obtidos foram nulos para ambos os limites, pois não foi capaz de determinar o estado plástico nem líquido para o solo, sendo assim, o índice de plasticidade (LL – LP) será também nulo. Os procedimentos executados estão apresentados na Figura 16.

Figura 16 – Procedimento para ensaio de limite de liquidez e plasticidade.



Fonte: Acervo Próprio.

#### 4.2.3 Análise Granulométrica

Tendo como base a NBR 16416 (ABNT, 2015), pois a mesma define os limites inferiores e superiores aceitáveis para o material de base e assentamento. Haja visto a orientação da normativa vigente, sendo esta NBR 7181 (ABNT, 1984) – Análise Granulométrica, foi preparado uma amostra de 2 kg para o peneiramento fino e grosso, juntamente ao ensaio de sedimentação.

Para o peneiramento grosso é usado o material retido na peneira nº 10 de abertura nominal 2 mm, sendo necessário a lavagem e secagem em estufa para a remoção da parte fina aderida a superfície. A série de peneiras usadas foram em milímetros 25,0, 19,0, 12,5, 9,5, 4,75 e 2,0. O percentual passante na peneira nº 10 e retido na peneira nº 200 de abertura nominal 0,075 mm é utilizado para o peneiramento fino, sendo a série de peneiras utilizadas em milímetros 1,18, 0,6, 0,425, 0,3, 0,15, 0,075. O procedimento utilizando agitador mecânico pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 – Procedimento para análise granulométrica.



Fonte: Acervo Próprio.

Na sedimentação é usado o percentual de solo passante na peneira nº 200, que representa as partículas mais finas, sendo necessário aplicação de métodos alternativos e de maior precisão. Em função disso, o ensaio apresentou resultados correspondentes ao esperado, apontando grande percentual de material particulado, conforme mostrado na Figura 18.

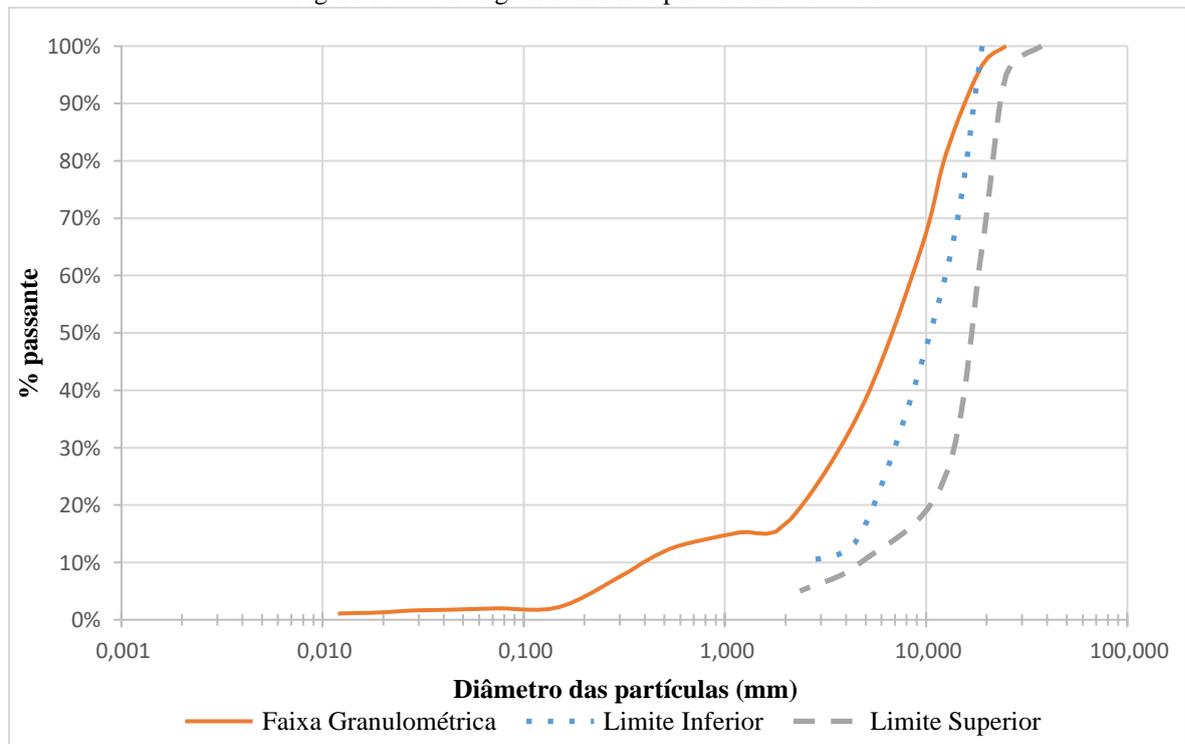
Figura 18 – Procedimento para ensaio de sedimentação.



