



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

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

Jezimária Silva Lima

**PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO PERMEÁVEL: Estudo de Drenagem das Águas
Pluviais no Trecho da Avenida Teotônio Segurado Entre a LO 13 e LO 15**

Palmas – TO

2018

Jezimária Silva Lima

PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO PERMEÁVEL: Estudo de Drenagem das Águas Pluviais no Trecho da Avenida Teotônio Segurado Entre a LO 13 e LO 15.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior.

Palmas – TO

2018

Jezimária Silva Lima

PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO PERMEÁVEL: Estudo de Drenagem das Águas Pluviais no Trecho da Avenida Teotônio Segurado Entre a LO 13 e LO 15.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Msc. Edivaldo Alves dos Santos

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Msc. Carlos Spartacus Oliveira

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

Dedico este trabalho aos 3 maiores engenheiros que conheci: Deus por arquitetar o universo com toda sua engenhosidade e perfeição de detalhes, e aos meus pais, José Bezerra Lima e Maria das Graças Silva Lima, por tomarem sempre as decisões mais oportunas diante das maiores impossibilidades da vida.

AGRADECIMENTOS

Meus mais sinceros agradecimentos à Deus, aos meus pais, ao meu orientador Fernando Moreno que com toda paciência e competência agregou importantes valores não apenas como orientador, profissional e professor durante o curso, mas também como pessoa. Aos professores Carlos Spartacus e Edivaldo Alves por me auxiliarem de maneira eficaz e enriquecedora para a conclusão deste trabalho e aos meus amigos Heleno Bucar e Franciele Sampaio os quais se fizeram presentes e dispostos no momento mais oportuno.

RESUMO

LIMA, Jezimária Silva. **Pavimentação em concreto permeável: estudo de drenagem das águas pluviais no trecho da avenida Teotônio Segurado entre a LO13 e LO15**. 2018. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de graduação em Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

O presente trabalho discute a utilização do pavimento de concreto permeável como ação mitigadora na redução do acúmulo de água em um trecho da Avenida Teotônio Segurado interceptado pelas avenidas LO 13 e LO 15, localizado na cidade de Palmas/TO. Tendo em vista que o planejamento da drenagem urbana não conseguiu acompanhar o crescimento demográfico e o crescente número de áreas impermeáveis, e tem sido ineficiente em decorrência da falta de visão conjunta gerando um descontrole no escoamento de águas pluviais, em setores urbanos, como afirma Canhole (2015). Diante disso, foi feito um estudo com abordagem qualitativa, utilizando como parâmetro o PCA 1984, encontrado no manual do DNIT (2006) (Portland Cement Association) onde foi dimensionado o pavimento com reservatório granular. O pavimento obteve 25cm de camada de cimento, 40 cm de sub-base que também é o reservatório, o reservatório possui uma capacidade de 206,05mm por unidade de área e um tempo de esvaziamento de 40,07 h, valores dentro dos previstos no método supracitado.

Palavras-chave: Pavimento, permeável, drenagem.

ABSTRACT

LIMA, Jezimária Silva. **Paving in permeable concrete: study of drainage of rainwater in the section of Teotônio Segurado Avenue between LO13 and LO15.** 2018. 73 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Undergraduate Course in Civil Engineering, University Center Luterano de Palmas, Palmas / TO, 2018.

The present work discusses the use of permeable concrete pavement as a mitigating action to reduce water accumulation in a stretch of Avenida Teotônio Segurado intersected by the avenues LO 13 and LO 15, located in the city of Palmas / TO. Considering that urban drainage planning has not been able to keep pace with population growth and the increasing number of impermeable areas, it has been inefficient due to the lack of joint vision generating a lack of rainwater flow in urban areas, as Canhole (2015). Therefore, a study with a qualitative-quantitative approach was carried out, using as parameter the PCA 1984, found in the DNIT (Portland Cement Association) manual where the granular reservoir floor was dimensioned. The pavement obtained 25cm of cement layer, 40cm of sub-base that is also the reservoir, the reservoir has a capacity of 206,05mm per unit area and a drainage time of 40,07h, values within those provided in the method.

Key words: Pavement, permeable, drainage.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Ciclo Hidrológico | 15 |
| Figura 2: Normais de chuva máxima e normais de precipitação mensal..... | 16 |
| Figura 3 - ambiente natural com alta permeabilidade | 17 |
| Figura 4 - ambiente com alto grau de impermeabilidade..... | 18 |
| Figura 5 - Córregos Urbanos da região do município de Palmas..... | 19 |
| Figura 6 - pavimento flexível..... | 20 |
| Figura 7 - pavimento rígido. | 21 |
| Figura 8 - Pavimento de Concreto Permeável, com peças moldadas no local..... | 22 |
| Figura 9 - Pavimentos com reservatórios estruturais | 23 |
| Figura 10 - Pavimento Dividido em células, para declividades acentuadas..... | 24 |
| Figura 11 - Pavimento de concreto permeável, graduação uniforme. | 26 |
| Figura 12 - Avenida Teotônio Segurado, intersecção entre os trechos LO 13 e LO 15. | 29 |
| Figura 13 - Trecho entre LO 13 e LO 15..... | 30 |
| Figura 14 - Pavimento permeável sem infiltração. | 31 |
| Figura 15 - Exemplo de cálculo de eixos totais por classe de carga. | 33 |
| Figura 16 - análise do fator de fadiga..... | 34 |
| Figura 17 - ábaco para análise do fator de erosão | 35 |
| Figura 18 - Aumento de K devido à presença de base granular | 36 |
| Figura 19 - precipitações máximas para os períodos de retorno escolhido. | 37 |
| Figura 20 - tabela de coeficiente de permeabilidade (k) | 39 |
| Figura 21 - vazões e seção plena dos tubos..... | 40 |
| Figura 22 - Afundamento com trincas | 42 |
| Figura 23 - Trincas “ couro de jacaré” | 42 |
| Figura 24 - Afundamento com levantamento lateral | 43 |
| Figura 25 - desgaste | 43 |
| Figura 26 - Representação das áreas de contribuição..... | 45 |
| Figura 27 - resultado do ensaio ISC..... | 46 |
| Figura 28 - horários de levantamento do tráfego | 46 |
| Figura 29 - Fluxo de tráfego..... | 47 |
| Figura 30 - Quadro para dimensionamento do pavimento rígido | 48 |
| Figura 31 - ábaco para obtenção do coeficiente K..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Figura 32 - Ábaco para a obtenção do número de repetições admissível | 50 |
| Figura 33 - Tensão equivalente para eixos simples e tandem duplo..... | 51 |
| Figura 34 - fator de erosão para eixo simples e tandem duplo..... | 52 |
| Figura 35 - estrutura do pavimento rígido..... | 53 |
| Figura 36 - Ensaio de permeabilidade para pavimento de concreto permeável..... | 54 |
| Figura 37 - Perfil longitudinal do reservatório. | 58 |
| Figura 38 - tabela de coeficiente de permeabilidade (k) | 58 |
| Figura 39 - vazões e seção plena dos tubos..... | 59 |
| Figura 40 - Detalhamento do dreno..... | 60 |
| Figura 41 - Detalhamento dos drenos e da vala..... | 61 |
| Figura 42 - Detalhamento dos drenos..... | 62 |
| Figura 43 - perfil transversal do pavimento com os drenos | 63 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Granulometria da brita utilizada no pavimento. | 56 |
|---|----|

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA | 12 |
| 1.2 HIPÓTESES | 12 |
| 1.3 OBJETIVOS | 12 |
| 1.3.1 Objetivo Geral | 12 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 12 |
| 1.4 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO | 12 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1 O CONCEITO DE DRENAGEM URBANA | 14 |
| 2.1.1 O Crescimento da Urbanização e seus Efeitos na Drenagem | 14 |
| 2.1.2 Escoamento Superficial | 16 |
| 2.1.3 Drenagem Urbana em Palmas – TO | 18 |
| 2.2. PAVIMENTAÇÃO | 19 |
| 2.2.1. Classificação do pavimento | 19 |
| 2.2.2 pavimentos permeáveis | 21 |
| 2.2.3 Pavimento Permeável com Reservatório | 22 |
| 2.3 PAVIMENTO EM CONCRETO | 25 |
| 2.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO | 26 |
| 2.5 CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO | 27 |
| 2.6 PERMEABILIDADE | 28 |
| 3 METODOLOGIA | 29 |
| 3.1 TIPO DE ESTUDO | 29 |
| 3.2 LOCAL E PERÍODO DA REALIZAÇÃO DA PESQUISA | 29 |
| 3.3 OBJETO DE ESTUDO | 29 |
| 3.4 Critérios para Inclusão e Exclusão | 30 |
| 3.5 Instrumentos para coleta de dados | 30 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 41 |
| 4.1 ESTUDO DA ÁREA PROPOSTA | 41 |
| 4.2 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO | 44 |
| 4.2.1 TRECHO ESCOLHIDO | 44 |
| 4.2.2 INSTRUMENTOS PARA COLETA DE DADOS | 44 |
| 4.2.2.1 Áreas de contribuição | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.2.2 Caracterização do solo | 45 |
| 4.2.2.3 Caracterização do tráfego..... | 46 |
| 4.2.2.4 Declividade do pavimento | 54 |
| 4.2.2.4 Dados climatológicos | 55 |
| 4.3 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO RESERVATÓRIO | 55 |
| 4.3.1 Chuva de projeto | 55 |
| 4.3.2 Camada do reservatório..... | 55 |
| 4.3.3DIMENSIONAMENTO DOS DRENOS DE COLETA..... | 58 |
| 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 64 |
| REFERÊNCIAS | 66 |

1 INTRODUÇÃO

Devido ao grande crescimento demográfico na maioria das cidades do país, houve concomitantemente um avanço do desenvolvimento físico, no entanto, tal desenvolvimento não conseguiu acompanhar o aquecimento populacional, trazendo consigo consequências desagradáveis.

Um desses problemas diz respeito à drenagem em vias urbanas, pois devido ao aumento de áreas impermeáveis a água da chuva não consegue escoar corretamente, gerando assim alagamentos, hidroplanagem e causando transtornos no trânsito.

Segundo Canhole (2015), o planejamento da drenagem urbana não conseguiu acompanhar esse crescimento e tem sido ineficiente em decorrência da falta de visão conjunta gerando um descontrole no escoamento de águas pluviais, em setores urbanos. Canhole (2015) destaca ainda, a urgência em delinear medidas preventivas, nos locais onde houver possibilidade, e de correção, onde o problema estiver instalado.

Levando em consideração essa realidade da dificuldade de se desenvolver um plano diretor de drenagem que seja eficiente, torna-se facilmente visível a necessidade de se discutir medidas tratativas que possam amenizar os efeitos do acúmulo de águas pluviais em vias urbanas.

Com a finalidade de reduzir tais eventos, percebeu-se o aumento de investimentos e pesquisas nessa área, onde foi salientada a importância de se projetar pavimentos permeáveis que sejam capazes de reduzir as lâminas de água, que escoam pela superfície do pavimento.

O pavimento permeável entra como uma solução para os excessos de água, pois como relata Lamb (2014), um dos maiores benefícios desse tipo de pavimento é a significativa melhoria para os impactos causados pelas enxurradas urbanas, permitindo maior infiltração desse volume de água para o subsolo.

Esse volume de água pluvial, que não consegue escoar rapidamente, causa transtornos no trânsito, no entanto, este pode ser direcionado para outro tipo de uso, como irrigação dos canteiros centrais, fins de esgoto, melhorando também, o problema dos alagamentos nas vias.

Este trabalho tem como objetivo principal utilizar o pavimento em concreto permeável para fazer um estudo da drenagem e reutilização das águas pluviais no trecho que tangencia a LO 13 e LO 15, da avenida Teotônio Segurado.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O pavimento permeável entra como uma solução para os excessos de água, pois como relata Lamb (2014), um dos maiores benefícios desse tipo de pavimento é a significativa melhoria para os impactos causados pelas enxurradas urbanas, permitindo maior infiltração desse volume de água para o subsolo. Dessa forma, como o pavimento de concreto permeável pode contribuir para a redução da lâmina de água em trechos de alagamentos em vias urbanas?

1.2 HIPÓTESES

1 - O Pavimento de Concreto Permeável é benéfico em qualquer tipo de precipitação no Segmento da Avenida Teotônio Segurado interceptado pelas Avenidas LO 13 e LO 15.

2 - Tal pavimento é benéfico até atingir sua capacidade de deflúvio;

3 - Ruim, pois a quantidade de água drenada não é o suficiente para uma reutilização de água.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Utilizar o pavimento em concreto permeável para fazer um estudo da drenagem e reutilização das águas pluviais no trecho que tangencia a LO 13 e LO 15, da avenida Teotônio Segurado.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar Estudo preliminar da via a ser dimensionada apresentando as manifestações patológicas;
- Dimensionar pavimento em concreto permeável para trecho da avenida Teotônio Segurado interceptado pelas avenidas LO 13 e LO 15;
- Dimensionar reservatório para armazenamento das águas pluviais absorvidas pela chuva.

1.4 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017), a cidade de Palmas tem uma média máxima de precipitação de 100mm média dos últimos 6 anos.

Tal volume de água associado com o processo de urbanização acelerado e a falta de planejamentos eficientes tem aumentado problemas relacionados a inundações nas vias urbanas provocando um superávit nos níveis de cheia, gerando um fenômeno agravante do trânsito chamado hidroplanagem, afirma Brasil (2014),

De acordo com Trepado (2013, apud ROSSO E ARNS 2017), a hidroplanagem, também denominada de aquaplanagem advém da ausência do atrito do pneu do carro com o pavimento. Em algumas situações tal fenômeno pode ser nocivo, pois acarreta maiores índices de acidentes.

Não obstante, causa transtornos em algumas partes das vias em decorrência do acúmulo de água, por ineficiência do sistema de drenagem local, resultando em alagamentos.

O pavimento permeável entra como uma solução para os excessos de água, pois como relata Lamb (2014), um dos maiores benefícios desse tipo de pavimento é a significativa melhoria para os impactos causados pelas enxurradas urbanas, permitindo maior infiltração desse volume de água para o subsolo.

Esse volume de água pluvial, que não consegue escoar rapidamente, causa transtornos no trânsito, no entanto, este pode ser direcionado para a rede de drenagem local através de drenos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O CONCEITO DE DRENAGEM URBANA

O conjunto sistêmico e estrutural que visa manejar, monitorar e controlar o fluxo e os caudais das águas, dentro da cidade, de acordo com Ponte et al. (2014), chama-se drenagem urbana, funcionando de maneira interligada pelos vasos comunicantes e se relacionando diretamente com as declividades, áreas de permeabilidade e impermeabilidade.

Concordando com esse conceito, Brasil (2016) afirma que os planos de drenagem urbana objetiva escoar água pluvial, de maneira ágil, para fora da área projetada para que sejam evitadas inundações em áreas de jusante.

A Constituição Federal Brasil (2007) estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico através da Lei Nº 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007, no capítulo 1 dos princípios fundamentais no Art. 3º inciso primeiro que fala do saneamento básico como sendo um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de diferentes áreas, onde na alínea d é feita uma ressalva:

[...] drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas. (BRASIL 2007)

2.1.1 O Crescimento da Urbanização e seus Efeitos na Drenagem

Celeridade e magnitude, desde o século passado, tem marcado o processo de urbanização, sendo influenciado preponderantemente pela queda da supremacia agrícola, o que impactou sobremaneira a indústria nacional, provocando as migrações rural-urbana. Dessa forma, mudanças na saúde e saneamento reduziram a mortalidade, iniciando, assim, um crescimento significativo, condicionando o ritmo e a configuração urbanística. (MARTINE et.al., 2016).

No entanto, segundo Canhole (2015), o planejamento da drenagem urbana não conseguiu acompanhar esse crescimento e tem sido ineficiente em decorrência da falta de visão conjunta gerando um descontrole no escoamento de águas pluviais, em setores urbanos. Canhole (2015) destaca ainda, a urgência em delinear medidas preventivas, nos locais onde houver possibilidade, e de correção, onde o problema estiver instalado.

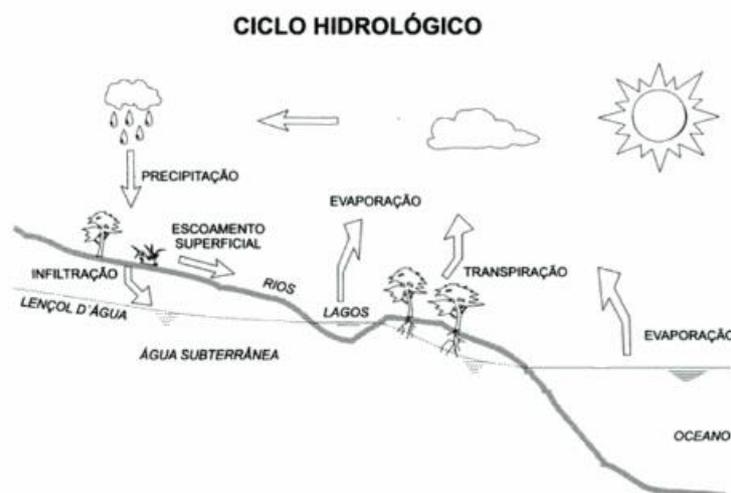
De acordo com Caldeira et al. (2015), é de suma importância realizar estudos sobre chuvas críticas e intensas para que se torne conhecida a conduta hidrológica de bacias hidrográficas, para que se tenha um domínio melhor das cheias e inundações, no que diz respeito aos dimensionamentos hidráulicos de uma maneira geral.

Sperling (2009), fala da importância de se conhecer o ciclo hidrológico de maneira mais abrangente, conhecendo como ela se desloca de um meio para outro na terra, citando mecanismos de transferências de água como “ precipitação, escoamento superficial, infiltração, evaporação e transpiração.” (Pág. 17)

A figura 1 mostra como ocorre esse ciclo hidrológico. Como pode-se perceber na imagem o vapor de água, proveniente da evaporação, forma as nuvens na atmosfera. Quando estas nuvens ficam sobrecarregadas e atingem altitudes elevadas ocorrem as chuvas. Estas se formam, pois a temperatura cai e a água transforma-se em líquido (condensação).

Esta água que cai nas chuvas vai parar nos oceanos, rios e lagos. Depois, a água vai evaporar novamente, formando assim o ciclo da água mais uma vez

Figura 1: Ciclo Hidrológico



Fonte: (SPERLING, 2009)

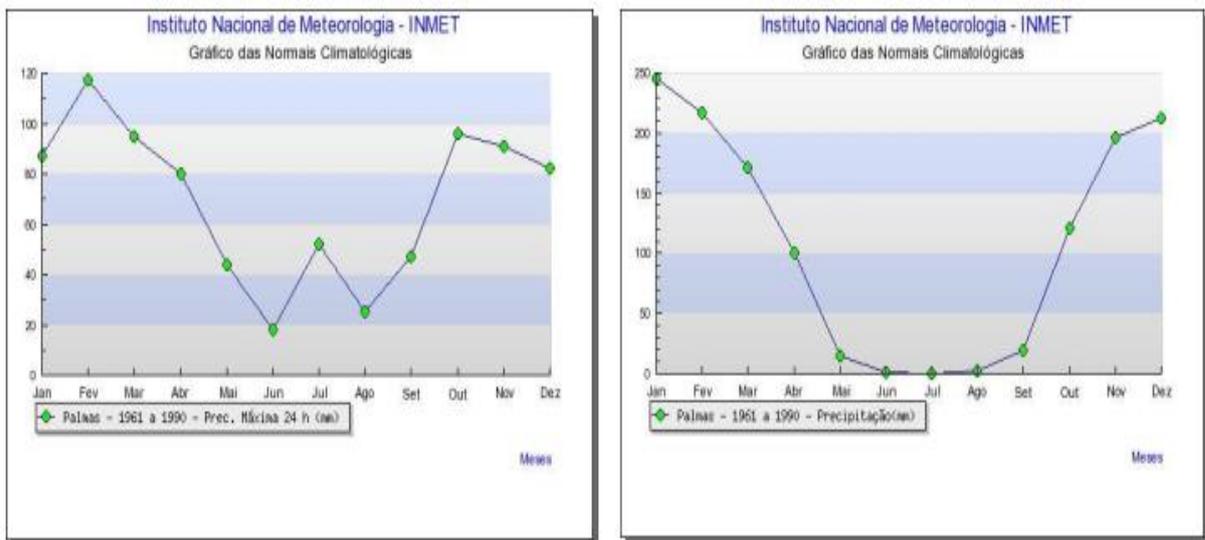
O plano municipal de saneamento básico de Palmas – TO (BRASIL, 2014), fez um estudo sobre as chuvas intensas e do escoamento superficial, “determinando a equação de intensidade-duração-frequência para a cidade de Palmas além do modelo de transformação de chuva-vazão, para a geração das vazões as serem transportadas em cada bacia”, para que se fizesse um dimensionamento justo, mais

econômico e que atendesse à todas as vazões provocadas por esse fenômeno da natureza.

No que diz respeito à cidade de Palmas, Brasil (2014) expõe os períodos bem marcados:

[...] no caso a estação chuvosa ou úmida e a estação seca ou estiagem. No primeiro período, que vai de outubro a abril, as precipitações são intensas (com normais maiores que 80 mm/24h) e sua recorrência quase que diária. O índice de precipitação total tem uma média de 1600 mm/ano, com maior parte concentrada em 150 dias. Nos meses de abril a outubro as chuvas são muito reduzidas, inclusive elas inexistem entre junho e agosto. (BRASIL, 2014. Pág.8)

Figura 2: Normais de chuva máxima e normais de precipitação mensal



Fonte: Brasil, 2014.

O gráfico acima apresentado por Brasil (2014) apresenta as normais de chuva máxima diária e mensal em todos os meses do ano. Conforme a figura 2 percebe-se que os meses em que mais há ocorrências de chuvas são os que compreendem o intervalo de setembro até março.

Já a precipitação, observando ainda a figura 2, não apresenta muitas ocorrências entre maio e setembro, sendo mais observada de dezembro a abril.

2.1.2 Escoamento Superficial

O ciclo hidrológico é um processo que envolve fases básicas, destas, provavelmente a mais importante para a engenharia seja a da capacidade da água escoar superficialmente, pois pesquisas a respeito do ciclo hidrológico, estão diretamente ligadas à maneira como essa água será aproveitada e como pode-se interferir nos efeitos provocados pelo seu deslocamento. (CARVALHO E SILVA, 2006)

Em decorrência da água da chuva ocorre o escoamento superficial, provocado pelas áreas impermeabilizadas, à exemplo disso pode-se citar as áreas ocupadas por residências, comércios, indústrias, ruas e estradas. (CASTRO, 2011).

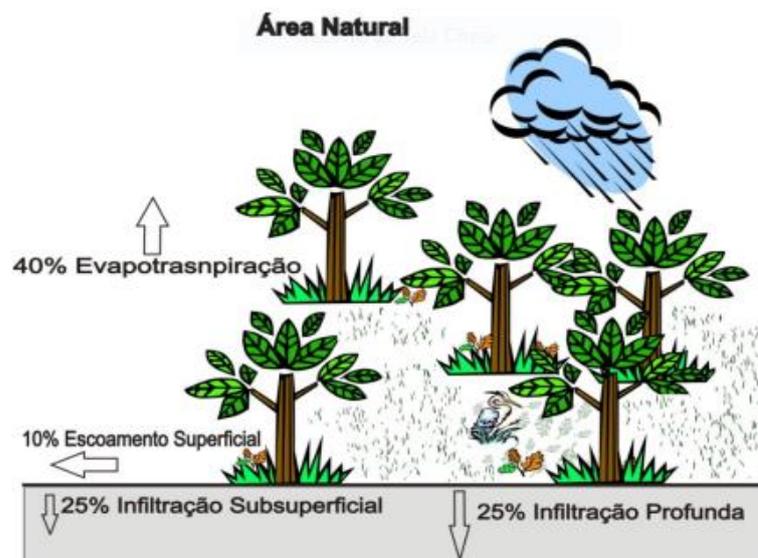
Castro (2011), completa dizendo que “quando uma área natural é alterada para um ambiente urbanizado, consistindo de ruas, estacionamentos, prédios, telhados e tec. o ciclo hidrológico do sistema é alterado significativamente. ”

As ilustrações abaixo mostram como ocorre essa transformação. Na figura 3 está sendo demonstrado um ambiente natural com alta permeabilidade, onde ocorre 40% de evapotranspiração e um percentual de infiltração de 25% escoando superficialmente apenas 10%.

Já na figura 4 percebe-se um ambiente urbanizado, onde a área natural foi muito modificada, locando uma grande área com estruturas impermeabilizadas, a água não consegue escoar subperficialmente e tampouco profundamente, percebendo nesse caso um alto grau de impermeabilidade e apenas 30% de evapotranspiração. 55% desse escoamento ocorre superficialmente sendo drenada apenas 10% dessa água.

Na imagem 4 pode-se perceber um dos problemas de grandes áreas impermeabilizadas, a dificuldade de escoamento, gerando alagamentos nos centros urbanos impermeabilizados.

Figura 3 - ambiente natural com alta permeabilidade



Fonte: CASTRO, 2011.

Figura 4 - ambiente com alto grau de impermeabilidade



Fonte: CASTRO, 2011.

2.1.3 Drenagem Urbana em Palmas – TO

Na cidade de Palmas – TO, a da drenagem urbana fica sob o controle da Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços públicos por meio da superintendência de obras. Palmas não se difere da maioria das cidades do Brasil, pois apresenta dificuldades recorrentes de infraestrutura local, com as crescentes inundações no meio urbano, causado pela expansão da cidade. (BRASIL, 2014)

Conforme Tucci (2008) a composição de gestão de uma cidade abrange três elementos importantes:

- *Planejamento e gestão do uso do solo*: trata da definição, por meio do Plano Diretor Urbano, de como a cidade é prevista para ser ocupada e suas correções com relação ao cenário do passado e do presente;
- *Infraestrutura viária, água, energia, comunicação e transporte*: planejamento e gestão desses componentes da infraestrutura que podem ser de atribuição de implantação pública ou privada, mas devem estar regulados pelo município;
- *Gestão socioambiental*: a gestão do meio ambiente urbano é realizada por entidades municipais, estaduais ou federais de acordo com a estrutura institucional. A gestão envolve a avaliação e aprovação de projetos, monitoramento, fiscalização e pesquisa para que o desenvolvimento urbano seja socioambiental sustentável.

Souza e Lopes (2012) salientam que, na cidade de Palmas-TO o sistema superficial de drenagem é sobrecarregado pelo crescimento expansivo nas vias urbanas, já que os lotes “impermeabilizados dos imóveis construídos passam a lançar suas águas pluviais nas vias de circulação. O aumento do número de ruas e avenidas asfaltadas também amplia o escoamento superficial, confirmando a sobrecarga da rede de drenagem. ”

Brasil (2014) aponta ainda diversos fatores que são influenciados a desordem na drenagem urbana, sendo eles:

- Deficiência ou inexistência de macro e de microdrenagem em avenidas e em algumas quadras;
- Falta de manutenção sistemática do sistema de micro e macrodrenagem (como limpezas dos canais naturais e bocas-de-lobo);
- Condições de descargas inadequadas de águas pluviais, causando erosão e assoreamento dos cursos d'água;
- Lançamento de águas pluviais de imóveis edificados diretamente sobre vias públicas;
- Falta de um plano diretor específico para a drenagem pluvial urbana;
- Falta de pavimentação em algumas quadras causam sérios transtornos aos moradores e usuários do espaço urbano.

O autor supracitado apresenta ainda as principais bacias urbanas de drenagem que são “ estabelecidas pelos principais córregos e corpo receptores das águas pluviais da zona urbana do município de Palmas. ”

Figura 5 - Córregos Urbanos da região do município de Palmas

| Região | Córrego/Ribeirão |
|---------------|--|
| Norte | Água Fria e Sussuapara, |
| Central | Brejo Comprido e Prata |
| Sul | Taquaruçu, Machado, Taquari, Cipó, Pé do Morro |

Fonte: Brasil (2014)

2.2. PAVIMENTAÇÃO

De acordo com Bernucci, et al. (2010), a pavimentação é definida como o conjunto de sistemas de camadas assentadas sobre a fundação, definida como subleito, menciona também o comportamento estrutural, afirmando que “depende da espessura de cada uma das camadas, da rigidez destas e do subleito, bem como da interação entre diferentes camadas do pavimento. (BERNUCCI et.al. 2010. Pág. 337)

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) também classifica o pavimento como sendo:

[...] superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentados sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito (infraestrutura ou terreno de fundação) a qual é designada de subleito (Manual do DNIT, 2006). (BRASIL, 2006. Pág.95)

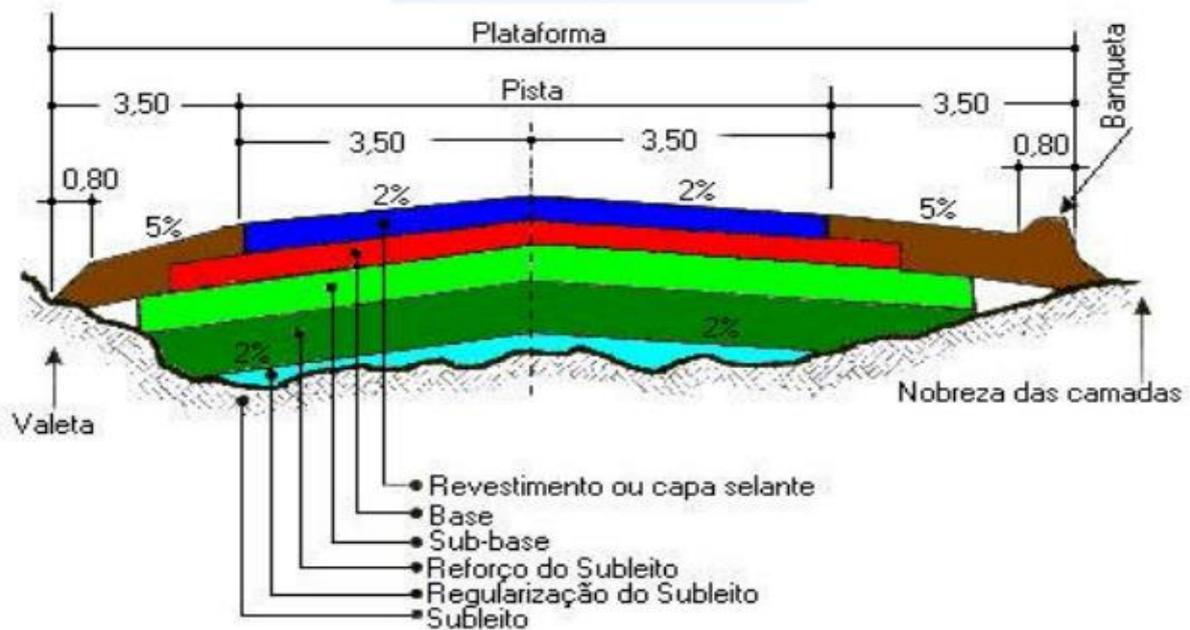
2.2.1. Classificação do pavimento

O pavimento pode ser classificado de três formas, como é apresentado por Brasil (2006):

Flexível: aquele que em todas as camadas sofre deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado; Semirrígido: caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias; Rígido: aquele em que o elemento tem uma elevada rigidez em relação as camadas inferiores e praticamente, absorve todas as tensões [...]. (Pág.95)

A figura abaixo, é uma representação do pavimento flexível, como pode-se observar esse tipo de pavimento pode apresentar mais camadas além do revestimento, da base e da sub-base.

Figura 6 - pavimento flexível

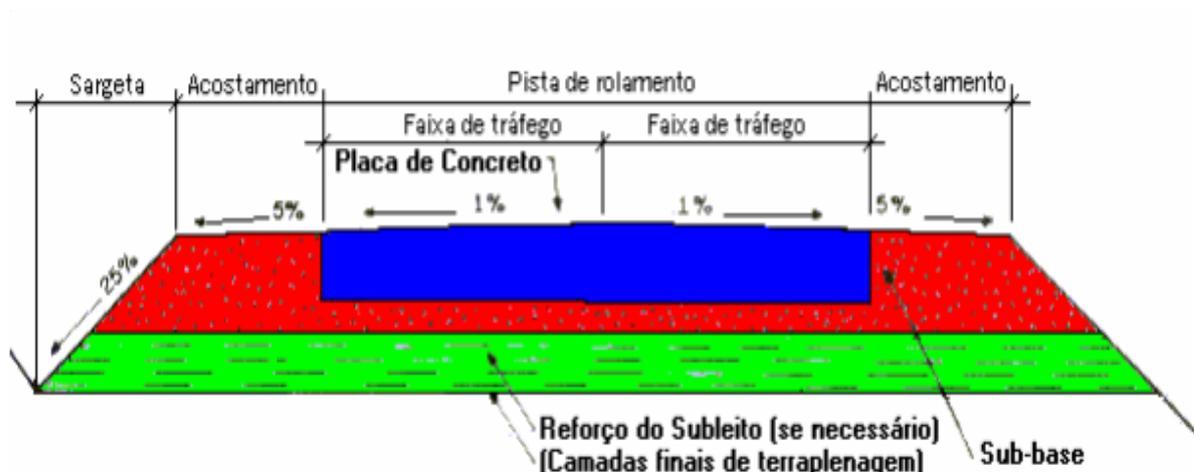


Fonte: Marques, 2012.

Marques (2012), completa dizendo que os pavimentos flexíveis não suportam à tração e geralmente são constituídos de revestimento betuminoso delgado, a flexão ocorre de acordo com o tráfego dos veículos, devido suas cargas.

De acordo com Brasil (2006), o pavimento rígido tem uma grande capacidade de absorver as tensões exercidas sobre ele, originárias do carregamento sobreposto, trabalhando essencialmente a tração.

Figura 7 - pavimento rígido.



Fonte: Marques, 2012.

A figura 7 mostra a estrutura básica de um pavimento rígido feito com placas de concreto, apresentando uma sub-base e se necessário, pode-se apresentar um reforço ao subleito.

2.2.2 pavimentos permeáveis

Em decorrência da malha viária em todo o mundo e o aumento das cidades, houve um crescimento nos índices de alagamentos dentro da via urbana provenientes das impermeabilizações. Por esse motivo, os estudos à procura de novos métodos para melhoramento da drenagem e a devolução da impermeabilização do solo se tornaram mais intensos. (ACIOLI, 2005).

Monteiro (2010) afirma que, as áreas impermeáveis têm aumentado a problemática, pois além de gerar uma supressão no escoamento superficial, tem também reduzido a qualidade das bacias hidrográficas. Afirmando ainda, que, pouco menos de 1/4 do volume de águas pluviais foi recebido por tais bacias, sendo destinado a cursos d'água, acarretando erosão do solo.

Nesse sentido, Castro (2011) afirma que o pavimento permeável entra como uma medida compensatória e alternativa para o melhoramento da drenagem urbana, minimizando os efeitos do crescimento urbanístico sobre as ações do ciclo hidrológico, que sofreram mudanças durante o processo de urbanização, isto é, atuará reduzindo as vazões máximas, além de recarregar as águas subterrâneas.

Pavimentos permeáveis são faces drenantes que geram a penetração, armazenamento e a lixiviação de uma determinada quantidade de água advinda do

escoamento da superfície para dentro de um local de armazenamento provisório no terreno. (ALVES; COSTA *apud* MONTEIRO, 2010.)

Batezini (2013), caracteriza o pavimento permeável devido a sua elevada porosidade e adequada capacidade de drenagem, isso vai depender da composição do pavimento, assegurando ainda, que em decorrência dessa capacidade da água de infiltrar por meio de seus poros, caso sejam projetadas e inseridas corretamente influenciam de maneira significativa nas vazões de pico provenientes das chuvas em alguns locais.

Monteiro (2010) apresenta algumas diferenças entre concreto convencional quando comparado ao concreto poroso, no concreto convencional a resistência a compressão varia de 20 a 60 Mpa, a areia varia de 30% a 50% do agregado total, a brita deve ser bem graduada com grãos arredondados e os aditivos são opcionais. Já no concreto poroso, a resistência à compressão varia de 3 a 30 Mpa, é quantidade de areia deve ser em pouca ou nenhuma quantidade, a brita deve ser de graduação aberta com grãos angulosos (brita "0" e pedriscos) e os aditivos utilizados podem ser redutores de água, retardadores de pega e incorporadores de ar.

Figura 8 - Pavimento de Concreto Permeável, com peças moldadas no local.



Fonte: Monteiro, 2010.

2.2.3 Pavimento Permeável com Reservatório

Virgilis (2009), comenta que o reservatório em um pavimento de concreto permeável é também uma parte da estrutura, no entanto, esta possui a capacidade

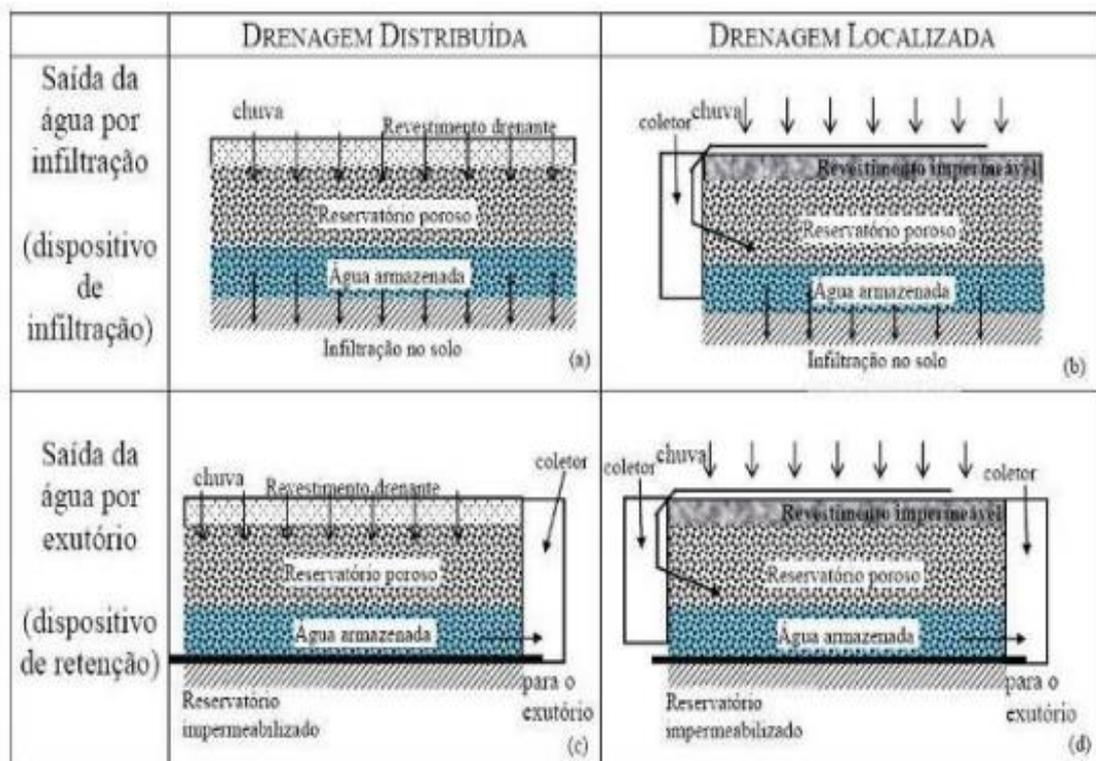
de armazenar a água temporariamente ou transportá-la para um outro local, além de poder ser infiltrada pelo subsolo, tais reservatórios podem ser chamados também de colchão drenante.