Fonte: Acervo Próprio.

Por fim, com todas as partes componentes advindas desses ensaios é possível compor a curva granulométrica, conforme mostrado na Figura 19.

Figura 19 – Curva granulométrica para a camada de base.



Fonte: Acervo Próprio.

Conforme citado anteriormente, seguindo a normativa de referência para todos os parâmetros obteve-se os limites aceitáveis para a faixa granulométrica. Sendo assim, pode-se observar pela curva que o material para base não se encaixa nos requisitos normativos, propondo assim que a disposição granulométrica como um dos maiores problemas de funcionamento do sistema.

#### 4.2.4 Ensaio de Compactação

Seguindo a NBR 7182 (ABNT, 1986) se executou o ensaio de compactação afim de se obter a umidade ótima, valor o qual se refere ao estado de saturação onde o solo possui seu volume de vazios preenchido por água por meio da aplicação de tensões. A normativa fornece o uso de 3 energias de compactação, sendo elas normal, intermediária e modificada, sendo esta última utilizada neste trabalho. Sendo assim, foi realizada a compactação com cilindro grande com 55 golpes e 5 camadas.

Os ensaios foram feitos com reuso de material, sendo assim, preparou-se 2 amostras com aproximadamente 5 kg de solo. Feito a homogeneização para os 5 pontos de umidade: Wót. -4%, Wót. -2%, Wót presumida, Wót. +2%, Wót. +4%. O procedimento de preparação e ensaio estão ilustrados na Figura 20.

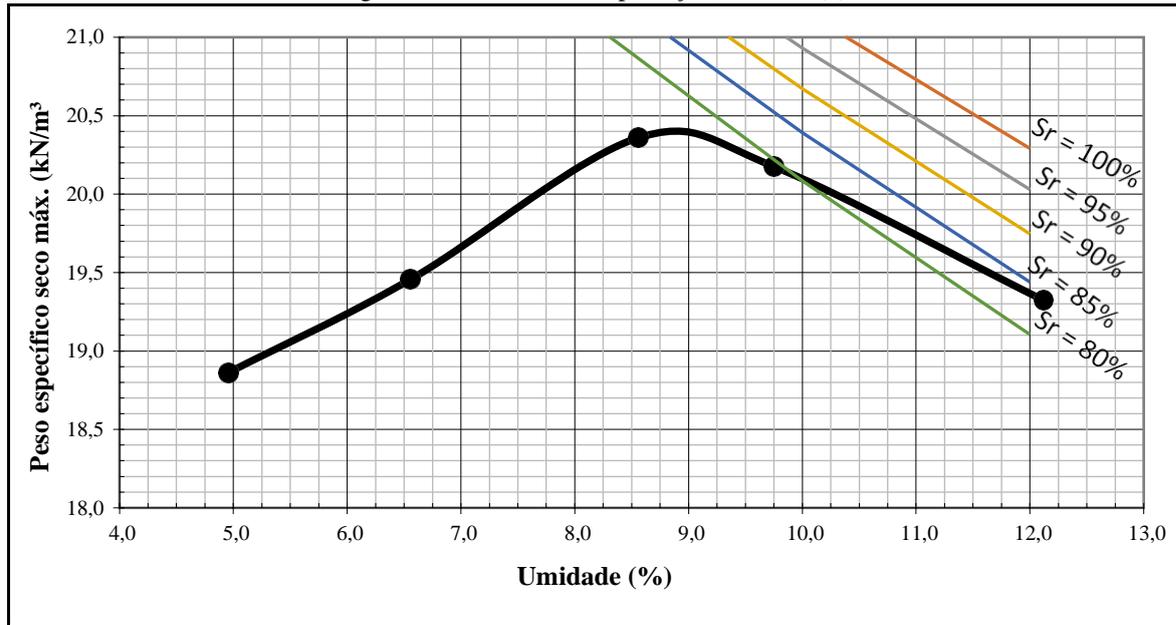
Figura 20 – Ensaio de compactação.



Fonte: Acervo Próprio.

A umidade ótima serve como parâmetro para outros ensaios, dos quais podemos citar o CBR ou ISC (Índice de Suporte Califórnia) e será apresentado posteriormente. Sendo assim, finalizados os ensaios, os resultados encontrados são apresentados na Figura 21.

Figura 21 – Curva de compactação, amostra (1).



Fonte: Acervo Próprio.