De acordo com Acioli (2005) o pavimento permeável possui uma camada base que também tem a função de reservatório que possui a função de transmitir as solicitações sobrepostas na camada acima para o solo que da suporte além de armazenar temporariamente a água derivada da chuva até a sua infiltração no solo ou encaminhamento para a rede de drenagem local.

O autor supracitado afirma ainda que o material a ser escolhido para esse tipo de camada deve ser escolhido em razão da sua compatibilidade com a camada superficial, tipo de tráfego, além dos aspectos construtivos, da porosidade e do custo.

Geralmente o material comumente usado na sub-base do pavimento é do tipo granular, usualmente a brita. Esta precisa possuir diâmetro superior a 10mm, que a percentagem de material siltoso (menor que 2mm), deve ser menor que 3% e de material argiloso (menor que 0,5mm) seja menor 1% (ACIOLI, 2005).

Figura 9 - Pavimentos com reservatórios estruturais



Fonte: Virgilis (2009)

Quanto a declividade do pavimento, esta deve ser definida de maneira que evite o vazamento da água pela parte mais baixa do pavimento, no entanto, se não

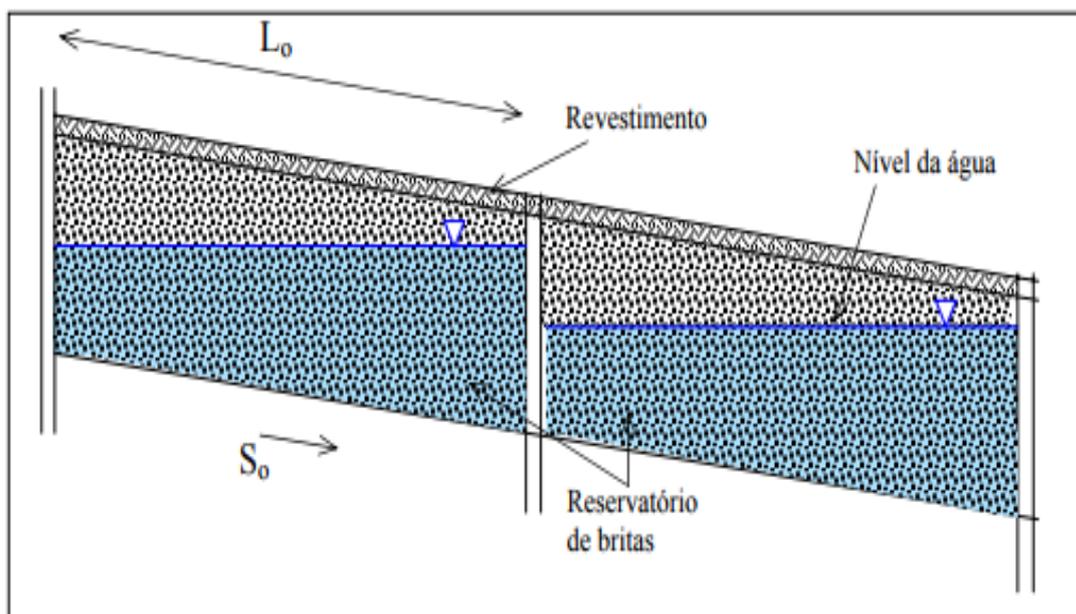
for possível reduzir tal declividade, deve-se dividir o pavimento em células individuais. É importante que a superfície do terreno seja o mais plana possível para que haja maior infiltração de água. (ACIOLI, 2005).

No método Portland Cement Association (PCA) 1984, nas diretrizes para o dimensionamento da sub-base Brasil (2006) afirma que atualmente os projetos de pavimentos rígidos apresentam uma sub-base entre a camada de concreto e o subleito. Tal camada intermediária tem função de unificar e tornar constante o suporte disponível ao longo da faixa do pavimento, impedir as implicações das mudanças excessivas de volume dos solos do subleito, além de eliminar a presença de partículas finas que eventualmente encontrem-se presentes no solo da fundação quando há a incidência de água excessiva e cargas pesadas.

Brasil (2006) afirma ainda que essa camada intermediária deve assegurar a drenagem, evitando a infiltração ao solo, pois a infiltração da água pode trazer implicações prejudiciais à base causando a erosão desta, depreciando a capacidade de suporte requerida.

Acioli (2005) diz que caso a inclinação do pavimento seja acentuada, não podendo passar de 5%, sugere-se dividi-lo em células para que a água não extravase a camada de concreto. A imagem abaixo mostra uma estrutura de um pavimento em concreto permeável com sub-base granular com função de reservatório e impermeável.

Figura 10 - Pavimento Dividido em células, para declividades acentuadas.



Fonte: Acioli (2005)

2.3 PAVIMENTO EM CONCRETO

Em um sentido mais abrangente, Neville (2013) define o concreto como sendo “qualquer produto ou massa produzida a partir de um cimentante, geralmente esse meio é o produto entre a reação entre um cimento hidráulico e água.” O autor afirma ainda que o concreto pode ser misturado a vários outros materiais, como outras tipologias de cimento, adições de agregados, aditivos, pozolanas, adições minerais etc.

Giongo (2007) afirma que para que se obtenha um concreto simples deve-se misturar agregados graúdos e miúdos, aglomerante hidráulico e água. Todos estes materiais devem estar dosados de maneira correta, para que se tenha as propriedades necessárias e desejadas para cada objetivo.

De acordo com Brasil (2006), o pavimento rígido tem uma grande capacidade de absorver as tensões exercidas sobre ele, originárias do carregamento sobreposto, trabalhando essencialmente a tração.

No caso dos concretos permeáveis o que vai mudar em relação ao concreto convencional será a sua granulometria que será intencionalmente modificada para que se obtenha elevadas taxas de porosidade, tanto totais como efetivas. (VIRGILLIS, 2009)

No entanto, Metha e Monteiro (2008) afirmam que há uma relação inversamente proporcional no que se refere à porosidade e resistência de materiais sólidos, quanto mais poroso for o concreto, menor será sua resistência.

Os concretos permeáveis são elaborados com agregados graúdos de graduação uniforme, cimento Portland, água e com pouquíssimo ou quase nenhum material fino, formato vai permitir maior escoamento da água, quando combinados com outros materiais, esse concreto adquire maior resistência, durabilidade, trabalhabilidade e desempenho. (MARIANO, 2014).

A figura 11 representada logo abaixo, mostra a estrutura amostral de um revestimento em concreto permeável, onde pode-se observar que é uma estrutura com uma boa capacidade de permeabilidade, pois este tipo de pavimento, quando apresenta uma redução dos finos, apresenta uma boa capacidade de drenagem superficial em um tempo hábil, como pode-se perceber na imagem.

Figura 11 - Pavimento de concreto permeável, graduação uniforme.



FONTE: UFRGS, 2016.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Quando se trata em concepções de pavimento rígido a atenção deve ser redobrada para a ocorrência de alterações bruscas nas características do subleito, principalmente quando se trata de solos expansivos e de camadas espessas de argila mole. Para que se dimensione a espessura de um pavimento rígido o parâmetro referente ao suporte do subleito é o coeficiente de recalque (k) também chamado de módulo de reação ou módulo de Westergaard (BRASIL, 2006).

De acordo com Acioli (2005), para que a estrutura apresente um bom funcionamento é necessário que se faça uma caracterização detalhada do solo suporte, assim como seu comportamento diante da água. Dentre os parâmetros que devem ser determinados estão:

- Taxa de infiltração do solo saturado: grandeza importante para o caso de pavimentos permeáveis de infiltração. Taxa de infiltração deve ser calculada através de ensaios *in situ*, em diversos pontos no local de implantação, devendo ser traçada a curva de infiltração até a saturação do solo. Recomenda-se uma taxa de infiltração mínima de 13mm/h.
- Capacidade de carga: o conhecimento dessa propriedade do solo é importante para o dimensionamento mecânico do pavimento.
- O comportamento do solo em presença de água: essa avaliação deve ser realizada de forma a se evitar a possibilidade de contaminação do lençol freático, assim como detectar riscos como a perda da capacidade de carga do solo em função do aumento de umidade. A variação da capacidade de carga em função da umidade do solo também deve ser observada (ACIOLI, 2005).

2.5 CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO

O tráfego de veículos está diretamente relacionado com as condições da via, de modo a serem dimensionadas a fim de atender as necessidades de uso. Com um sistema de coleta de dados é possível obter e relacionar características referentes ao tráfego, este levantamento de dados permite conhecer o número de veículos que circula pela via, bem como suas velocidades, tipo de veículos e horários de maior solicitação, contribuindo diretamente para a escolha do pavimento a ser utilizado e influenciado no dimensionamento do mesmo DNIT (2006).

O tráfego é composto por diferentes tipos de veículos como automóveis, caminhões, ônibus, motos entre outros. O volume de tráfego varia em função dos do número de veículos que circulam em uma determinada faixa da via em um período de tempo, podendo variar ao longo do ano, da semana, do dia ou hora (GOLDNER, 2008).

Os aspectos fundamentais que devem ser considerados na projeção de tráfego são (DNIT,2006):

- Capacidade de produção e atração de viagens das diversas zonas de tráfego;
- Distribuição das viagens geradas entre as zonas;
- Variações na geração e distribuição de viagens às mudanças demográficas, econômicas, dos meios de transporte da região.

A classificação do tráfego para ruas e estradas municipais, de acordo com Senço (2007), são classificadas em Tráfego Muito Leve (TML) no qual são ruas de caráter residencial onde não é previsto o tráfego de ônibus e caminhões em número não superior a 3 por dia, por faixa de tráfego; Tráfego Leve (TL) no qual são ruas de caráter residenciais para as quais não é previsto tráfego de ônibus, podendo existir, 22 ocasionalmente, passagens de ônibus e caminhões em número não superior a 50 por dia, por faixa de tráfego; Tráfego Médio (TM) são estradas ou ruas para as quais é prevista a passagem de ônibus e caminhões em número de 50 a 400 por dia na faixa mais solicitada de tráfego; Tráfego Pesado (TP) são estradas e ruas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 400 a 2.000 por dia, na faixa mais solicitada de tráfego; Tráfego Muito Pesado (TMP) são ruas ou estradas no qual é prevista a passagem de ônibus ou caminhões em número superior a 2.000 por dia, na faixa mais solicitada de tráfego.

2.6 PERMEABILIDADE

Um dos parâmetros mais importantes do concreto permeável é a condutividade hidráulica ou taxa de percolação ou ainda coeficiente de permeabilidade (k), esta é definida como a taxa de infiltração da água por meio de uma estrutura, valores característicos de condutividade em concretos permeáveis, variam entre 0,21 cm/s a 0,54 cm/s, mas há registros de valores até 0,77 cm/s (BAZETTINI, 2013).

Quando se tem um bom entendimento sobre esse conceito, facilita significativamente o desenvolvimento de diversos tipos de projeto e insumos utilizados na construção tanto no que diz respeito a parte estrutural que envolve blocos, concretos etc. quanto nos revestimentos e acabamentos. Vários são os entendimentos quanto aos aspectos construtivos, pois pode-se definir pavimentos tanto com concretos permeáveis quanto com pavimentos sem permeabilidade nenhuma ou quase nenhuma, pois dependendo do projeto, a influência da água pode ser prejudicial ou benéfica, depende do objetivo (SENTONE, 2011)

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO

O presente trabalho tem como metodologia um estudo com abordagem qualitativa e quantitativa.

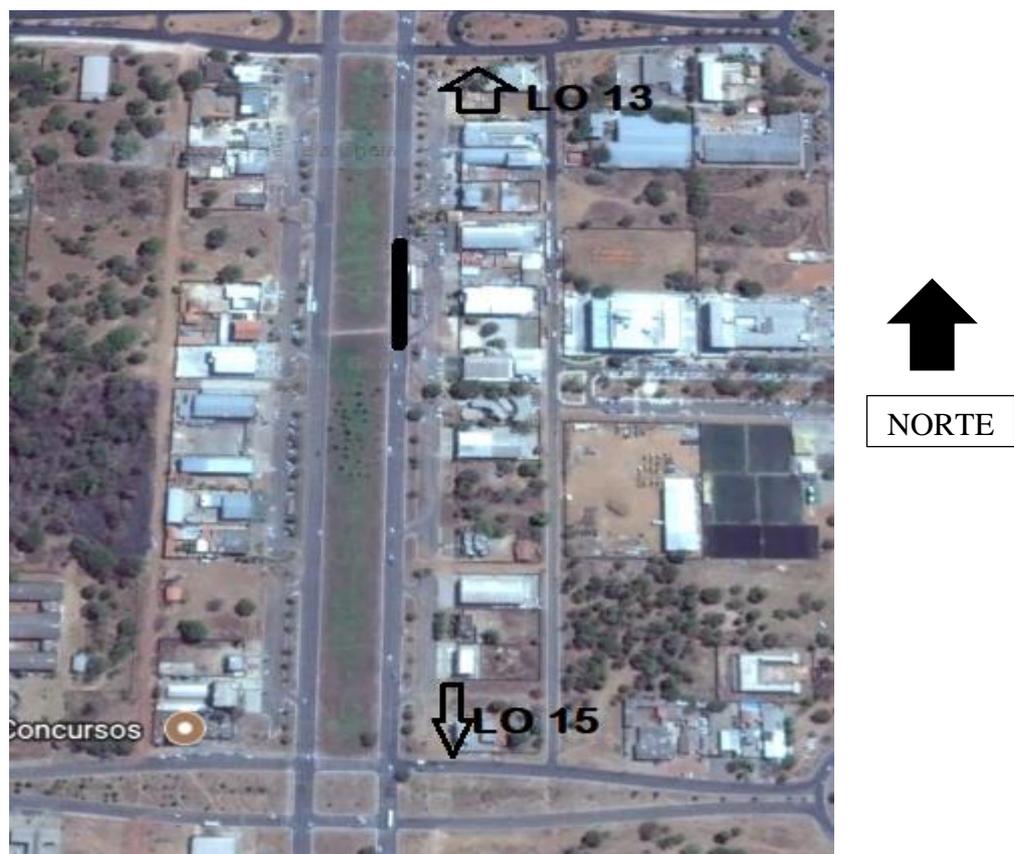
3.2 LOCAL E PERÍODO DA REALIZAÇÃO DA PESQUISA

O Local estudado foi o Trecho da Avenida Teotônio Segurado, interceptado pelas Avenidas LO 15 e LO 13, localizada na cidade de Palmas- TO. A pesquisa foi realizada entre os meses de fevereiro a abril de 2018.

3.3 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo desse trabalho foi a Avenida Joaquim Teotônio Segurado no trecho interceptado pelas Avenidas LO 13 e LO 15, possuindo 147,00 metros de extensão com 4 faixas de 3,5 m por sentido, totalizando 14m de largura possuindo uma área 2058,00 m², localizado na cidade de Palmas, estado do Tocantins. Como mostra a imagem abaixo:

Figura 12 - Avenida Teotônio Segurado, intersecção entre os trechos LO 13 e LO 15.



Fonte: Google Earth (2017)

O trecho é caracterizado pelo acúmulo de água em períodos chuvosos provocando alagamentos.

Ao buscar informações na Prefeitura Municipal a respeito do tipo de pavimento, foi dito que em algumas partes é do tipo TSD e em outras foram feitas algumas recuperações, foram retiradas 20 cm de altura da base e 20 cm de altura da sub-base retirando o revestimento TSD apenas nos locais onde possui maior circulação dos ônibus, onde foram aplicadas uma base e sub-base de solo cimento de 40 cm de altura e por fim a aplicação de um revestimento de CBUQ,

As avenidas LO 13 e LO 15, possuem sistema de drenagem, porém não desempenham seu papel de forma eficiente, pois em épocas chuvosas, ocorrem alagamentos prejudicando o trânsito de pessoas e veículos, causando constrangimentos como mostra a figura abaixo, em uma das precipitações mais intensas já registradas.

Figura 13 - Trecho entre LO 13 e LO 15



Fonte: Conexão Tocantins (2017)

3.4 Critérios para Inclusão e Exclusão

A avenida Teotônio Segurado possui 26 km de extensão, no entanto foi escolhido o trecho interceptado pelas LO 13 e LO 15 devido ao grande acúmulo de água em períodos chuvosos e por possuir uma das estações de ônibus mais movimentadas da cidade, onde há um grande fluxo de embarque e desembarque, quem em períodos chuvosos causam muitos constrangimentos.

3.5 Instrumentos para coleta de dados

Para levantamento dos dados sobre o pavimento em estudo, tais como tipo de revestimento utilizado, tais como inclinação do pavimento, patologias apresentadas

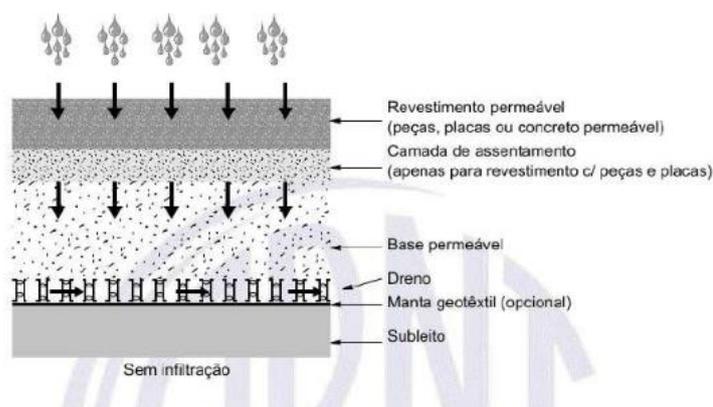
foi necessário ir até a Prefeitura Municipal de Palmas e foram feitas visitas ao local para obter registros fotográficos.

Para o estudo de caracterização do solo (ISC) e do tráfego foram adquiridos os dados pelo ensaio realizado para caracterização do solo no mesmo trecho da Avenida Teotônio Segurado realizados por Mamed (2016).

Para a coleta de dados foi utilizada como base a ABNT NBR 16416:2015 – pavimentos permeáveis de concreto, requisitos e procedimentos e o método PCA 1984. A princípio, foi escolhido o tipo de pavimento, no caso desse estudo será escolhido o pavimento de concreto permeável com placas moldadas no local em que a percolação da água ocorre pelo concreto.

Em seguida foi definido o sistema de infiltração, neste caso foi escolhido o sistema sem infiltração, item 5.3 da NBR 16416:2015, onde a água da chuva fica temporariamente armazenada na estrutura permeável e não entra no subleito, sendo, posteriormente, removida pelo dreno e lançada na rede de drenagem local ou em algum outro destino viável, como mostra a figura 07.

Figura 14 - Pavimento permeável sem infiltração.



Fonte: NBR 16416:2015 (2017)

No estudo em questão, essa água foi transferida para um reservatório, onde comportará água em períodos de chuva, transportando-a para a rede de drenagem local.

Ainda de acordo com a NBR 16416:2015 deve-se considerar alguns fatores relacionados a seguir. Deve-se considerar o tipo de uso da via e o local de implantação, sendo que os materiais e a espessura das camadas devem atender simultaneamente aos dimensionamentos mecânico e hidráulico.

Para que o projeto se tornasse viável foi necessário verificar as seguintes especificações:

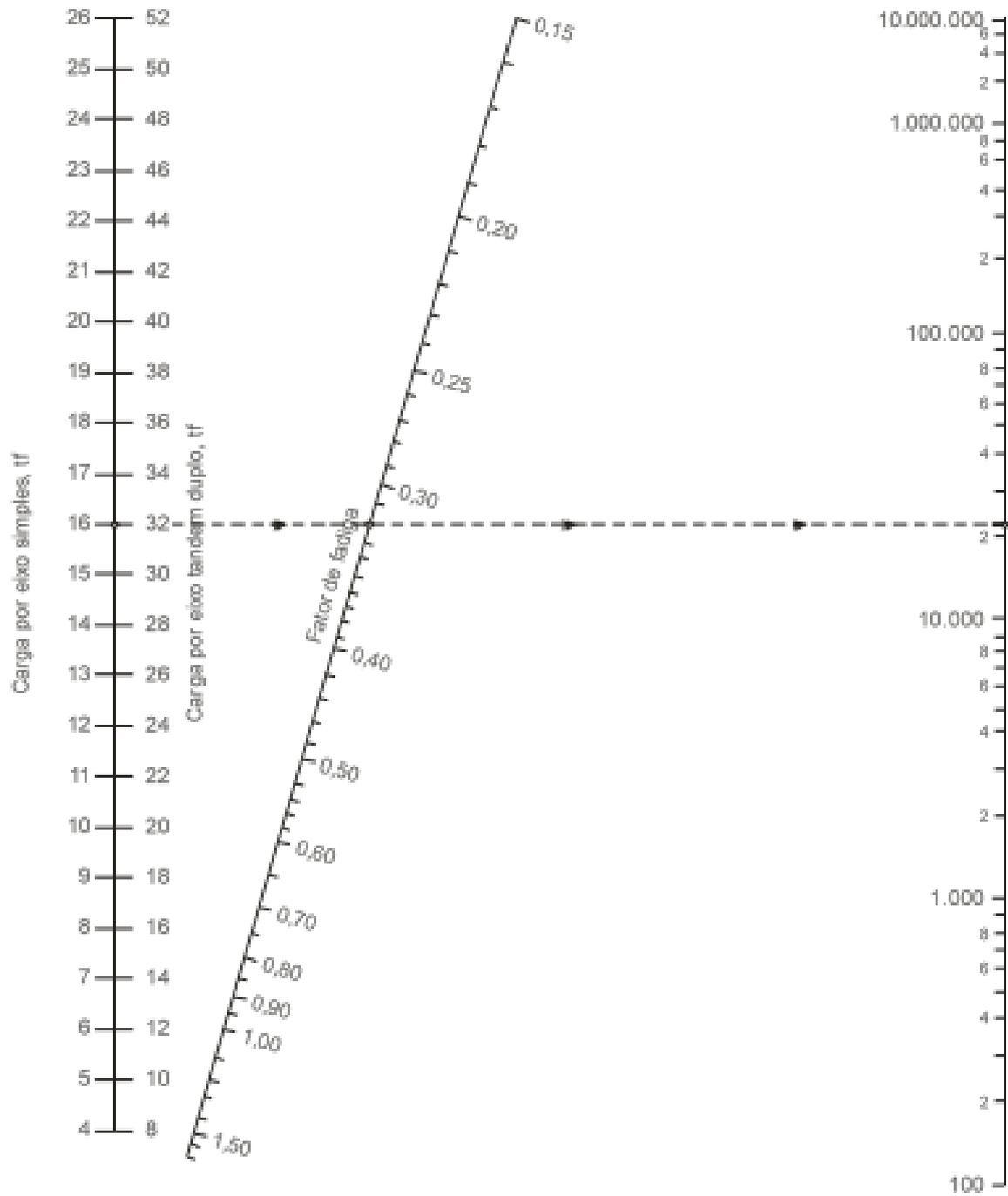
- Condições de implantação e utilização do pavimento
- Foram identificadas as áreas de contribuição, estas não poderiam ultrapassar 5 vezes a área do pavimento a ser calculado, como recomenda a norma, além de ter que atender uma distância mínima de 30 m entre córregos, reservatórios de água e pântanos.
- Foi verificada a declividade do pavimento, podendo variar de 1% a 5%.
- Nas proximidades do pavimento a declividade não deve ser superior a 20%, esta declividade será verificada através de análise de projeto fornecido pela Prefeitura de Palmas-TO.
- Foram colhidos os dados de precipitação do Local, estes foram coletados no arquivo das bases climáticas do Tocantins.
- Foi definido o período de retorno do projeto, tendo sido este adotado através da precipitação local, registrada no plano de planejamento básico de Palmas.
- Microdrenagem pode variar de 5 a 10 anos, caso do pavimento permeável. Com estes dados estabelecidos e com os valores de precipitação do local torna-se possível obter a precipitação que será utilizada para dimensionar o pavimento permeável.

Para dimensionamento do pavimento rígido, foi utilizado o método Portland Cement Association (PCA) de 1984, um modelo de análise estrutural de elementos finitos, possibilitando a combinação de uma extensa gama de soluções alternativas e consequentemente a definição da solução mais econômica (BRASIL, 2006).

Desta feita foram definidos alguns parâmetros de dimensionamento tais como: o tipo de acostamento, no estudo em questão não terá acostamento, adoção ou não de barras de transferência, resistência à tração na flexão aos 28 dias, coeficiente de recalque (K), fator de segurança e tráfego para cada nível de carga de acordo com a vida do pavimento, todos analisados de acordo com o que prevê Brasil (2006).

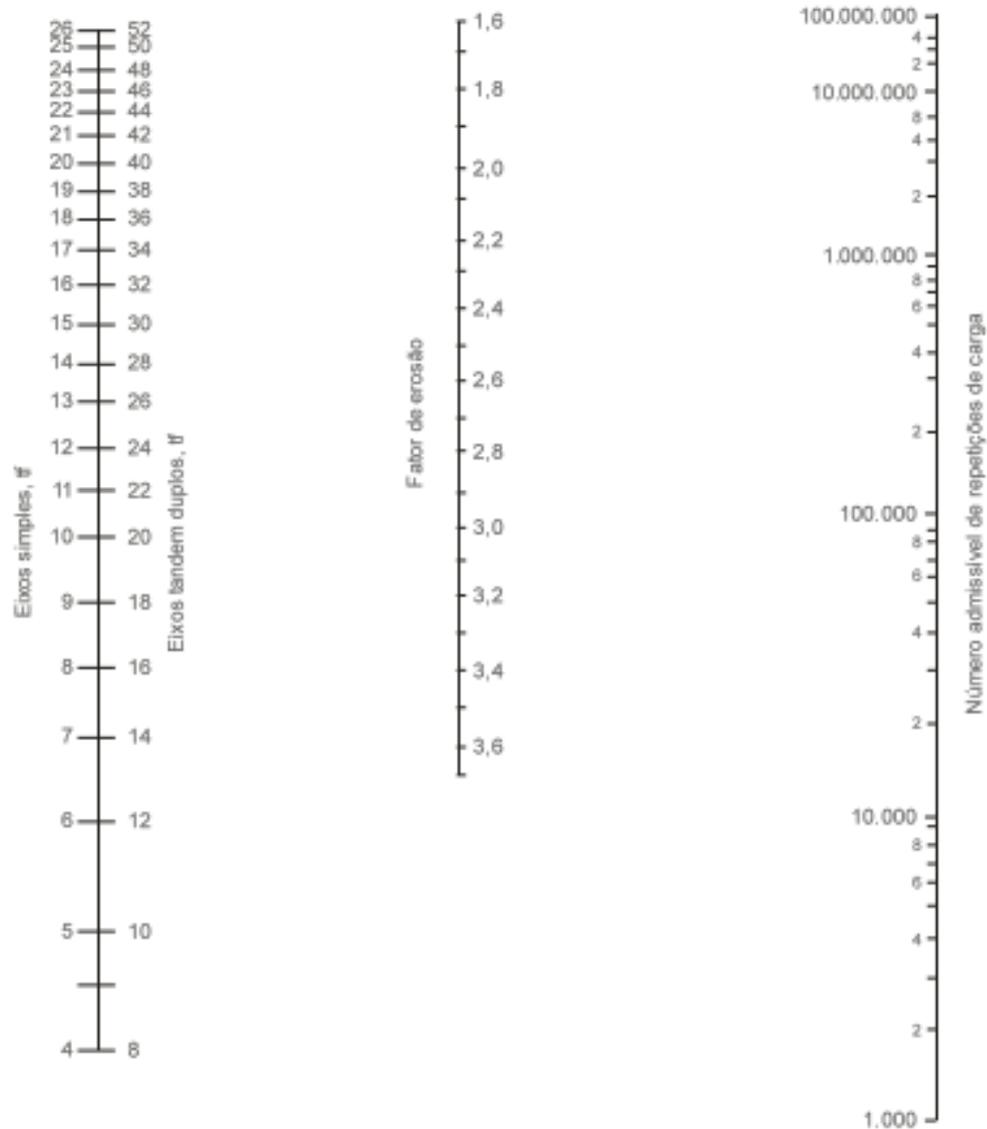
No dimensionamento foi utilizado uma tabela fornecida pelo DNIT como mostra a figura 19, na qual são preenchidas as informações citadas acima, para assim poder avaliar a espessura, verificando se a espessura é ou não adequada, caso não seja deve-se realizar uma nova tentativa com outra espessura que atente as solicitações.

Figura 16 - análise do fator de fadiga



Fonte: Brasil, 2006.

Figura 17 - ábaco para análise do fator de erosão



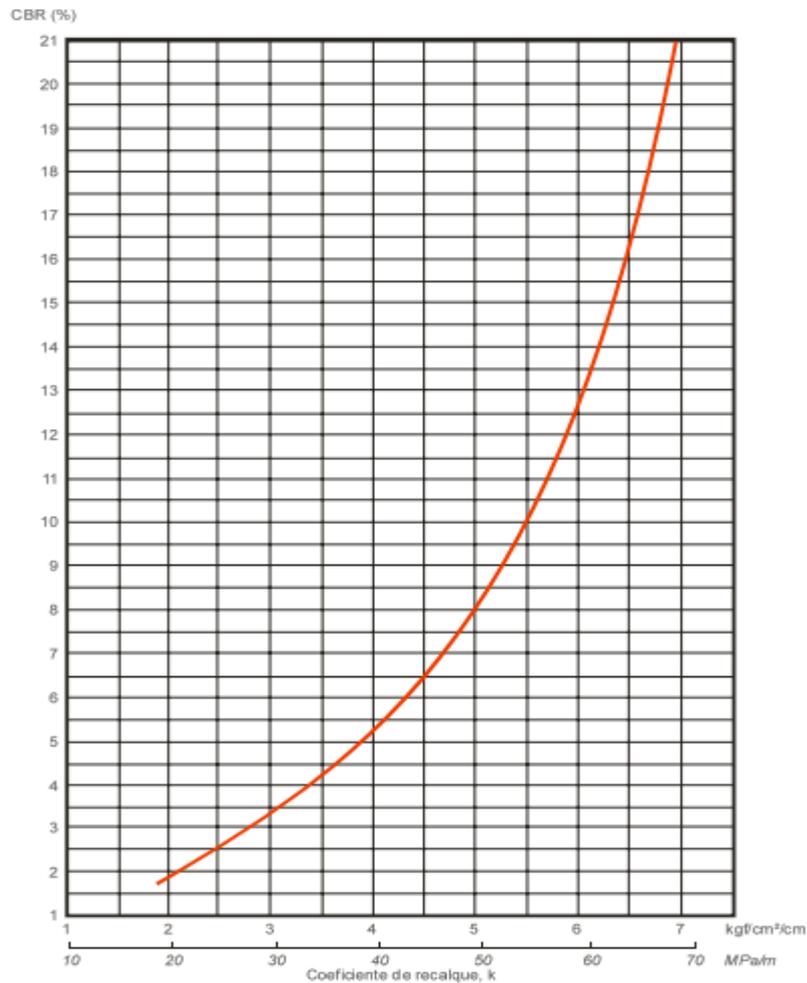
Fonte: Brasil, 2006.

Para dimensionamento do pavimento de concreto foi feito um estudo geotécnico do Local para caracterização do subleito, utilizou-se o parâmetro denominado por módulo de reação do subleito (k).

Sendo este valor, caracterizado pela capacidade de deformação elástica do subleito do pavimento pode ser determinado indiretamente, por meio de correlações com valores do índice de Suporte Califórnia (CBR).

No caso de base granular sobre o subleito o valor do módulo de reação do sistema base/subleito no topo da base granular, imediatamente abaixo da placa de concreto, poderá ser determinado com base nas observações apresentadas no ábaco abaixo.

Figura 18 - Aumento de K devido à presença de base granular



Fonte: Brasil (2006)

Em sequência será feito o dimensionamento hidráulico do reservatório, deve-se determinar a altura do reservatório para comportar o volume drenado pela superfície, além dos volumes das áreas de contribuição. A precipitação será obtida de acordo com o tempo de retorno determinado e da duração da chuva para o local.

Para determinar a chuva de projeto, será utilizada a equação que melhor representa a relação de intensidade, duração e frequência (IDF), da cidade de Palmas- TO.

$$i = \frac{749,97 * Tr^{0,104}}{(td + 9)^{0,702}}$$

Onde:

i – É a intensidade de precipitação em mm;

Tr – Tempo de retorno adotado;

td – Tempo de duração de projeto.

A tabela abaixo, onde foi feito um ajuste pelo método de Gumbell mostra a probabilidade de ocorrências de precipitações máximas anuais, esses valores foram calculados para o tempo de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos.

Figura 19 - precipitações máximas para os períodos de retorno escolhido.

| TR | f (P>Po) | Y | P _{máx.1 dia} (mm) |
|-----|----------|------|-----------------------------|
| 2 | 50% | 0,37 | 90,12 |
| 5 | 20% | 1,50 | 102,90 |
| 10 | 10% | 2,25 | 111,36 |
| 20 | 5% | 2,97 | 119,47 |
| 25 | 4% | 3,20 | 122,05 |
| 50 | 2% | 3,90 | 129,98 |
| 100 | 1% | 4,60 | 137,85 |

Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas (2014)

O reservatório será projetado para suportar o volume de escoamento de uma chuva de projeto menos o volume de escoamento que é infiltrado durante a chuva, que no projeto em questão será zero, levando-se em consideração que não haverá infiltração para o subleito, através da aplicação de material impermeável, podendo ser geomembrana impermeável ou manta geotêxtil, será analisada a viabilidade.

A camada do reservatório foi escolhida através de revisão bibliográfica utilizando como referência Acioli (2005) no qual foi realizado um estudo similar a este trabalho com pavimento de concreto permeável e com reservatório tendo função de sub-base, onde foram feitos alguns ensaios como o de granulometria, porosidade e índice de vazios.

A profundidade do reservatório de camadas granulares do pavimento permeável será determinada através da fórmula abaixo:

$$H = \frac{Vr}{n}$$

Onde:

H – É a profundidade do reservatório;

n – É a porosidade do material;

Vr – Altura total que foi precipitada, a qual corresponde a duração t e o período T de retorno em mm.

Para determinação do valor de Vr que é o volume admitido pelo reservatório foi necessário calcular antes o fator de contribuição (C) de áreas externas ao pavimento permeável por meio das equações abaixo:

$$C = \frac{ipxAc}{Ap}$$

Onde:

i_p – intensidade máxima da chuva de projeto;

A_c – área de contribuição total;

A_p – área do pavimento permeável.

Em seguida foi calculado V_r através da seguinte equação:

$$V_r = (i_p + C - I_e) x t d$$

Onde:

V_r – volume admitido pelo reservatório;

I_e – taxa de infiltração para o subsolo, nesse caso será zero, pois não haverá infiltração para o subsolo;

I_p – intensidade da chuva;

t_d – tempo de duração.

Foi verificado o tempo de esvaziamento do reservatório através da equação abaixo, pois Brasil (2006) afirma que a água na camada de sub-base impermeável não pode ser superior a 72h.

$$t_{esv} = \frac{H}{q_s}$$

Onde:

H – Profundidade média, em mm, do volume acumulado no dispositivo;

q_s – vazão de saída constante do dispositivo, em mm/h;

t_{esv} – Duração em minutos.

Para calcular o volume de água absorvido pelo pavimento, foi utilizado como referência o ensaio para a obtenção do coeficiente de permeabilidade obtido através de revisão bibliográfica tendo como base Acioli (2005).

Com os dados desse ensaio de permeabilidade, foi possível calcular o volume através da vazão volumétrica, e do tempo dados, por meio da equação da vazão volumétrica, cuja fórmula é:

$$Q_v = \frac{V}{t}$$

Onde:

Q_v – vazão volumétrica

V – Volume

t – tempo

o valor do volume encontrado foi do permeâmetro, transformando-o em m^3 e multiplicando-se pela área do pavimento, foi obtido o volume absorvido pela camada em um determinado tempo.

Por fim, foram dimensionados os drenos de coleta. No reservatório de brita, ou seja, na sub-base do pavimento permeável foram instalados tubos perfurados com o objetivo de remover toda a água infiltrada. A superfície do reservatório possui uma inclinação de 1%. A taxa runoff do pavimento, equivale a 57,71mm/h que convertendo para m/s tem-se 0,0001603m/s.

O coeficiente de permeabilidade (k) do reservatório é de 0,001m/s, esse valor foi obtido através da tabela obtida por revisão bibliográfica utilizando como referência Brasil (2006), que é a permeabilidade da brita 1, como mostra a figura 34.

A área total que contribui para a vazão na sub-base é a soma da área do pavimento com a área de contribuição sendo multiplicada pela taxa de runoff.

Considerando-se a infiltração da taxa de runoff tem-se que a vazão total de drenagem é:

$$Q = At \times \text{taxa de runoff} = m^3$$

Figura 20 - tabela de coeficiente de permeabilidade (k)

| Material | k (cm/s) | (diâmetros em mm) | | | |
|---------------------------|--------------------|-------------------|-------|------|------|
| | | D10 | D15 | D50 | D85 |
| Areia fina e média | 2×10^{-4} | 0,09 | 0,10 | 0,25 | 1,00 |
| Areia média e grossa | 1×10^{-3} | 0,25 | 0,30 | 0,80 | 4,00 |
| Pedrisco | 5×10^{-2} | 0,8 | 1,3 | 5,5 | 10 |
| Brita N° 1 | 1 | 9 | 11 | 16 | 25 |
| Argila Siltosa | 2×10^{-7} | 0,001 | 0,002 | 0,06 | 0,20 |
| Solo residual de fundação | 1×10^{-8} | 0,001 | 0,002 | 0,02 | 0,10 |

Fonte: Brasil, 2006.

Para a escolha do diâmetro do tubo, foi utilizado como referência a tabela de vazões encontrada por revisão bibliográfica, tendo como referência Tomaz (2013).

Figura 21 - vazões e seção plena dos tubos

| Diâmetro da tubulação | | Vazão a seção plena (m ³ /s) | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|---|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| | | m/m | m/m | m/m | m/m | m/m | m/m | m/m | m/m | m/m | m/m |
| cm | m | 0,005 | 0,01 | 0,015 | 0,02 | 0,025 | 0,03 | 0,035 | 0,04 | 0,045 | 0,05 |
| 5 | 0,05 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,002 |
| 10 | 0,10 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,006 | 0,007 | 0,008 | 0,008 | 0,009 | 0,010 | 0,010 |
| 15 | 0,15 | 0,009 | 0,013 | 0,016 | 0,019 | 0,021 | 0,023 | 0,025 | 0,026 | 0,028 | 0,030 |
| 20 | 0,20 | 0,020 | 0,028 | 0,035 | 0,040 | 0,045 | 0,049 | 0,053 | 0,057 | 0,060 | 0,064 |
| 25 | 0,25 | 0,036 | 0,052 | 0,063 | 0,073 | 0,082 | 0,089 | 0,097 | 0,103 | 0,109 | 0,115 |
| 30 | 0,30 | 0,059 | 0,084 | 0,103 | 0,119 | 0,133 | 0,145 | 0,157 | 0,168 | 0,178 | 0,188 |
| 35 | 0,35 | 0,089 | 0,127 | 0,155 | 0,179 | 0,200 | 0,219 | 0,237 | 0,253 | 0,268 | 0,283 |
| 40 | 0,40 | 0,128 | 0,181 | 0,221 | 0,256 | 0,286 | 0,313 | 0,338 | 0,361 | 0,383 | 0,404 |
| 45 | 0,45 | 0,175 | 0,247 | 0,303 | 0,350 | 0,391 | 0,428 | 0,463 | 0,495 | 0,525 | 0,553 |

Fonte: Tomaz, 2013.