Após analisado os resultados das duas amostras a umidade ótima encontrada a partir da média foi de 8,7% que corresponde a um peso específico seco de 20,42 kN/m³. Em solos arenosos, a umidade ótima tende a ser menor pelos efeitos intensificados da poropressão aplicado em correspondência ao valor do peso específico seco máximo; inerente a isso, se pode observar que a saturação do solo se encontra abaixo de 80% nesse estado ótimo, ou seja, para altos níveis de concentração de água o solo tende a perder sua resistência de forma acentuada, sendo uma grande desvantagem para uso o qual ele está aplicado.

#### 4.2.5 ISC – Índice de Suporte Califórnia

O ensaio de CBR tem como objetivo avaliar a consistência do solo mediante a saturação do solo pelo parâmetro expansão, bem como identificar sua resistência pela aplicação de uma carga de esmagamento em compressão. Após o ensaio de compactação, foram preparadas duas amostras e homogeneizadas na umidade ótima, sendo uma das exigências normativas. Finalizada a compactação, os corpos de prova foram colocados sob imersão durante 96 horas onde se inicia a avaliação da expansão do solo. Ao final deste período, retirou-as dos tanques e colocou-as no equipamento o qual possui um pistão que tem como função aplicar uma tensão no centro da amostra que, com o decorrer do tempo, provoca uma deformação, como observado na Figura 22.

Figura 22 – Procedimento para o ensaio de CBR.



Fonte: Acervo Próprio.

Após o período de tensionamento e finalizados os ensaios, os resultados obtidos para ambas amostras são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

Expansão		CBR	
Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2
0% aos 5 dias		15,4%	17,1%
		28,9%	33,9%

Fonte: Acervo próprio.

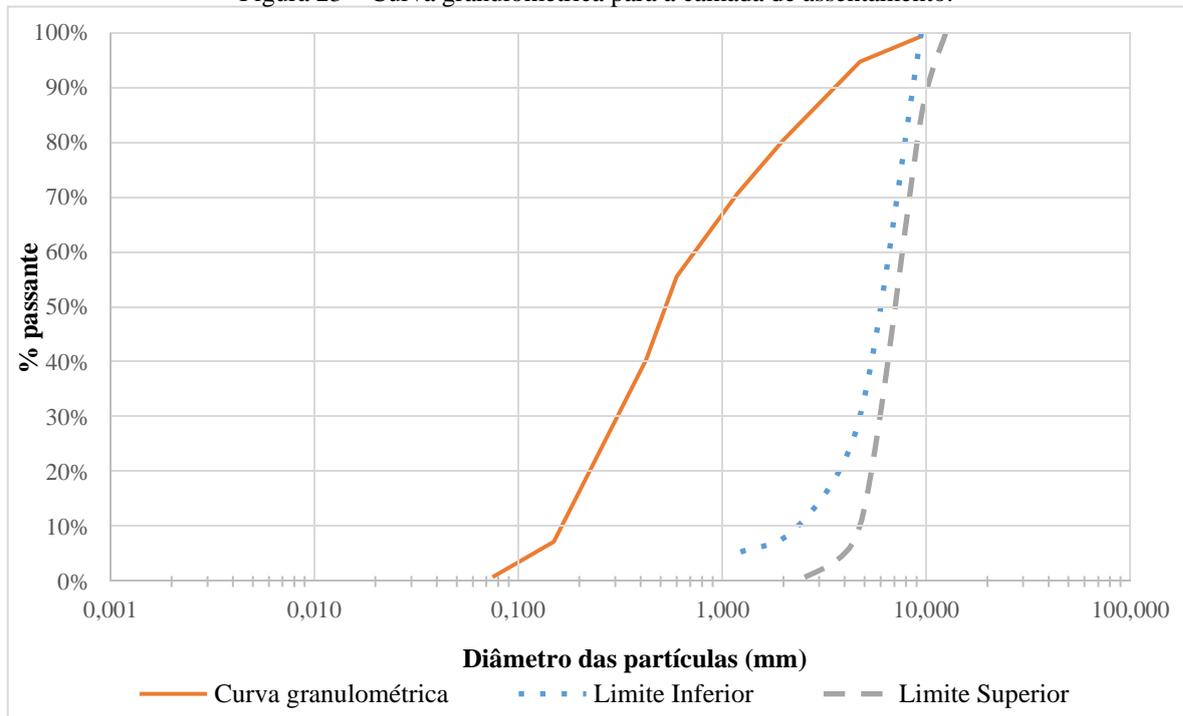
Para a expansão, o máximo indicado pela normativa é de 2% para base de pavimentos, sendo assim, o solo por apresentar uma mistura arenosa apresentou nenhuma expansão, bem como esperado. Todavia, para o CBR a NBR 16416 (ABNT, 2015) exige que seja de no mínimo 80%, sendo assim, adotando os maiores valores para ambas amostras, fica abaixo do determinado pela normativa, embora essa característica seja importante para avaliar a resistência do solo, apesar do trabalho não ter o foco nesse aspecto é válido ressaltar a sua inaptidão para uso mesmo em tráfego leve.