Foi escolhido o diâmetro do tubo de PVC com perfuração através da tabela acima. dividiu-se a vazão total, pela vazão de cada tubo, obtendo-se o número de tubos (N), como mostra a equação abaixo.

$$N = \frac{Qt}{Qtubo} = \text{tubos}$$

Dividiu-se o valor da distância longitudinal, dividindo esse valor pela quantidade de tubos, obtendo-se o espaçamento entre eles.

Nos cantos, a distância até o término é dada pelo espaçamento dividido por 2.

Para que essa água fosse direcionada para a rede de drenagem, foi dimensionado ainda um dreno longitudinal que capta a água dos drenos transversais instalados no pavimento e lança-os na galeria.

Foi escolhido o tubo e analisada a capacidade de vazão do tubo através da mesma tabela para escolha dos drenos transversais, as dimensões da vala serão de acordo com o diâmetro do tubo.

Vale salientar que todos os tubos serão revestidos por um geotêxtil para evitar a transferência de materiais para os tubos, evitando que os mesmos percam sua capacidade de drenagem, já que todos serão corrugados e perfurados.

A vala será preenchida de material drenante, no caso do estudo em questão será a mesma brita utilizada na sub-base do pavimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTUDO DA ÁREA PROPOSTA

A área estudada foi a Avenida Teotônio Segurado, o volume médio diário na faixa mais carregada é de 460 veículos, caracterizando a avenida como a mais importante via arterial de Palmas, caracterizada por possuir 26 km de extensão. O trecho estudado foi entre as avenidas LO 13 e LO 15 possuindo pavimento do tipo Tratamento Superficial Duplo (TSD) com aplicação de lama asfáltica em algumas vias.

Ao buscar informações na Prefeitura Municipal a respeito dos procedimentos para recuperação do pavimento no trecho estudado e em outros trechos da avenida, foi

informado que por não existir o projeto do pavimento, a recuperação deste foi realizado de forma empírica, no qual os procedimentos realizados foram a remoção da estrutura de 20 cm de altura da sub-base, 20cm de altura da base e retirado o revestimento TSD, apenas da faixa do corredor do ônibus, aplicando uma base e sub-base de solo-cimento de 40cm de altura e por fim a aplicação de um revestimento de CBUQ.

Possui mediações em nível, é ajuizada por semáforos com acesso à vias secundárias e locais, facilitando a circulação entre as regiões da cidade. Essa via é denominada Avenida, como comumente são chamadas as vias arteriais, possui volume e tráfego mais elevado e suas pistas são unidirecionais, possuindo um eixo, sua velocidade máxima é de 70 Km/h.

Apresenta um tráfego mais elevado nos horários de 8h:00min,12h:00min, 14h:00min e 18h:00min, com veículos caracterizados por possuírem cargas assinaladas como leve a médias.

O trecho dimensionado é mais utilizado para embarque e desembarque de pessoas já que é bem próximo à estação de ônibus coletivo, portanto, este apresenta algumas patologias, como são apresentadas nas fotos abaixo:

A figura abaixo apresenta um afundamento permanente nas trilhas de roda na pista de rolamento das estações de ônibus, são 4 vias, sendo que apenas a que está ligeiramente próxima à estação possui esse tipo de manifestação patológica.

Figura 22 - Afundamento com trincas



Fonte: Autor (2018)

A imagem abaixo (figura 18) expõe outra manifestação patológica encontrada no trecho, denominada como trincas couro de jacaré, causadas por fadiga nas trilhas de roda devido aos efeitos cumulativos carregamentos sucessivos.

Figura 23 - Trincas “ couro de jacaré”



Fonte: autor, 2018.

A figura 19 apresenta outro afundamento nas trilhas de rodas, exatamente onde há paradas de ônibus para embarque e desembarque de pessoas, uma das consequências desse tipo de patologia é o acúmulo de água no local, em períodos de chuva, prejudicando o deslocamento das pessoas e causando transtornos, como por

exemplo, os jatos de água lançados sobre as pessoas devido a chegada dos ônibus no local.

Figura 24 - Afundamento com solevamento lateral



Fonte: Autor (2018)

A figura 20 mostra o desgaste causado no asfalto do trecho estudado, isso ocorre devido a viscosidade do ligante cair significativamente, principalmente quando exposto a altas temperaturas como é o caso de Palmas. É caracterizado pela aspereza no local devido a perda do agregado ou argamassa fina no local. A presença de água no local também pode causar essa desagregação devido às pressões hidrostáticas.

Figura 25 - desgaste



Fonte: Autor (2018)

4.2 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

4.2.1 TRECHO ESCOLHIDO

O trecho dimensionado possui 147,00 metros de extensão por 14,00m de largura pois foram dimensionadas as quatro faixas, cada uma possuindo 3,5m de largura. Totalizando uma área de 2058,00 m².

$$A = 147,00 \times 14 = 2058,00 \text{ m}^2$$

4.2.2 INSTRUMENTOS PARA COLETA DE DADOS

O pavimento escolhido foi o de concreto permeável com placas pré-moldadas no local. E o sistema de infiltração escolhido foi o “ sem infiltração”, sendo removida pelo dreno e direcionada para a tubulação de drenagem local.

4.2.2.1 Áreas de contribuição

A área de contribuição foi definida em função da topografia local, separando as bacias por uma linha imaginária, usada como um divisor de águas traçada ao longo das partes mais elevadas. Em seguida foi definido um ponto de interesse, que foi a área dimensionada para implantação do pavimento permeável, representada na figura 21, a partir daí foram analisados os trechos que contribuíam para o acúmulo de água naquele local, sendo então calculadas as respectivas áreas de contribuição.

Por ser uma via arterial, recebe contribuição de avenidas que tangenciam o trecho e de estacionamentos próximos ao local, como mostra a ilustração abaixo.

A área de contribuição total é obtida através da soma de todas as áreas que influencia no dimensionamento, estas não devem ultrapassar 5 vezes o valor da área do pavimento a ser dimensionado.

Logo a somatória das áreas de contribuição (Ac) foi igual a 8969,93 m², o que é aceitável pois a norma estabelece que esse somatório não pode ultrapassar cinco vezes a área calculada para o pavimento, para este caso a área de contribuição máxima foi de 10290,00 m².

Seguem os cálculos abaixo.

- Área 1: Trecho da Avenida LO 15.

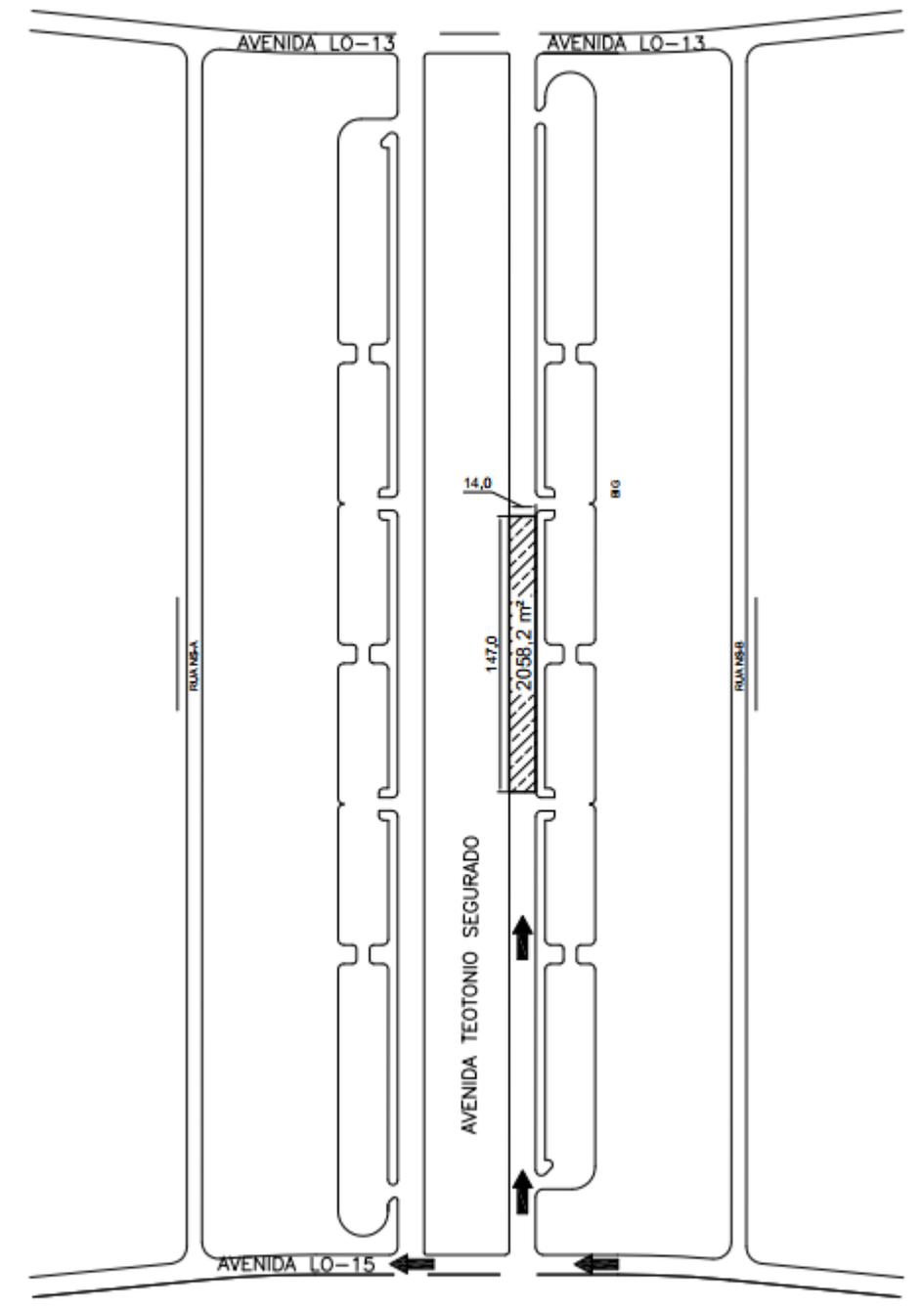
$$A = (10,5 \times 106,5) = 1118,25 \text{ m}^2$$

- Área 2: Contribuição dos estacionamentos.

$$A = (103,62 \times 26,5) + (63,5 \times 26,5) = 4428,68 \text{ m}^2$$

- Área 3: Contribuição do pavimento impermeável, iniciando da interseção entre a LO 15 até o trecho dimensionado para o pavimento permeável.

$A = 244,5 + 14,00 = 3423,00 \text{ m}^2$
 Figura 26 - Representação das áreas de contribuição



Fonte: Autor (2018)

4.2.2.2 Caracterização do solo

O ensaio de índice de suporte Califórnia foi realizado pelo laboratório de solos do Centro Universitário Luterano de Palmas, realizados por Mamed (2016) usando como referência a norma 172/2016 do DNIT que prevê os procedimentos e os cálculos necessários à correta obtenção dos dados.

Os laudos com os ensaios obtidos estão anexados ao final deste trabalho, o CBR adotado foi de 16%, calculado pela média dos valores ISC do molde 20, como mostra a figura abaixo.

Figura 27 - resultado do ensaio ISC

| Tempo | Penetração | | Pressão Padrão | Molde | 21 | | | Molde | 20 | | | Molde | 25 | | | |
|-------|------------|-------|----------------|-------|-------|---------|---------------------------|-------|---------|---------|---------------------------|-------|---------|---------|---------------------------|-----|
| | Min. | mm | | | Pol. | Leitura | Pressão Kg/m ² | | ISC | Leitura | Pressão Kg/m ² | | ISC | Leitura | Pressão Kg/m ² | ISC |
| | - | - | | | - | mm | Calcul. | | Corrig. | % | mm | | Calcul. | Corrig. | % | mm |
| 0,5 | 0,63 | 0,025 | - | 30 | 3,15 | | | 40 | 4,2 | | | 20 | 2,1 | | | |
| 1,0 | 1,27 | 0,050 | - | 50 | 5,24 | | | 70 | 7,3 | | | 35 | 3,7 | | | |
| 1,5 | 1,90 | 0,075 | - | 70 | 7,34 | | | 90 | 9,4 | | | 50 | 5,2 | | | |
| 2,0 | 2,54 | 0,100 | 70,31 | 95 | 9,96 | 10,0 | 14,2 | 115 | 12,1 | 12,1 | 17,1 | 65 | 6,8 | 6,8 | 9,7 | |
| 3,0 | 3,81 | 0,150 | - | 110 | 11,53 | | | 130 | 13,6 | | | 75 | 7,9 | | | |
| 4,0 | 5,08 | 0,200 | 105,46 | 130 | 13,63 | 13,6 | 12,9 | 150 | 15,7 | 15,7 | 14,9 | 80 | 8,4 | 8,4 | 8,0 | |
| 6,0 | 7,62 | 0,300 | - | 170 | 17,82 | | | 170 | 17,8 | | | 90 | 9,4 | | | |
| 8,0 | 10,16 | 0,400 | - | | | | | | | | | | | | | |
| 10,0 | 12,70 | 0,500 | - | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: laboratório de solos do CEULP/ULBRA (2016)

4.2.2.3 Caracterização do tráfego

Para levantamento desses dados, a princípio foi solicitado à prefeitura de Palmas o projeto de pavimentação da Avenida Teotônio Segurado, no entanto as informações obtidas foram que não existe o projeto em questão, desta foi utilizado como referência o levantamento em campo com a contagem dos veículos que trafegam o trecho em estudo (Avenida Joaquim Teotônio Segurado), por Mamede (2016).

A análise foi feita em horários de pico e horários intermediários, obtendo assim, o volume médio diário (VMD), que será utilizado no cálculo do número "N". Os horários nos quais foram feitos os levantamentos estão representados na figura abaixo, o levantamento foi feito em dois dias da semana.

Figura 28 - horários de levantamento do tráfego

| Horários | Períodos | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|
| Pico | 06:30 as 07:30 | 11:30 as 12:30 | 17:30 as 18:30 |
| Intermediário | 07:30 as 08:30 | 12:30 as 13:30 | 18:30 as 19:30 |

Fonte: Mamede (2016)

A tabela a seguir mostra o fluxo de veículos que ocorre em horários distintos.

Figura 29 - Fluxo de tráfego

| Estação Xambioá | | | | |
|-----------------|------------------------|--------------|------------|------------|
| Horários | Quantidade de veículos | | | |
| | Ônibus | micro-ônibus | carros | motos |
| 00:00 as 00:30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 00:30 as 01:30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01:30 as 02:30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02:30 as 03:30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 03:30 as 04:30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 04:30 as 05:30 | 35 | 3 | 6 | 9 |
| 05:30 as 06:30 | 35 | 3 | 6 | 9 |
| 06:30 as 07:30 | 68 | 3 | 11 | 7 |
| 07:30 as 08:30 | 35 | 3 | 6 | 9 |
| 08:30 as 09:30 | 35 | 3 | 6 | 9 |
| 09:30 as 10:30 | 35 | 3 | 6 | 9 |
| 10:30 as 11:30 | 35 | 3 | 6 | 9 |
| 11:30 as 12:30 | 36 | 8 | 20 | 8 |
| 12:30 as 13:30 | 28 | 5 | 14 | 10 |
| 13:30 as 14:30 | 28 | 5 | 14 | 10 |
| 14:30 as 15:30 | 28 | 5 | 14 | 10 |
| 15:30 as 16:30 | 28 | 5 | 14 | 10 |
| 16:30 as 17:30 | 28 | 5 | 14 | 10 |
| 17:30 as 18:30 | 64 | 4 | 18 | 22 |
| 18:30 as 19:30 | 30 | 3 | 10 | 11 |
| 19:30 as 20:30 | 30 | 3 | 10 | 11 |
| 20:30 as 21:30 | 30 | 3 | 10 | 11 |
| 21:30 as 22:30 | 30 | 3 | 10 | 11 |
| 22:30 as 23:30 | 30 | 3 | 10 | 11 |
| 23:30 as 00:00 | 15 | 1 | 5 | 5 |
| Total | 683 | 74 | 210 | 201 |

Fonte: Mamede (2016)

Feita a análise, foi obtido um tráfego médio diário de 967 veículos/dia, sendo desconsideradas apenas as motos.

4.2.3 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO RÍGIDO

A princípio foi calculado o volume total de tráfego (V_t), no período de projeto (P), sendo determinado através da equação abaixo.

$$V_t = 365 \times P \times V_m$$

Onde:

P- Período de projeto, considerando-se 20 anos.

V_m - Volume médio de tráfego, no trecho calculado, sendo 967.

Aplicando os dados na equação, tem-se:

Desta forma encontra-se o valor de V_t igual a $7,06E6$ para eixo simples de 6tf e $5,53E6$ para eixos simples de 10 tf.

A seguir foi utilizada a tabela do DNIT com o auxílio dos ábacos para verificar se a espessura adotada suportaria os efeitos de fadiga e erosão.

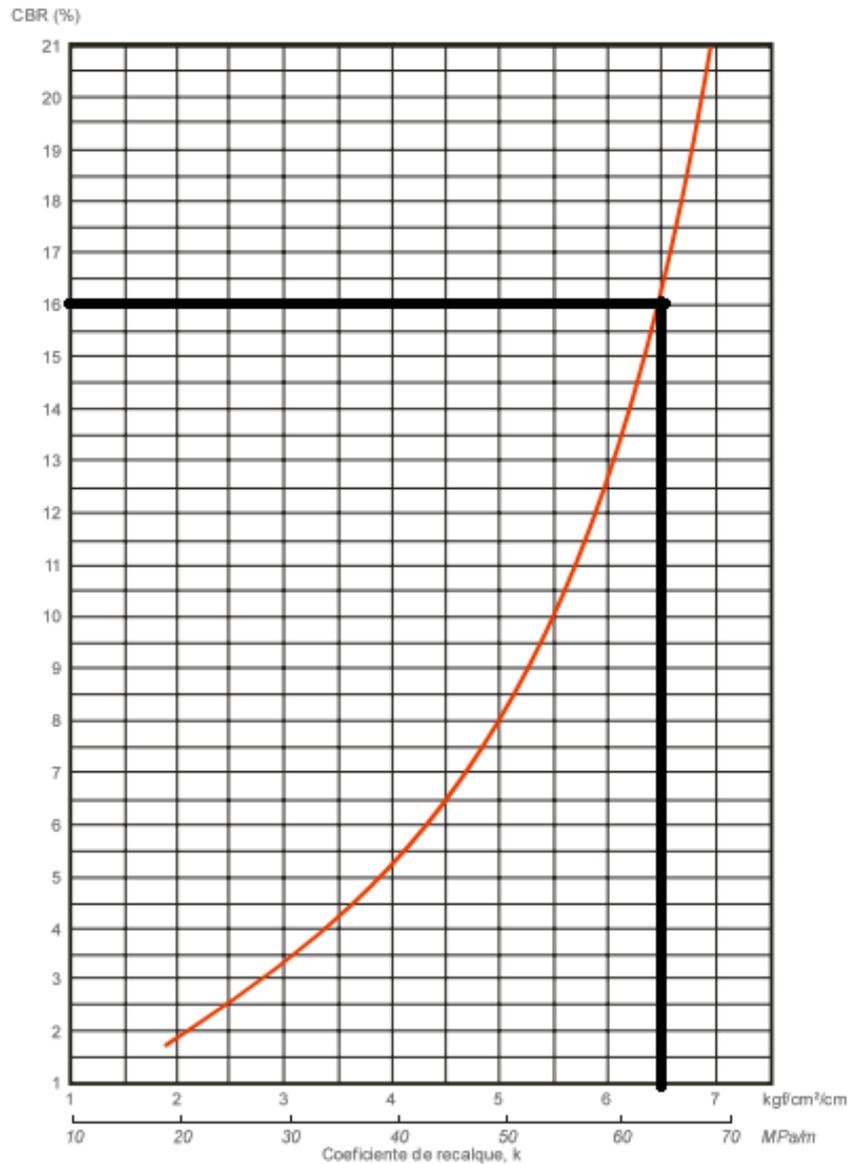
Foi utilizado também a tabela já citada na metodologia deste trabalho onde relaciona o índice de suporte Califórnia (CBR) e o coeficiente de recalque (k) do subleito, o CBR encontrado foi de 16% como já foi citado anteriormente.