### 4.3 Caracterização da camada de assentamento

Como a camada de assentamento trata-se de uma areia, portanto os ensaios exigidos levam em consideração, em sua maioria, a distribuição granulométrica do material, por isso, a obtenção da curva é um dos mais importantes. Sendo assim, separou-se duas amostras de 3kg cada para a realização dos ensaios; os procedimentos seguidos estão descritos na NBR 7181 (ABNT 1984). A série de peneiras usadas foram em milímetros 9,5, 4,75, 2,0, 1,19, 0,6, 0,425,

0,15. Deste modo, os resultados foram plotados no gráfico para obtenção da curva granulométrica como mostrado na Figura 23.

Figura 23 – Curva granulométrica para a camada de assentamento.



Fonte: Acervo Próprio.

À primeira vista pode-se observar que a faixa granulométrica não é compatível com o exigido pela norma. Ainda assim, o percentual passante pela peneira de abertura 0,075 mm se deu dentro da faixa estabelecida. Contudo, em análise geral, o material se desqualifica para o seu uso, pois como já ressaltada, a distribuição dos grãos influencia diretamente na aceitabilidade do solo às exposições a chuva, sendo então necessário a aplicação de outras alternativas em sua composição.

#### 4.4 Estudo de caso com novos materiais

Mediante os resultados obtidos anteriormente, ficou explícito a necessidade de se usar novas alternativas para os materiais presentes em campo. Sendo assim, partindo-se das análises feitas e dos limites fornecidos pela norma, decidiu-se por seguir pelas faixas granulométricas que a mesma estabelece. Neste caso, para a camada de base, o material compatível seria pedra britada do tipo 1 e pedra britada tipo 0 para a camada de assentamento.

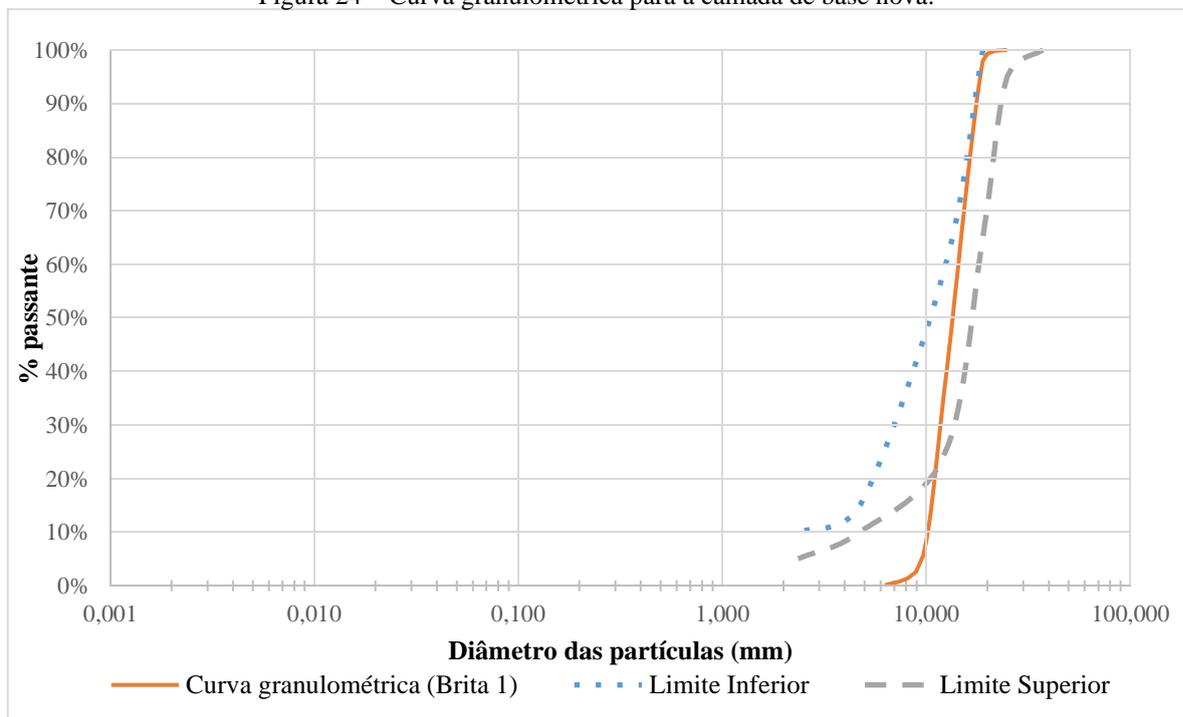
Após obter o material em uma pedreira local, deu-se início às programações de ensaio, sendo estes os essenciais exigidos pela norma, bem como alguns complementares afim de caracterizar o material.

#### 4.4.1 Ensaio de granulometria

Mesmo após identificar que a granulometria indicada pela norma se insere nos materiais já citados, decidiu-se realizar o ensaio para verificar a distribuição dos grãos. A norma que rege o ensaio para esse tipo de material é a mesma citada anteriormente e os procedimentos utilizados foram os mesmos estabelecidos por esta.

Segundo a NBR 7181 (ABNT, 1984) a massa da amostra deve ser escolhida segundo a dimensão máxima característica do agregado, logo então, para ambos os casos – brita 0 e brita 1 – a diâmetro se encaixa na primeira categoria onde  $5 \leq D \leq 25$  mm. Sendo assim, a quantidade de solo a ser usada será de 5 kg para cada amostra. Os resultados da soma da massa retida nas peneiras foram obtidos e agrupados para formação da curva granulométrica, como mostra a Figura 24.

Figura 24 – Curva granulométrica para a camada de base nova.

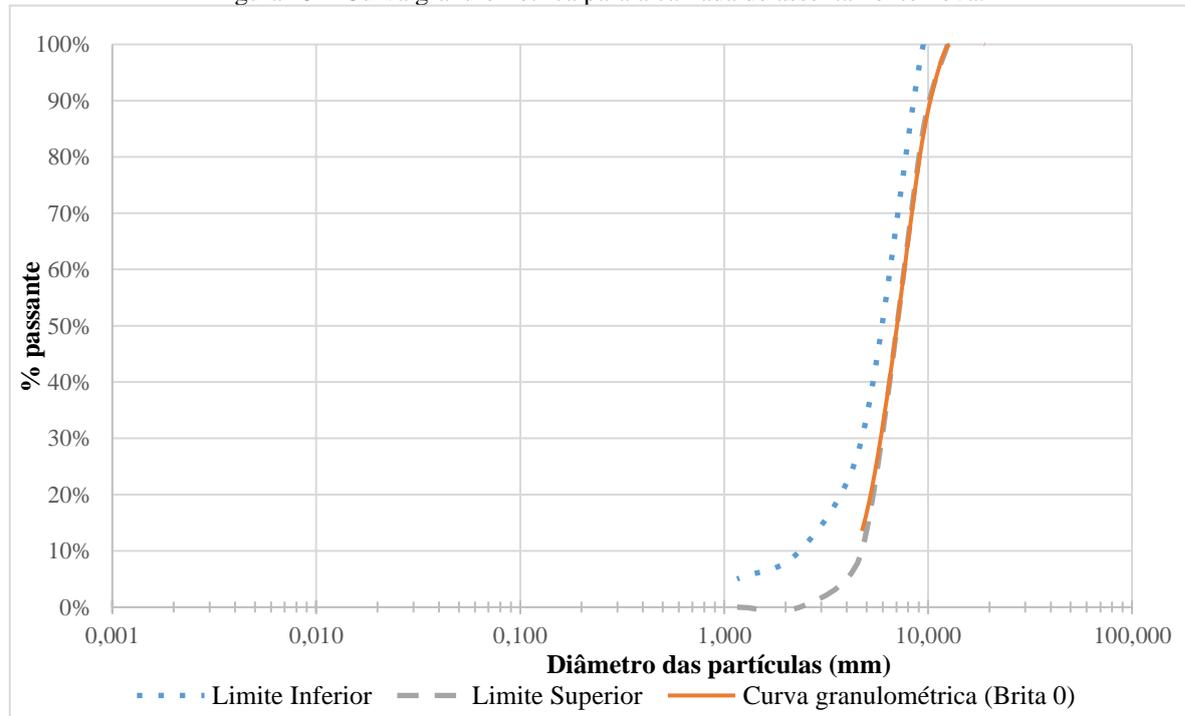


Fonte: Acervo Próprio.

Para a camada de base, a curva granulométrica apresentou sua maior parte inclusa na nos limites estabelecidos pela norma, apenas a parcela inferior da curva apresentou

homogeneidade característica da faixa da brita. Neste caso, seria necessário fazer a inserção dessa parcela na curva mesmo em pequeno percentual para a correção das proporções. O resultado do ensaio pode ser observado na Figura 25.

Figura 25 – Curva granulométrica para a camada de assentamento nova.



Observando a curva para a camada de assentamento é possível entender que o material utilizado se encaixa bem no limite superior segundo os critérios normativos. Todavia, é interessante ressaltar que o intervalo é bem menor se comparado com a base, sendo sensato considerar que a norma é bem mais rígida com essa camada.