Figura 30 - Quadro para dimensionamento do pavimento rígido

| QUADRO - CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO DE CONCRETO | | | | | | |
|--|----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Projeto: Pavimentos Rígido | | | Juntas com BT: não | | | |
| Espessura - tentativa: 25 cm | | | Acostamento de concreto: não | | | |
| Ksb: 60 MPa-m | | | Período de projeto: 20 anos | | | |
| Resistência característica à tração na flexão: 4,5 MPa | | | sub-base: 40cm | | | |
| Fator de segurança de cargas, fsc: 1,1 | | | | | | |
| CÁLCULO DE EIXOS TOTAIS POR CLASSE DE CARGA | | | | | | |
| Cargas por Eixo (tf) | Cargas por Eixo x Fsc (tf) | Nº de repetições previstas | ANÁLISE DE FADIGA | | ANÁLISE DE EROSÃO | |
| | | | Nº de repetições admissível | Consumo de Fadiga (%) | Nº de Repetições Admissível | Consumo de Fadiga (%) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| eixos simples | | (8) tensão equivalente: 1,26 | | | (9) fator de fadiga: 0,457 | |
| | | (10) fator de erosão: 2,76 | | | | |
| 6 | 6,6 | 7059100.00 | ilimitado | - | 15000000.00 | 4,71 |
| 10 | 11 | 5526100.00 | ilimitado | - | 5800000.00 | 95,28 |
| | | | TOTAL | 0 | TOTAL | 99,98 |

Fonte: Autor (2018).

Figura 31 - ábaco para obtenção do coeficiente K



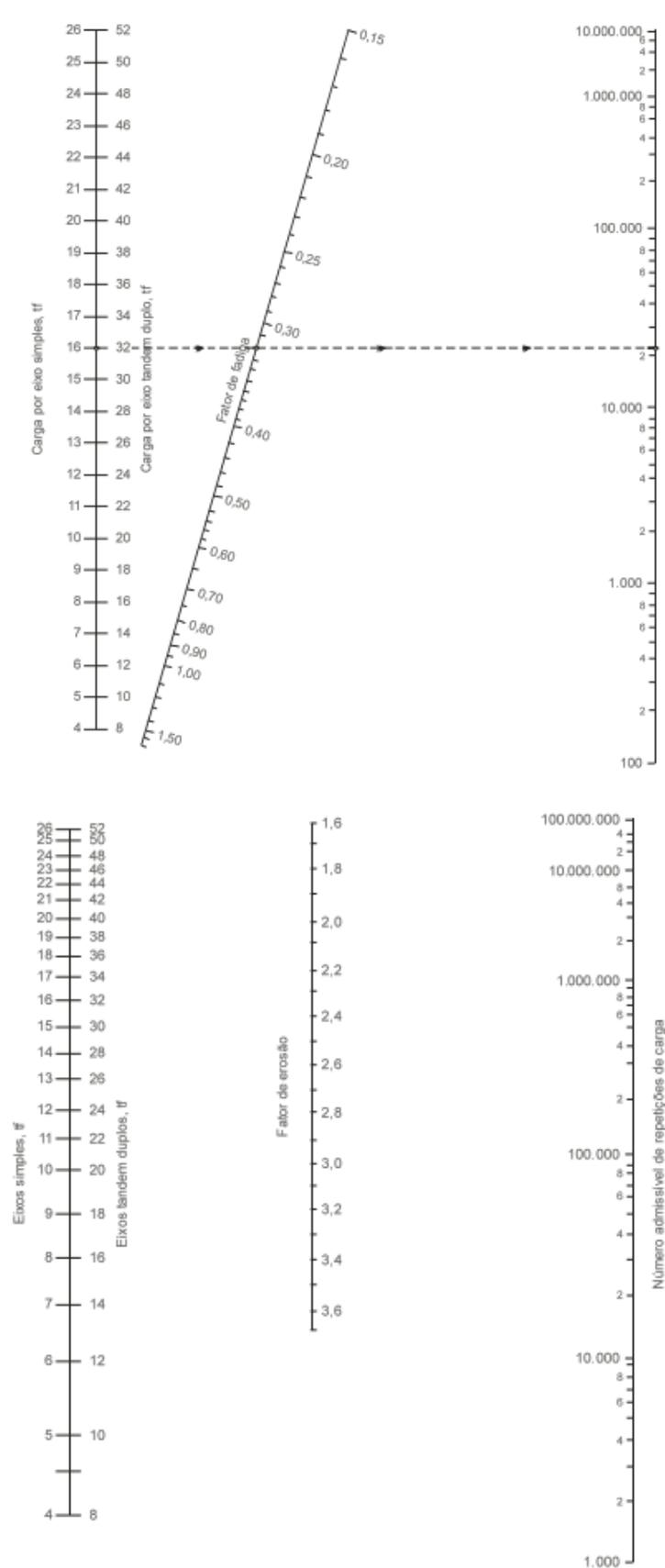
Fonte: Autor, 2018.

Como pode-se analisar na tabela, para um CBR de 16% tem-se um coeficiente de recalque igual a 60 MPa/m.

Para a obtenção do número de repetições admissíveis foram utilizados dois ábacos representados na figura 26

Na figura 26 está representado o número de repetições com base na análise de fadigas e no ábaco abaixo na análise do fator de erosão.

Figura 32 - Ábaco para a obtenção do número de repetições admissível



Fonte: DNIT, 2006

Para a obtenção da tensão equivalente e do fator de erosão foram utilizados os quadros das figuras 27 e 28, através dos quais foi possível obter o fator de erosão dividindo-se as repetições esperadas pelas admissíveis e multiplicando estas por 100.

Figura 33 - Tensão equivalente para eixos simples e tandem duplo.

| Espessura da Placa (cm) | k - Coeficiente de recalque (MPa/m) | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 20 | | 40 | | 60 | | 80 | | 100 | |
| | ES | ETD | ES | ETD | ES | ETD | ES | ETD | ES | ETD |
| 12 | 4,30 | 3,56 | 3,78 | 3,01 | 3,51 | 2,81 | 3,31 | 2,68 | 3,17 | 2,57 |
| 13 | 3,84 | 2,33 | 3,38 | 2,73 | 3,14 | 2,53 | 2,97 | 2,40 | 2,84 | 2,30 |
| 14 | 3,46 | 2,96 | 3,05 | 2,49 | 2,83 | 2,29 | 2,68 | 2,16 | 2,56 | 2,08 |
| 15 | 3,14 | 2,72 | 2,27 | 2,29 | 2,57 | 2,09 | 2,44 | 1,97 | 2,33 | 1,88 |
| 16 | 2,87 | 2,52 | 2,53 | 2,12 | 2,35 | 1,93 | 2,23 | 1,81 | 2,13 | 1,73 |
| 17 | 2,63 | 2,35 | 2,33 | 1,97 | 2,16 | 1,79 | 2,05 | 1,67 | 1,96 | 1,60 |
| 18 | 2,43 | 2,20 | 2,15 | 1,84 | 1,99 | 1,66 | 1,89 | 1,55 | 1,81 | 1,48 |
| 19 | 2,25 | 2,07 | 1,99 | 1,72 | 1,85 | 1,56 | 1,75 | 1,45 | 1,68 | 1,38 |
| 20 | 2,10 | 1,95 | 1,85 | 1,62 | 1,72 | 1,46 | 1,64 | 1,36 | 1,56 | 1,29 |
| 21 | 1,96 | 1,85 | 1,73 | 1,53 | 1,61 | 1,38 | 1,52 | 1,29 | 1,46 | 1,22 |
| 22 | 1,83 | 1,75 | 1,62 | 1,45 | 1,50 | 1,31 | 1,42 | 1,22 | 1,37 | 1,15 |
| 23 | 1,72 | 1,67 | 1,52 | 1,38 | 1,41 | 1,24 | 1,33 | 1,15 | 1,28 | 1,09 |
| 24 | 1,62 | 1,59 | 1,43 | 1,31 | 1,33 | 1,18 | 1,25 | 1,10 | 1,21 | 1,04 |
| 25 | 1,53 | 1,52 | 1,35 | 1,25 | 1,26 | 1,12 | 1,19 | 1,05 | 1,14 | 0,99 |
| 26 | 1,45 | 1,45 | 1,28 | 1,20 | 1,19 | 1,07 | 1,13 | 1,00 | 1,08 | 0,94 |
| 27 | 1,83 | 1,39 | 1,21 | 1,15 | 1,13 | 1,03 | 1,07 | 0,95 | 1,03 | 0,90 |
| 28 | 1,31 | 1,34 | 1,15 | 1,10 | 1,07 | 0,99 | 1,02 | 0,91 | 0,98 | 0,86 |
| 29 | 1,25 | 1,29 | 1,10 | 1,06 | 1,02 | 0,95 | 0,97 | 0,88 | 0,93 | 0,83 |
| 30 | 1,19 | 1,24 | 1,05 | 1,02 | 0,97 | 0,91 | 0,92 | 0,85 | 0,89 | 0,80 |
| 31 | 1,13 | 1,20 | 1,00 | 0,99 | 0,93 | 0,88 | 0,88 | 0,81 | 0,84 | 0,77 |
| 32 | 1,09 | 1,16 | 0,96 | 0,95 | 0,89 | 0,85 | 0,84 | 0,78 | 0,80 | 0,74 |
| 33 | 1,04 | 1,12 | 0,92 | 0,92 | 0,85 | 0,82 | 0,80 | 0,76 | 0,77 | 0,71 |
| 34 | 1,00 | 1,08 | 0,88 | 0,89 | 0,81 | 0,79 | 0,77 | 0,73 | 0,73 | 0,69 |

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT,2006

Figura 34 - fator de erosão para eixo simples e tandem duplo

| Espessura da Placa (cm) | k - Coeficiente de recalque (MPa/m) | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 20 | | 40 | | 60 | | 80 | | 100 | |
| | ES | ETD | ES | ETD | ES | ETD | ES | ETD | ES | ETD |
| 12 | 2,72 | 3,82 | 3,69 | 3,74 | 3,67 | 3,69 | 3,65 | 3,67 | 3,64 | 3,65 |
| 13 | 3,62 | 3,75 | 3,59 | 3,66 | 3,57 | 3,61 | 3,55 | 3,59 | 3,54 | 3,57 |
| 14 | 3,53 | 3,68 | 3,50 | 3,59 | 3,48 | 3,53 | 3,46 | 3,51 | 3,45 | 3,49 |
| 15 | 3,45 | 3,61 | 3,41 | 3,52 | 3,39 | 3,46 | 3,37 | 3,44 | 3,36 | 3,42 |
| 16 | 3,37 | 3,55 | 3,33 | 3,46 | 3,31 | 3,40 | 3,29 | 3,37 | 3,28 | 3,35 |
| 17 | 3,30 | 3,50 | 3,26 | 3,40 | 3,23 | 3,34 | 3,21 | 3,31 | 3,20 | 3,29 |
| 18 | 3,23 | 3,44 | 3,18 | 3,34 | 3,16 | 3,28 | 3,14 | 3,25 | 3,13 | 3,23 |
| 19 | 3,17 | 3,39 | 3,12 | 3,29 | 3,09 | 3,23 | 3,07 | 3,19 | 3,06 | 3,17 |
| 20 | 3,11 | 3,35 | 3,05 | 3,24 | 3,03 | 3,17 | 3,01 | 3,14 | 3,00 | 3,12 |
| 21 | 3,05 | 3,30 | 2,99 | 3,19 | 2,97 | 3,13 | 2,95 | 3,09 | 2,94 | 3,07 |
| 22 | 3,00 | 3,26 | 2,94 | 3,15 | 2,91 | 3,08 | 2,89 | 3,04 | 2,88 | 3,02 |
| 23 | 2,94 | 3,22 | 2,88 | 3,11 | 2,85 | 3,03 | 2,83 | 2,99 | 2,82 | 2,97 |
| 24 | 2,90 | 3,18 | 2,84 | 3,07 | 2,80 | 2,99 | 2,78 | 2,95 | 2,77 | 2,93 |
| 25 | 2,86 | 3,14 | 2,78 | 3,03 | 2,76 | 2,96 | 2,73 | 2,91 | 2,72 | 2,89 |
| 26 | 2,81 | 3,11 | 2,75 | 2,99 | 2,71 | 2,92 | 2,69 | 2,88 | 2,68 | 2,86 |
| 27 | 2,77 | 3,08 | 2,70 | 2,96 | 2,67 | 2,89 | 2,64 | 2,84 | 2,63 | 2,82 |
| 28 | 2,73 | 3,05 | 2,66 | 3,93 | 2,62 | 2,85 | 2,60 | 2,81 | 2,59 | 2,79 |
| 29 | 2,70 | 3,02 | 2,62 | 2,90 | 2,58 | 2,82 | 2,56 | 2,78 | 2,55 | 2,75 |
| 30 | 2,66 | 2,99 | 2,59 | 2,86 | 2,54 | 2,79 | 2,51 | 2,75 | 2,50 | 2,72 |
| 31 | 2,63 | 2,96 | 2,55 | 2,83 | 2,50 | 2,76 | 2,48 | 2,72 | 2,47 | 2,69 |
| 32 | 2,59 | 2,93 | 2,51 | 2,81 | 2,47 | 2,73 | 2,44 | 2,69 | 2,43 | 2,66 |
| 33 | 2,56 | 2,90 | 2,48 | 2,78 | 2,43 | 2,70 | 2,40 | 2,66 | 2,39 | 2,63 |
| 34 | 2,53 | 2,88 | 2,45 | 2,75 | 2,40 | 2,67 | 2,37 | 2,63 | 2,36 | 2,60 |

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT, 2006.

Para dimensionamento da espessura sub-base, tendo como base o Manual de pavimentação do DNIT (2006), deve-se levar em consideração o tipo de tráfego previsto e o tipo de pavimento, a variação da espessura pode ocorrer de 15 cm a 40 cm, nesse caso a espessura adotada foi de 40 cm devido ao tráfego, já mencionado anteriormente, e também levando em consideração a altura do reservatório calculado no dimensionamento hídrico cujo valor foi de 400mm, pois de acordo com o a NBR 16416:2015 o dimensionamento da camada de sub-base que tem a função de drenagem deve atender tanto ao dimensionamento hidráulico quanto ao dimensionamento mecânico e estrutural.

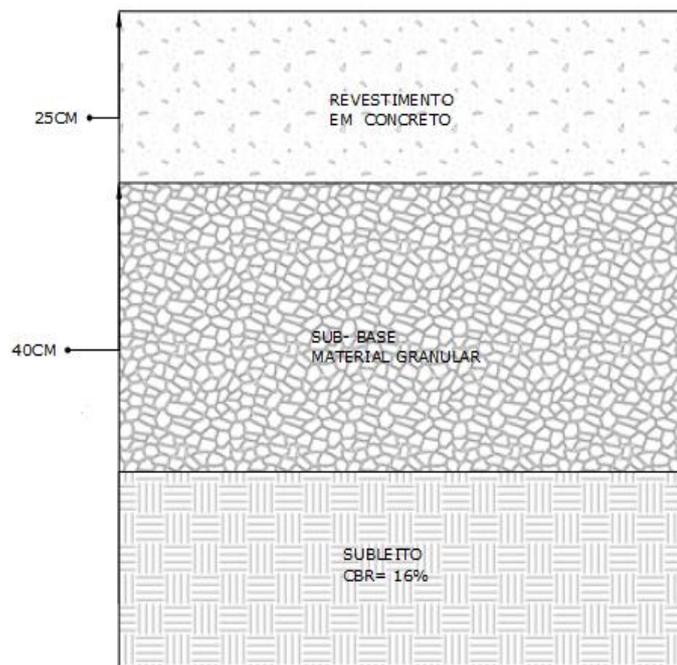
Pois com o tempo, devido às cargas, pode haver uma compactação da camada de sub-base reduzindo sua capacidade de drenagem.

Além desse critério para a escolha, o DNIT (2006) coloca que os valores mais elevados para essas camadas são geralmente adotados para tráfegos mais elevados,

no caso do estudo em questão, por se tratar de uma Avenida bem movimentada com cargas variadas.

Com essas análises supracitadas foi possível gerar a estrutura desse pavimento com suas respectivas camadas, possuindo um revestimento de concreto de 25 cm, uma sub-base de solo granular de 40cm e um subleito com CBR de 16% como mostra a figura 35.

Figura 35 - estrutura do pavimento rígido.



Fonte: autor, 2018

A permeabilidade da camada de concreto permeável com as mesmas características do pavimento do estudo em questão, foi definida através de ensaios obtidos por revisão bibliográfica, tendo como referência Acioli (2005) que utilizou a mesma espessura para pavimento em concreto permeável, sendo definida uma permeabilidade de 0,1571 cm/s, essa permeabilidade é a capacidade que a água tem de percolar a camada de concreto até chegar ao reservatório de brita em um determinado tempo.

É considerada uma boa permeabilidade pois a água percola rapidamente pelo pavimento diminuindo com maior rapidez o volume de água sobre o pavimento.

A tabela abaixo mostra os dados do ensaio.

Figura 36 - Ensaio de permeabilidade para pavimento de concreto permeável.

| Corpos de Prova | | | | | | | |
|-----------------|---------------|-------------------|------------------|-----------------|---------------|-------------------|------------------|
| 9 | | | | 10 | | | |
| L1 | 69,91 | D1 | 101,83 | L1 | 70,02 | D1 | 101,88 |
| L2 | 71,28 | D2 | 102,01 | L2 | 69,88 | D2 | 101,92 |
| L3 | 69,81 | D3 | 101,94 | L3 | 69,72 | D3 | 102,12 |
| L (mm) | 70,33 | D (mm) | 101,93 | L (mm) | 69,87 | D (mm) | 101,97 |
| Desvio | 0,82 | Desvio | 0,09 | Desvio | 0,15 | Desvio | 0,13 |
| A (cm²) | 81,60 | Col.d'água | 27,00 | A (cm²) | 81,67 | Col.d'água | 27,00 |
| Medição | M (g) | T (s) | Q (cm³/s) | Medição | M (g) | T (s) | Q (cm³/s) |
| 1 | 4697,30 | 90 | 52,192222 | 1 | 4698,30 | 90 | 52,20 |
| 2 | 4622,40 | 90 | 51,36 | 2 | 4429,30 | 90 | 49,21 |
| 3 | 4529,80 | 90 | 50,33 | 3 | 4125,30 | 90 | 45,84 |
| | | Média | 51,29 | | | Média | 49,08 |
| | | Desvio | 0,93 | | | Desvio | 3,19 |
| k (cm/s) | 0,1638 | | | k (cm/s) | 0,1555 | | |

| | |
|-----------------------|---------------|
| K médio (cm/s) | 0,1571 |
|-----------------------|---------------|

Fonte: Acioli, 2005.

Na tabela da figura 36, tem-se ensaio de permeabilidade da camada do pavimento de concreto, onde foi obtido o coeficiente de permeabilidade já mencionado anteriormente. Objetiva-se agora calcular o volume escoado pelo pavimento, para tal será utilizada a fórmula da vazão volumétrica já que se tem os dados fornecidos na tabela acima, de tempo que nesse caso é 90s e de vazão média que nesse caso é 50,185 cm³/s.

$$Qv = \frac{V}{t}$$

Onde:

Qv – vazão volumétrica

V – volume

T – tempo.

Substituindo os valores:

$$50,185 = \frac{V}{90} = 4516,65 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Com esses valores é possível calcular a quantidade de água absorvida pelo pavimento em 90s. Convertendo esse volume para m³ tem-se 0,00452 m³ e multiplicando esse valor pela área do pavimento, temos 9,30 m³.

Com isso entende-se que o pavimento consegue absorver aproximadamente 9300 litros em 1 minuto e 30 segundos.

4.2.2.4 Declividade do pavimento

A declividade utilizada no pavimento foi a mesma já utilizada no projeto anterior da Avenida, por se tratar de uma medida mitigadora em apenas um trecho da mesma.

Tal declividade é de 2%, o que é perfeitamente aceitável, pois a norma estabelece como aceitável, uma variação de 1% a 5%.

4.2.2.4 Dados climatológicos

Os dados de precipitação, temperatura atmosférica (Tar), umidade relativa do ar (H), número de horas de insolação (NHI), foram colhidos das bases climatológicas do Estado do Tocantins.

Foi definido um período de retorno de 5 anos, levando em consideração que para a microdrenagem pode variar de 5 a 10 anos, a partir deste dado e com os valores de precipitação local, foi possível dimensionar a precipitação utilizada para dimensionar o pavimento, que nesse caso, esse dado é estabelecido no Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas (2014).

Para o período de retorno de 5 anos, a precipitação será de 102,90mm. A Tar é a média entre a máxima e a mínima verificadas entre 9h e 15h do dia, obtendo-se então 32 °C, a umidade relativa do ar é em torno de 85% e o NHI é 2470 horas de insolação/ano. Os dados Tar, H e NHI foram para fazer a previsão de temperatura no topo da placa de concreto.

4.3 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO RESERVATÓRIO

4.3.1 Chuva de projeto

Foi calculada a altura do reservatório para comportar o volume drenado pela superfície, além do volume das áreas de contribuição, a precipitação foi obtida de acordo com o tempo de retorno determinado, assunto já explanado no tópico 4.2.2.3, e o tempo de duração foi de 40 min. Para determinação da chuva de projeto foi utilizada a equação do IDF da cidade de Palmas/TO, cujo resultado foi de 57,71 mm/h, como está representado logo abaixo.

$$i = \frac{749,97 * 5^{0,104}}{(40 + 9)^{0,702}} = 57,71 \text{ mm/h}$$

Dados: tempo de retorno (5 anos), duração da chuva (40min).

4.3.2 Camada do reservatório

Para a camada do reservatório foi escolhida a brita basáltica, os dados da caracterização do material foram obtidos por meio de revisão bibliográfica usando como referência Acioli (2005). Foram executados diversos ensaios para a utilização da brita como, granulometria, porosidade, índice de vazios, CBR e resiliência. No

entanto, os que interessam e se adequam ao presente trabalho são os de granulometria, índice de vazios e porosidade.

A tabela 1 abaixo mostra a organização quanto a granulometria da brita utilizada no pavimento.

Tabela 1: Granulometria da brita utilizada no pavimento.

| PENEIRA | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº 4 | Nº 10 | Nº 40 | Nº 80 | Nº100 |
|--------------|-----|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| PASSANTE (%) | 100 | 99,9 | 96,4 | 52,5 | 6,2 | 3,6 | 2,9 | 2,3 | 1 |

Fonte: Malisz *et.al* (2003) apud Acioli (2017)

A referida análise mostrou que a brita possui bastante uniformidade, pois seu coeficiente é 1,3, essa uniformidade permitiu que o pavimento se tornasse mais poroso. O valor obtido para o índice de vazios (e) foi de 0,57 e a porosidade igual a 0,36 (36%) cujo valor foi utilizado para determinar a altura do reservatório.

Para cálculo da altura do reservatório foi utilizado o volume retido pelo pavimento (V_r) e a porosidade (n) encontrada, dado pela fórmula abaixo.

$$H = \frac{V_r}{n} = mm$$

Para encontrar a altura foi calculado o V_r que é o volume admitido pelo reservatório e para que fosse encontrado o V_r , foi encontrado antes o fator de contribuição (C) de áreas externas ao pavimento permeável, por meio das fórmulas abaixo:

$$C = \frac{ip \times Ac}{Ap}$$

Onde, ip é a intensidade máxima da chuva de projeto, que foi calculada e obtido um valor de 57,71mm, Ac é a área de contribuição total para a pavimentação permeável que foi calculada e obtida um valor de 8969,93 m² e Ap é a área do pavimento permeável, que foi calculada, cujo resultado foi 2058,00 m².

Substituindo os valores temos:

$$C = \frac{57,71 \times 8969,93}{2058,00} = 251,51$$

Obtido o valor de contribuição, foi calculado o volume do reservatório, através dos cálculos abaixo:

$$V_r = (ip + C - I_e) \times t \times d$$

I_e é a taxa de infiltração para o subsolo, que nesse caso será zero pois o reservatório é parcial, ou seja impermeável, não ocorrerá infiltração para o solo, t é

o tempo de duração da chuva em horas, que nesse caso será 40 min o que equivale a 0,667 horas. Substituindo os valores encontrados tem-se que o volume de chuva a ser retido pelo reservatório é de 206,25 mm, esse volume é dado em milímetros pois é por unidade de área, como mostra a equação abaixo.

$$Vr = (57,71 + 251,51 - 0) \times 0,667 = 206,25 \text{ mm}$$

Obtivo esses valores, foi possível dimensionar a altura do reservatório, levando em consideração o Volume retido e a porosidade do material, através dos seguintes cálculos:

$$H \frac{206,25}{0,36} = 572,91 \text{ mm}$$

Colocando a altura do reservatório em medida construtiva, e levando em consideração que o DNIT só admite espessura máxima de 40cm, adotou-se 400mm.

Esse volume não pode permanecer mais de 72h no reservatório, como prevê a norma, entendido isso, foi calculado o tempo de esvaziamento do reservatório (tesv).

$$tesv = \frac{H}{qs} = \text{min}$$

Para encontrar esse tempo, calculou-se antes a vazão de saída constante do dispositivo, sendo esta dada em mm/h, infiltração esse valor foi obtido através do banco de dados do Centro Universitário Luterano de Palmas, cujo valor médio foi de $qs=10,4\text{mm/h}$.

Feito isso, foi encontrado o tempo de esvaziamento, como mostra a equação abaixo:

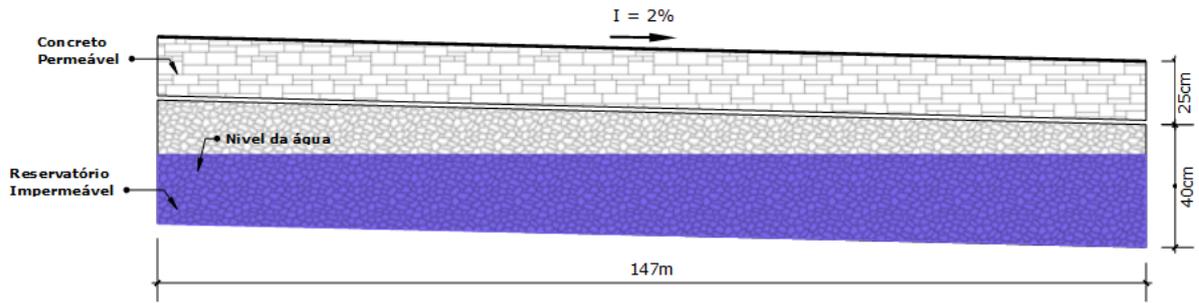
$$tesv = \frac{500}{10,4} = 40,07 \text{ h}$$

O tempo de esvaziamento está dentro do aceitável, pois de acordo com Acioli (2005), o período máximo para esvaziamento deve ser de 72h. Levando em consideração que as chuvas na cidade de Palmas/TO são de curta duração e alta intensidade, logo a próxima chuva que vier o reservatório estará sempre vazio, pronto para receber a chuva conseguinte.

Logo o perfil longitudinal do reservatório está representado na imagem abaixo, com 40 cm de altura com um revestimento de concreto permeável de 25 cm.

O reservatório possui é impermeabilizado para que a água não penetre no subsolo, já que este encontra-se compactado devido a existência de um pavimento anterior, diminuindo assim, sua capacidade de absorção.

Figura 37 - Perfil longitudinal do reservatório.



Fonte: autor, 2018.

4.3.3 DIMENSIONAMENTO DOS DRENOS DE COLETA

No reservatório de brita, ou seja, na sub-base do pavimento permeável foram instalados tubos perfurados com o objetivo de remover toda a água infiltrada. A superfície do reservatório possui uma inclinação de 1%. A taxa runoff do pavimento, equivale a 57,71mm/h que convertendo para m/s tem-se 0,0001603m/s.

O coeficiente de permeabilidade (k) do reservatório é de 0,15 m/s, esse valor foi obtido através da tabela obtida por revisão bibliográfica utilizando como referência Brasil (2006), como mostra a figura 34.

A área total que contribui para a vazão na sub-base é a soma da área do pavimento com a área de contribuição, já calculadas, totalizando uma área de 12348 m².

Considerando-se a infiltração da taxa de runoff tem-se que a vazão total de drenagem é:

$$Q = 12348m^2 \times 0,0001603m/s = 0,197m^3/s$$

Logo, a vazão de drenagem será 197 l/s. com essa vazão, utilizando a equação da vazão volumétrica

Figura 38 - tabela de coeficiente de permeabilidade (k)

| Material | Granulométrica (cm) | Condutividade Hidráulica K | | |
|--------------|------------------------|-------------------------------|---------|---------|
| | | (cm/s) | (mm/h) | (m/s) |
| Brita 5 | 7,5cm a 10cm | 100 | 3600000 | 1 |
| Brita 4 | 5 a 7,5 | 60 | 2160000 | 0,6 |
| Brita 3 | 2,5 a 5 | 45 | 1620000 | 0,45 |
| Brita 2 | 2 a 2,5 | 25 | 900000 | 0,25 |
| Brita 1 | 1 a 2 | 15 | 540000 | 0,15 |
| Brita 0 | 0,5 a 1 | 5 | 180000 | 0,05 |
| Areia grossa | 0,2 a 0,5 | 1×10^{-1} | 3600 | 0,001 |
| Areia fina | 0,005 a 0,04 | 1×10^{-3} | 36 | 0,00001 |
| Silte | 0,0005 a 0,005 | 1×10^{-5} | 0,36 | 1E-07 |
| Argila | Menor que 0,0005 | 1×10^{-8} | 0,00036 | 1E-10 |

Fonte: Brasil, 2006.

Para a escolha do diâmetro do tubo, foi utilizado como referência a tabela de vazões encontrada por revisão bibliográfica, tendo como referência Tomaz (2013).

Figura 39 - vazões e seção plena dos tubos

| Diâmetro da tubulação | | Vazão a seção plena (m ³ /s) | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|---|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| | | m/m | m/m | m/m | m/m | m/m | m/m | m/m | m/m | m/m | m/m |
| cm | m | 0,005 | 0,01 | 0,015 | 0,02 | 0,025 | 0,03 | 0,035 | 0,04 | 0,045 | 0,05 |
| 5 | 0,05 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,002 |
| 10 | 0,10 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,006 | 0,007 | 0,008 | 0,008 | 0,009 | 0,010 | 0,010 |
| 15 | 0,15 | 0,009 | 0,013 | 0,016 | 0,019 | 0,021 | 0,023 | 0,025 | 0,026 | 0,028 | 0,030 |
| 20 | 0,20 | 0,020 | 0,028 | 0,035 | 0,040 | 0,045 | 0,049 | 0,053 | 0,057 | 0,060 | 0,064 |
| 25 | 0,25 | 0,036 | 0,052 | 0,063 | 0,073 | 0,082 | 0,089 | 0,097 | 0,103 | 0,109 | 0,115 |
| 30 | 0,30 | 0,059 | 0,084 | 0,103 | 0,119 | 0,133 | 0,145 | 0,157 | 0,168 | 0,178 | 0,188 |
| 35 | 0,35 | 0,089 | 0,127 | 0,155 | 0,179 | 0,200 | 0,219 | 0,237 | 0,253 | 0,268 | 0,283 |
| 40 | 0,40 | 0,128 | 0,181 | 0,221 | 0,256 | 0,286 | 0,313 | 0,338 | 0,361 | 0,383 | 0,404 |
| 45 | 0,45 | 0,175 | 0,247 | 0,303 | 0,350 | 0,391 | 0,428 | 0,463 | 0,495 | 0,525 | 0,553 |

Fonte: Tomaz, 2013.

Em vista disso, foi escolhido o tubo com diâmetro de 200mm de PVC com perfuração cuja vazão é 28 l/s. dividiu-se a vazão total, 197 l/s pela vazão de cada tubo, obtendo-se o número de tubos (N), como mostra a equação abaixo.

$$N = \frac{197}{28} = 7,1 \text{ tubos}$$

Como a distância da base da área permeável é 147m, dividindo esse valor pela quantidade de tubos (8), tem-se o espaçamento entre eles, obtendo-se assim 18,5m entre cada tubo.

Nos cantos, a distância até o término é dada por 18,5m/2, sendo igual a 8,75m. A imagem abaixo mostra o detalhamento aproximado do dreno.

O tubo de dreno longitudinal para receber essa água terá 450mm, para carregar a vazão drenada pelos 8 tubos longitudinais.

As dimensões serão de acordo com o dimensionamento sugerido por Brasil (2006), onde deve-se calcular a largura da vala somando-se o diâmetro com mais 50 cm, como o diâmetro será de 45 cm, tem-se uma largura de 95 cm, como mostra a equação abaixo.

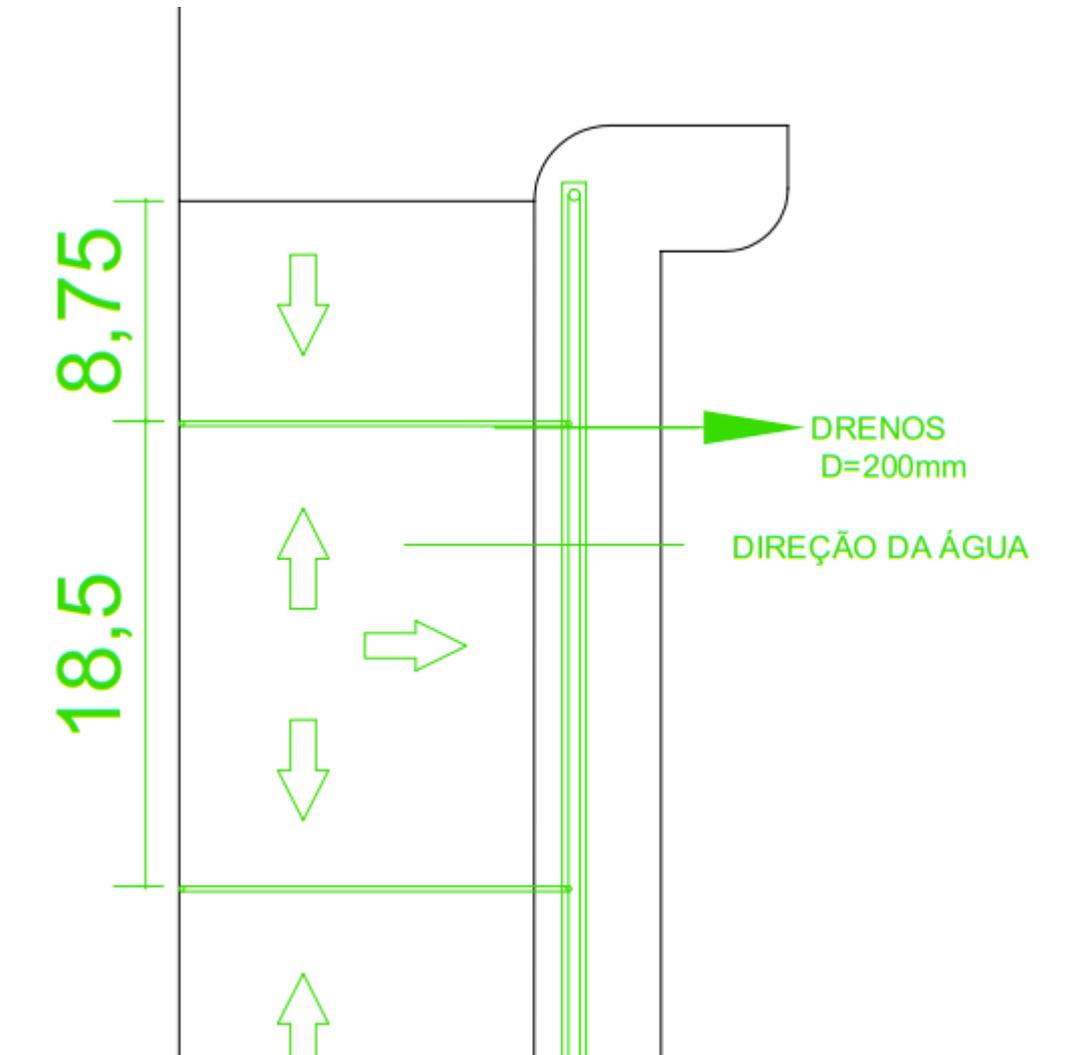
$$L = DN + 50$$

Onde:

L – é a largura da vala;

DN – é o diâmetro nominal e os 50 cm são da própria equação. A altura adotada foi a recomendada por Brasil (2006) para valas para tráfego pesado, cujo valor é 1,20.

Figura 40 - Detalhamento do dreno



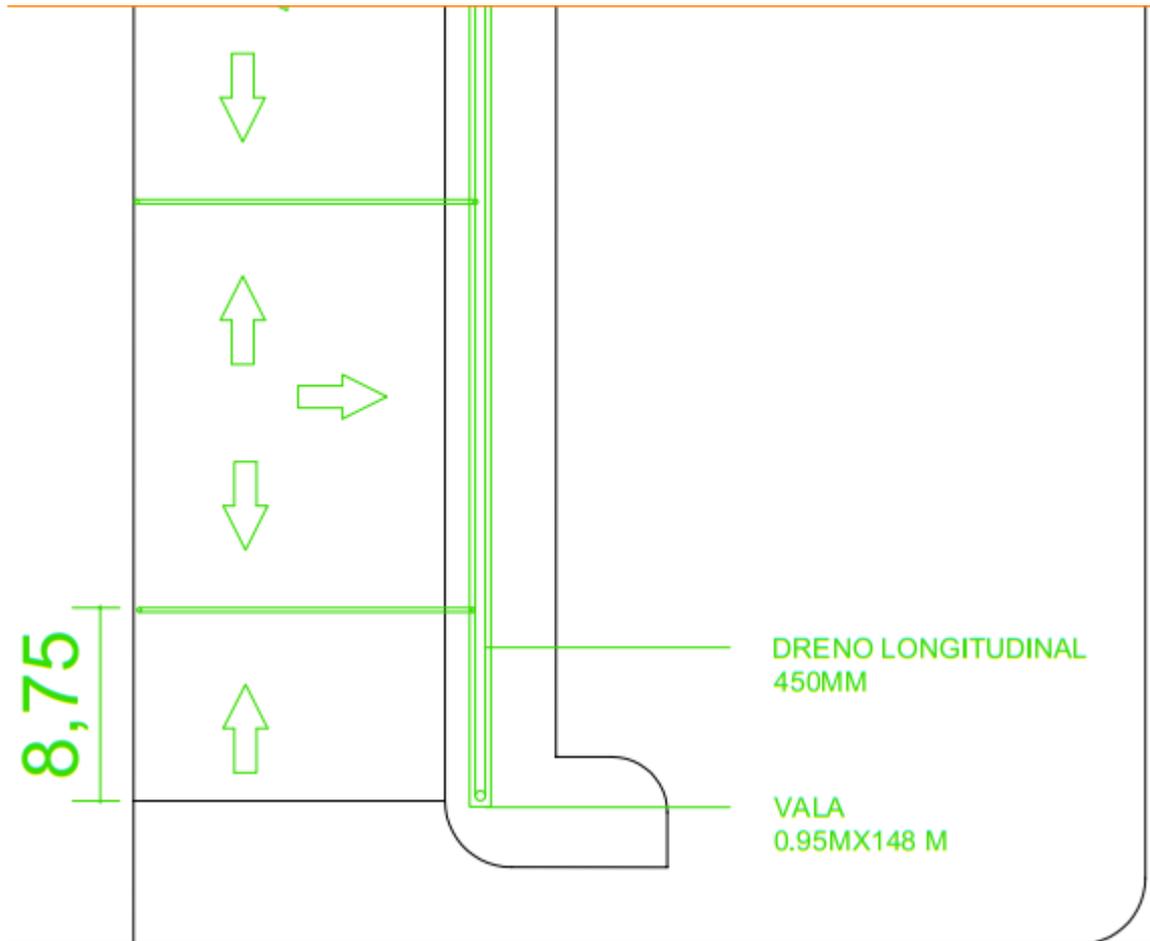
Fonte: Autor, 2018.