#### 4.4.2 Massa unitária e específica

A NBR 16416 (ABNT, 2015) coloca como um dos requisitos o índice de vazios do material, sendo este um parâmetro normatizado pela NBR NM 45 (ABNT, 2006). Os ensaios necessários para o cálculo envolvem massa unitária e massa específica do agregado seco, sendo esta última normatizada pela NBR NM 52 (ABNT, 2003).

Os procedimentos para o ensaio de massa unitária consistem em analisar de forma direta o quanto de material pode ser inserido num volume conhecido. Uma vez que a norma sugere analisar o diâmetro máximo da amostra e se basear o volume a ser ensaiado, cujo valor total foi

de 10 dm<sup>3</sup> para grãos menores que 37,5 mm em ambas faixas granulométricas. Sendo assim, os procedimentos realizados e os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Ensaio de massa unitária.

BRITA 0		BRITA 1	
Massa do recipiente vazio	6,7 kg	Massa do recipiente vazio	6,7 kg
Massa do recipiente cheio	21,0 kg	Massa do recipiente cheio	21,25 kg
Volume do recipiente	10 dm <sup>3</sup>	Volume do recipiente	10 dm <sup>3</sup>
Massa unitária	1425,00 kg/m <sup>3</sup>	Massa unitária	1465,00 kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Acervo próprio.

A partir disso, partiu-se para o ensaio de massa específica o qual objetiva a análise da densidade do material considerando o preenchimento dos vazios, incluindo o preenchimento com água de forma e amostra saturada e submersa ou somente com superfície seca. Para esse ensaio foi necessário submergir a amostra por 24h afim de garanti-la o estado de saturação, após esse período, a amostra foi superficialmente seca e pesada. Logo então, a amostra é imersa em água enquanto medida sua massa, afim de aferir sua massa submersa. Por fim, levado a estufa por um dia para aferir sua massa seca. Os procedimentos e equipamentos utilizados podem ser observados na Figura 26.

Figura 26 – Ensaio de massa específica para brita 0 e 1.



Fonte: Acervo próprio.

Tendo todos os ensaios executados e com os valores das massas necessárias, calculou-se o índice de volume de vazios. Sendo assim, os resultados encontrados nos ensaios estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Ensaio de massa específica para brita 0 e 1.

BRITA 0		BRITA 1	
M. E. do agregado seco	2,568 g/cm <sup>3</sup>	M. E. do agregado seco	2,612 kg
M. E. do agregado saturado com superfície seca	2,598 g/cm <sup>3</sup>	M. E. do agregado saturado com superfície seca	2,623 kg
Massa específica aparente	2,648 g/cm <sup>3</sup>	Massa específica aparente	2,642 dm <sup>3</sup>
Absorção de água	1,2%	Absorção de água	0,4%
Índice de vazios	44,51%	Índices de vazios	43,88%

Fonte: Acervo próprio.

Segundo os critérios da NBR 16416 (ABNT, 2015), o índice de vazios das amostras deve ser superior a 32% para ambas as camadas, neste caso, os valores estão aceitáveis e dentro dos padrões normativos.

#### 4.5 Avaliação do desempenho

O ensaio segue as indicações da ASTM C1701 (2017) com o uso de um tubo com diâmetro de 300 mm e considerado o ensaio de teste para identificar o nível de infiltração do pavimento. Foi feita a vedação da base do cilindro para evitar a dispersão da água pelas laterais ou pelas deformidades das superfícies, apresentando perdas mínimas. Por conseguinte, com a aplicação da água com o auxílio de um balde, anotou-se o tempo de infiltração até as condições da superfície não apresentarem nenhuma lâmina d'água. Dito isso, os procedimentos ensaiados podem ser observados na Figura 27.

Figura 27 – Procedimento de ensaio de coeficiente de permeabilidade.



Fonte: Acervo próprio.

Seguindo os procedimentos normativos para execução e cálculo da norma foi utilizado um tubo com diâmetro de 300 mm, logo, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 9. **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 9 – Cálculo do coeficiente de permeabilidade.

Ensaio de teste		Ensaio final	
Massa de água	3,6 kg	Massa de água	18 kg
Tempo de infiltração	5 s	Tempo de infiltração	26 s
Coeficiente de permeabilidade	$1,02 \times 10^{-2}$ m/s	Coeficiente de permeabilidade	$9,79 \times 10^{-3}$ m/s

Fonte: Acervo próprio.

Os valores obtidos foram comparados com os dados apresentados na NBR 16416 (ABNT, 2015), conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Coeficientes de permeabilidade de referência.

Coeficiente em mm/h	Coeficiente em m/s	Grau de permeabilidade
> 3600	$> 10^{-3}$	Alta
3600 a 36	$10^{-3}$ a $10^{-5}$	Média
36 a 0,36	$10^{-5}$ a $10^{-7}$	Baixa
0,36 a 0,0036	$10^{-7}$ a $10^{-9}$	Muito baixa
< 0,0036	$< 10^{-9}$	Praticamente impermeável

Fonte: Acervo próprio.

## 5 CONCLUSÕES

O trabalho teve como base identificar a situação dos materiais utilizados para a construção do pavimento em blocos de concreto intertravado se guiando pelas indicações denotadas pela NBR 16416 (ABNT, 2015). Enquanto como piso drenante, pode-se observar que não cumpre com sua função devido ao grande percentual dos resultados não se apresentarem dentro dos limites sugeridos pela norma.

Em análise preliminar foi possível identificar que o pavimento apresenta diversas falhas devido à ausência de manutenções, tais como a presença de vegetação e a colmatação dos poros, sendo que estes fenômenos são grandes agentes redutores da capacidade de infiltração da

estrutura. Dito isso, a infiltração para o pavimento deve apresentar níveis aceitáveis, enquanto a NBR 16416 (ABNT, 2015) indica valores  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  m/s .

Apesar das condições desfavoráveis do subleito, podemos observar que o material escolhido para a execução do modelo representativo, embora tenha se aproximado dos limites ao que tange a granulometria, se encaixaram bem no que a norma exige como apresentado pelo ensaio de drenabilidade. Mediante os resultados, pode se justificar os problemas no pavimento pela má distribuição granulométrica, sendo a principal causa da colmatção e da ocorrência de carreamento de material entre as camadas.

Por meio dos ensaios de caracterização foi possível identificar que o solo que compõe possui um grande percentual de sua formação em forma de areia, seja pelo carreamento das partículas dispostas na camada de assentamento ou pela própria característica do material. Em consequência disso, apesar de ser possível identificar que o mesmo não apresentava boas condições em estado próximo a índices elevados de saturação, o índice de absorção encontrado foi aceitável. Contudo, devido à alta presença de partículas finas no material, a capacidade de infiltração se tornou bastante reduzida, o qual associado ao processo de colmatção geraram baixos coeficientes de permeabilidade entre a faixa de  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$  m/s.

Foi visto que conforme executado o pavimento, o mesmo apresentou um bom desempenho baseado na capacidade de infiltração. Conforme ensaiado, o uso dos materiais que a norma sugere foi possível identificar valores na ordem de  $10^{-3}$  m/s, classificado como alta infiltração. Vale ressaltar que no trabalho não houve redimensionamento das camadas, o que deveria favorecer mais ainda no processo de infiltração, devido a adequação das alturas das camadas, além de ser possível utilizar métodos complementares que contribuam para o incremento na drenagem da estrutura.

Tendo por base, o vasto nível tecnológico que encontrado na construção civil, o uso de mecanismos complementares traria ao uso de pavimentos drenantes em blocos intertravados um cenário mais eficiente. O que acontece na maioria dos casos é a implantação desse sistema de forma despreocupada, sem a devida avaliação técnica e, principalmente, a aplicação de baixos orçamentos. Pode ser um problema considerar que as estruturas em questão podem ser úteis e baratas ao mesmo tempo, embora a real vantagem seria o custo-benefício e planejamento de sua instalação, se fazem necessárias avaliações, pensando em viabilizar a sua execução.

## **5.1 Sugestão para trabalhos futuros**

Com o objetivo de salientar a viabilidade do uso do sistema de pavimento permeável em blocos de concreto, é interessante se fazer avaliações orçamentárias quando comparado a outras estruturas de drenagem, incluindo calhas, coletores pluviais, redes de drenagem, etc., ferramentas aos quais aparentam ser vantajosas em situações em maior escala de trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLI, Laura Albuquerque. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle na fonte do escoamento superficial**. 2005. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

ARAÚJO, Paulo Roberto. de; TUCCI, Carlos E. M.; GOLDENFUM, Joel A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 1-9, set. 2000. Disponível em: <<http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/avaliacao-da-eficiencia-dos-pavimentos-na-reducao-de-escoamento-superficial.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

American Society for Testing and Materials (ASTM). **Standard test method for infiltration rate of in place pervious concrete**. United States, 2017. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1986. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4.8 mm. Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção da água**. Rio de Janeiro, 1984. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 1984. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508: Grãos de solo que passam na peneira de 4.8 mm- determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 1984. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 1984. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 1986. 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9284: Equipamento Urbano**. Rio de Janeiro, 1986. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação**. Rio de Janeiro, 2013. 21 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 51: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003. 19 p.