Na imagem é possível ver o detalhamento do drenos, especificando o espaçamento entre os mesmos de 18,5 m e nas bordas uma distância de 8,75m.

Os drenos transversais, possuem um diâmetro de 200mm e o dreno longitudinal, possui um diâmetro de 450mm, onde este receberá a água do reservatório do pavimento e direcionará para a rede de drenagem local.

Todos os drenos são perfurados, e as camadas são separadas por geotêxteis para que não tenha transferência de materiais.

Figura 41 - Detalhamento dos drenos e da vala

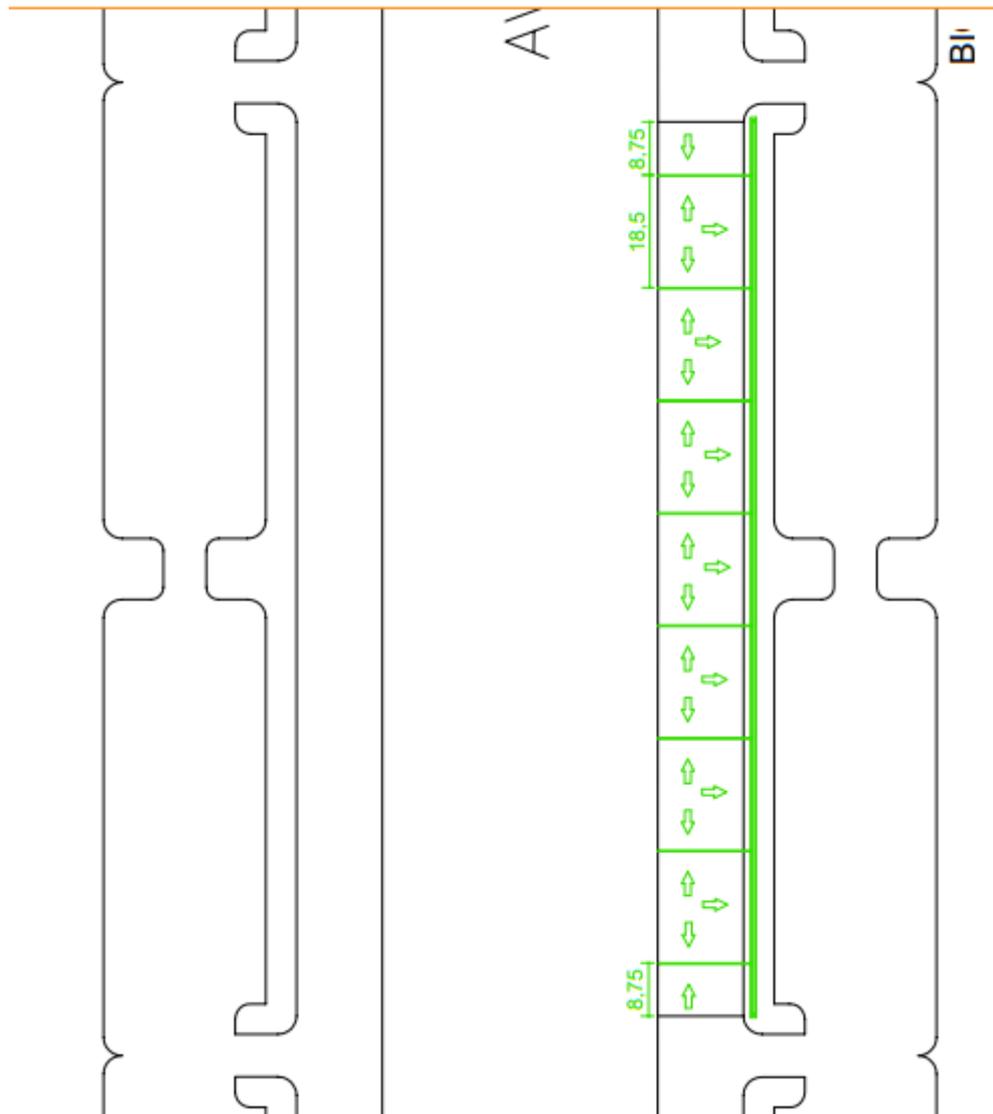


Fonte: Autor, 2018.

Na figura 41, é possível ver o detalhamento do dreno longitudinal, com 450 mm, e das dimensões da vala para sua instalação.

A vala possui uma largura de 95 cm e uma altura de 1,20 m revestida de material drenante, brita, para uma que seja também permeável. A vala é revestida por material geotêxtil para evitar transferência de material.

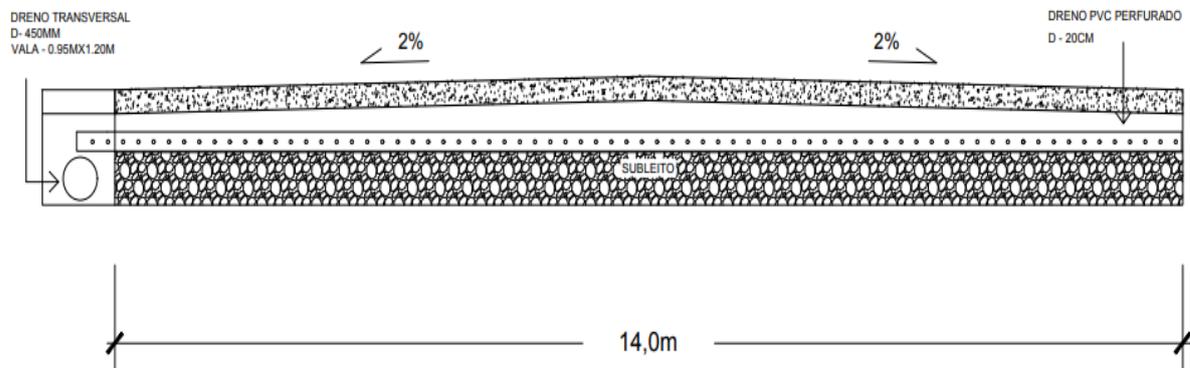
Figura 42 - Detalhamento dos drenos



Fonte: Autor, 2018.

A imagem 42 mostra a distribuição dos drenos no pavimento dimensionado

Figura 43 - perfil transversal do pavimento com os drenos



Fonte: Autor, 2018.

Nesse perfil é possível perceber a estrutura do pavimento, este tem uma camada de 25 cm feita de Cimento Portland e logo abaixo um reservatório que também tem função de sub-base de 40 cm, neste é possível observar a inserção dos drenos transversais, já que o mesmo é impermeável, não transferindo a água para o subleito, evitando erosão da base e possíveis recalques prejudiciais.

Os drenos são todos perfurados, os transversais são de pvc e o longitudinal é de concreto.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Inicialmente foi apresentada a situação da área estudada, trecho da Avenida Joaquim Teotônio Segurado interceptado pelas Avenidas LO 13 e LO 15, onde em épocas de chuva, apresenta grandes volumes de água podendo chegar a Alturas de 57,71mm o que torna quase inviável o trânsito naquele trecho em épocas de chuvas intensas.

Dada a grande importância da avenida supracitada para a cidade de Palmas-TO foi proposto neste trabalho um estudo para projeto de dimensionamento de um pavimento em concreto permeável com sub-base com função de reservatório visando reduzir a lâmina de água naquele local, direcionando-a para a rede de drenagem, apresentando antes as características do trecho, evidenciando as patologias existentes.

O pavimento apresentou algumas manifestações patológicas, no entanto estas manifestações são mais evidentes na faixa de ônibus, tais como afundamentos com trincas, trincas de jacaré, afundamento com solevamento lateral devido às cargas exercidas no local por se tratar de uma estação de ônibus utilizada para embarque e desembarque de pessoas, mas o pavimento de um modo geral encontra-se em bom estado de conservação, conclui-se com isso que este foi adequadamente dimensionado para a solicitação do tráfego nesse trecho.

Outro problema das patologias no local como o afundamento, por exemplo, é o acúmulo de água prejudicando o deslocamento de pessoas e causando transtornos como o lançamento de jatos d'água nas pessoas próximas devido a chegada dos ônibus ou a passagem de outros tipos de veículos.

Para solucionar o problema referente aos alagamentos no local foi apresentado um dimensionamento de um pavimento em concreto permeável com sub-base com função de reservatório para acelerar a drenagem local, este foi realizado de acordo com as normas do PCA 1984, onde foi levado em consideração o modelo modificado de fadiga, modelo de erosão, onde emprega-se a análise estrutural por elementos finitos.

Para tal, foi realizado um estudo do tráfego no local para que realização do dimensionamento, onde foi calculado o volume total de veículos, o coeficiente de recalque do subleito através do CBR encontrado por meio de ensaios, com esse coeficiente de recalque foi possível analisar os ábacos para determinação da

espessura do pavimento por meio do número de repetições admissíveis considerando-se os fatores de erosão e fadiga.

A espessura adotada ocorreu por meio de tentativas, analisando sempre os seus efeitos sobre a estrutura através do coeficiente de recalque, que foi de 60 MPa, observando também as tensões equivalentes para os eixos simples e tandem duplo, com todos os dados obtidos foi possível preencher a tabela para dimensionamento da espessura do pavimento.

A espessura-tentativa adequada foi de 25cm, a sub-base granular de 50cm, tais espessuras são aceitáveis para o dimensionamento pois encontram dentro dos padrões sugeridos pela norma utilizada como base de cálculo.

O dimensionamento do reservatório foi realizado utilizando como dados a precipitação local, período de retorno de 5 anos para chuvas com duração de 40min. Foi possível dimensionar um reservatório com um volume de 206,25mm por unidade de área com altura de 50cm e tempo de esvaziamento de 40,07h todos os dados obtidos são devidamente aceitáveis, estando dentro dos exigidos pelas normas analisadas.

Para trabalhos futuros sugere-se que seja realizado um estudo com pavimento com revestimento do tipo CPA para observar a capacidade de absorção deste comparado com o pavimento com revestimento de concreto.

Sugere-se também que seja feito um estudo de viabilidade de implantação do pavimento em concreto permeável para a região estudada apresentando suas vantagens e desvantagens, além de fazer ensaios de resistência para analisar a sua capacidade no tráfego pesado.

REFERÊNCIAS

ACIOLI, L.A. **Estudo Experimental para Pavimentos Permeáveis para o Controle do Escoamento Superficial na Fonte**. Ano: 2005. Disponível em:<
<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5843/000521171.pdf?sequence=1>>
 . Acesso em: 23 de outubro de 2017.

ARAÚJO, P.R.; TUCCI, C.E.M.; GOLDENFUND, J.A. 2000. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos. Volume 5, n.3, jul/set 2000. Disponível em:<
<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3006/000330321.pdf?sequence=1>>
 >. Acesso em: 25/04/2018.

BALBO, J.T. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: Materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de textos: reimpressão, 2015.

BATEZINI, R. **Estudo Preliminar de Concretos Permeáveis como Revestimento de Pavimento Para Área de Veículos Leves**. Ano: 2013. Disponível em:<
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/en.php>>.
 Acesso em: 23 de outubro de 2017.

BERNUCCI, L.B; MOTTA, L.M.G; CERATTI, J.A.P; SOARES, J.B. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: Formação Básica para Engenheiros**. Disponível em:<
<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2011/08/Pavimenta%C3%A7%C3%A3o-Asf%C3%A1ltica-cap7.pdf>>. Acesso em: 11 de setembro de 2017

BRASIL. **CONSTITUIÇÃO FEDERAL: Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Disponível em:<
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm> Acesso em: 10 de setembro de 2017.

BRASIL. **Drenagem Urbana**. Disponível em:<
www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/.../SUD0103_WR102_Fl.pdf>. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

BRASIL. **MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO**. DNIT, 2006. Disponível em:<
https://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf>. Acesso em: 11 de setembro de 2017.

BRASIL. **PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE PALMAS – TO: Drenagem Urbana**. Volume III. Palmas- 2014. Disponível em:>
http://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB_Palmas_Volume_03_Drenagem_Urbana_Versao_Final_1.pdf>. Acesso em: 11 de setembro de 2017.

CALDEIRA, L.C; BESKOW, S; MELLO, C.R; FARIA, L.C; SOUZA, M.R; GUEDES, H.A.S. **Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.19. Campina Grande, 2015. Disponível em:<
https://www.researchgate.net/profile/Hugo_Guedes/publication/273909906_Modelagem_probabilistica_de_eventos_de_precipitacao_extrema_no_estado_do_Rio_Grande>

e_do_Sul/links/551e986a0cf2a2d9e13c28b0.pdf>. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

CANHOLE, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2.ed. São Paulo: oficina de textos, 2014.

CARVALHO, D, F; SILVA, L, D, B. **HIDROLOGIA**. Ano: 2006. Cap.07, escoamento superficial. Disponível em< <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>>. Acesso em: 23 de outubro de 2017.

CASTRO, A,S. **Uso de Pavimentos Permeáveis e Coberturas Verdes no Controle Quali-Quantitativo no Escoamento Superficial Urbano**. Ano: 2011. Disponível em:< <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/55975> >. Acesso em: 23 de outubro de 2017.

FONTELLE, M,J. SIMÕES, M,G. FARIAS,S,H. FONTELLES,R,G,S. **METODOLOGIA DA PESQUISA CIENTÍFICA**: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. Ano 2009. Disponível em:<https://cienciassaude.medicina.ufg.br/up/150/o/Anexo_C8_NONAME.pdf>. Acesso em: 18 de outubro de 2017.

GIONGO, J,S. **CONCRETO ARMADO: Introdução e Propriedades dos materiais**. Ano: 2007. Disponível em:< http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd_Prop_Materiais.pdf>. Acesso em: 29 de outubro de 2017.

HOLTZ, F.C. **USO DE CONCRETO PERMEÁVEL NA DRENAGEM URBANA: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental**. Disponível em:< <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35615/000795199.pdf?sequence=>> . Acesso em: 11 de setembro de 2017.

LAMB, G.S. **Desenvolvimento e Análise do Desempenho de Elementos de Drenagem e Fabricados em Concreto Permeável**. Disponível em:< <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/114985/000954748.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 de ago.2017.

MAMEDE, M,M. **Estudo de Pavimento e Acessibilidade das estações de ônibus da Avenida Joaquim Teotônio Segurado em Palmas –TO**. Ano: 2016. Palmas. Centro Universitário Luterano de Palmas.

MARIANO, H, R. **Influência do Teor de Argamassa e da Granulometria da Brita na Permeabilidade e nas Resistências à Compressão e à Abrasão de Concretos Permeáveis**. Ano: 2014. Disponível em:< <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/4071>>. Acesso em: 29 de outubro de 2017.

MARTINE, G; CAMARANO, A. A; NEUPERT, R. BELTRÃO, K. **A urbanização no Brasil: Retrospectiva, componentes e perspectivas.** Disponível em: <<http://www.abep.org.br/~abeporgb/publicacoes/index.php/anais/article/download/456/442>>. Acesso em: 28 de ago. 2017.

METHA, P, K; MONTEIRO, P, J, M. **CONCRETO: Microestruturas, Propriedades e Materiais.** 3ª ed. São Paulo. IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto. Ano: 2008

MINAYO, M. C. S. et. al. **PESQUISA SOCIAL: teoria, método e criatividade.** 21 ed, Vozes, Rio de Janeiro, 1994.

MONTEIRO, A,C,N. **CONCRETO POROSO: dosagem e desempenho.** Ano: 2010. Disponível em:< https://www.eec.ufg.br/up/140/o/CONCRETO_POROSO_DOSAGEM_E_DESEMPE_NHO.pdf>. Acesso em: 23 de outubro de 2017.

NEVILLE, A,M. **Tecnologia do Concreto.** 2ª ed. São Paulo. Editora Boockman. Ano 2013.

PEREIRA,S.L.O. **Avaliação Dos Tratamentos Superficiais Simples, Duplo E Triplo De Rodovias Através Do Emprego De Diferentes Agregados Da Região Metropolitana De Fortaleza.** Disponível em:< http://repositorio.ufc.br/ri/bitstream/riufc/11170/1/2013_dis_slopereira.pdf>. Acesso em: 11 de setembro de 2017.

PONTE, J.P.X. et.al. **URBANIZAÇÃO E DRENAGEM URBANA: concepções divergentes na bacia da estrada nova, Belém-pa.** In: Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo. 3. 2014. Belém. Anais. Disponível em:< <http://anpur.org.br/app-urbana-2014/anais/ARQUIVOS/GT4-254-119-20140531021826.pdf>>. Acesso em: 28 de ago.2017.

SENÇO, W. d. **Manual de Técnicas de Pavimentação (2 ed.).** São Paulo. PINI vol. 11. Ano: 2007.

SENTONE, D, T. **Desenvolvimento de método para medida de permeabilidade superficial de revestimentos de argamassa.** Escola politécnica de São Paulo. Ano: 2011. Disponível em:< www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/.../Dissertacao_Daniel_Tourinho_Sentone.pdf> . Acesso em: 01/05/2018.

SEPERLING, M.V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de esgotos.** 3º edição. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005, quarta reimpressão: 2009.

SOUZA, R, C; LOPES, L, B. **A questão das inundações em Palmas (TO), segundo a percepção de moradores e usuários: contribuição ao processo preventivo por meio da educação ambiental.** Núcleo de Educação, Meio

Ambiente e Desenvolvimento. Palmas, TO. ISSN 1806-6062 Ano: 2012. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/interface/article/view/369/259>>. Acesso em: 29 de outubro de 2017.

TOMAZ, PLÍNIO. **MÉTODO RACIONAL** . 2013. 15 f. MESTRADO (CURSO DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS)- uNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, [S.I.], 2013. 1. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo02.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2018.

TREPADO apud ROSSO, T. ARNS, P. **Influência da Granulometria na Drenabilidade das Misturas Asfálticas**. Disponível em:<

<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5001/1/TatianaRosso.pdf>>. Acesso em: 29 de ago.2017.

TUCCI, C, E, M. **Águas Urbanas**. Ano: 2008. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a07>>. Acesso em: 29 de outubro de 2017.

VIRGILIS, A, L, C. **Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheia**. São Paulo. Ano:2009. Disponível em:< www.teses.usp.br/teses/.../3/.../Dissertacao_Afonso_Luis_Correa_de_Virgiliis.pdf>. Acesso em: 25 de outubro de 2017.