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

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. 2005. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH. 266p.

BOLDRIN, Rodrigo Süzes. **Avaliação de cenários de inundações urbanas a partir de medidas não-estruturais de controle**: Trecho da Bacia do Córrego do Gregório, São Paulo - SP. 2005. 220 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CASTRO, André Souza. **Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano**. 2011. 161 p. Tese (Recursos hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. 1. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/55975>>. Acesso em: 07 dez. 2018.

CIRIA, 1996. Infiltration drainage – Manual of good practice. CIRIA – Construction Industry Research and Information Association – Report 156.

DEÁK, Csaba; SCHIFFER, Sueli Ramos (Org.). **O processo de urbanização no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999. 328 p. v. 1.

DISTRICT DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT. Watershed Protection Division. **Stormwater Management Guidebook**. 1. ed. Ellicott City: Sherry Schwechten, 2013. 336 p. Disponível em: <[https://doee.dc.gov/sites/default/files/dc/sites/ddoe/page\\_content/attachments/FinalGuidebook\\_changes%20accepted\\_Chapters%201-7\\_07\\_29\\_2013\\_compressed.pdf](https://doee.dc.gov/sites/default/files/dc/sites/ddoe/page_content/attachments/FinalGuidebook_changes%20accepted_Chapters%201-7_07_29_2013_compressed.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2018.

FILHO, Alceu Gomes de Andrade; SZÉLIGA, Marcos Rogério; ENOMOTO, Carolina Ferreira. **Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas**. São Paulo, 2000. 22 p. Disponível em: <[http://ri.uepg.br/riuepg/bitstream/handle/123456789/646/ARTIGO\\_EstudoMedidasN%C3%A3o.pdf?sequence=1](http://ri.uepg.br/riuepg/bitstream/handle/123456789/646/ARTIGO_EstudoMedidasN%C3%A3o.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 05 dez. 2018.

GODINHO, Dalter Pacheco. **Pavimento Intertravado: uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade**. 2009. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MMMD-8PDFFY/disserta\\_o\\_dalter.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MMMD-8PDFFY/disserta_o_dalter.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 24 out. 2018

Marchioni, M. S.; Silva C. O. (2013) **Método de ensaio para avaliação de pavimento permeável executado**. In: Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto, Gramado.

OLIVEIRA, R. C. (1998). **Medidas não estruturais na Prevenção e Controle de Enchentes em Áreas Urbanas como Subsídios para o Planejamento de Uso e Ocupação do Solo: Estudo de Caso: Bacia do Córrego do Gregório, São Paulo/SP**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo.

ONO, Bruno Watanabe . BALBO, José Tadeu; CARGNIN, Andréia Posser. **Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado**. ANPET - Agência Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte, São Paulo, p. 1-12, out. 2017. Disponível em: <<http://DOI:10.14295/transportes.v25i3.1314>>. Acesso em: 09 dez. 2018.

PINTO, Liliane Lopes Costa Alves. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. doi:10.11606/T.3.2011.tde-31082011-160233. Acesso em: 05 dez. 2018..

PREFEITURA DE PALMAS. **Revisão do plano diretor participativo de Palmas-TO:** relatório técnico final. Palmas, 109p, 2017. Relatório.

PREFEITURA DE PALMAS. **Revisão do plano diretor participativo de Palmas-TO:** diagnóstico municipal preliminar. Palmas, 251p, 2017. Relatório.

QUEIROZ, Marcos Vinicius de Souza. **Avaliação de desempenho de pavimento permeável utilizado em bolsões de estacionamento.** 2018. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2018.

**Sistemas Construtivos:** Pavimentos de concreto permeável. (2012). Revista Técnica, 3.

SHEAFFER, J. R.; WRIGHT, K. R. Urban storm drainage management. New York, Marcel Dekker, Inc., 1982.

SCHUELER, T., 1987. Controlling Urban Runoff. A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs.

TUCCI, Carlos E. M.. Águas urbanas. **Estud. av.**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010340142008000200007&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142008000200007&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em 05 out. 2018. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>>.

TUCCI, Carlos. E. M.; GENZ, F. 1995. **Controle de Impacto de Urbanização.** In: TUCCI, C. E. M. PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (organizadores). Drenagem Urbana. ABRH. Editora da Universidade . UFRGS. Porto Alegre.

UNHSC, (2011). University of New Hampshire Stormwater Center. **Porous Pavement Routine Maintenance Guidance and Checklist.** Acesso em 13 de jan. 2018, em <<http://www.unh.edu/unhsc/specs-and-fact-sheets-0>>.

URBONAS, B. e STAHR, P. 1993. Stormwater Best Management Practices and Detention, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.