

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**BRUNO CARVALHO GODINHO
GUSTAVO RODRIGUES FERREIRA SILVA**

**DIMENSIONAMENTO E EXECUÇÃO DE PAVIMENTO
FLEXÍVEL: ESTUDO DE CASO EM LOTEAMENTO
FECHADO**

ANÁPOLIS / GO

2015

**BRUNO CARVALHO GODINHO
GUSTAVO RODRIGUES FERREIRA SILVA**

**DIMENSIONAMENTO E EXECUÇÃO DE PAVIMENTO
FLEXÍVEL: ESTUDO DE CASO EM LOTEAMENTO
FECHADO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: MESTRA ISA LORENA SILVA BARBOSA

ANÁPOLIS / GO: 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

GODINHO, BRUNO CARVALHO. SILVA, GUSTAVO RODRIGUES FERREIRA

Dimensionamento e execução de pavimento flexível: estudo de caso em loteamento fechado [Goiás] 2015

61P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2015).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Pavimento flexível

2. Dimensionamento

3. Execução

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GODINHO, B. C.; SILVA, G. R. F. Dimensionamento e execução de pavimento flexível: estudo de caso em loteamento fechado. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 61p. 2015.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Bruno Carvalho Godinho, Gustavo Rodrigues Ferreira Silva.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Dimensionamento e execução de pavimento flexível: estudo de caso em loteamento fechado.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2015

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Bruno Carvalho Godinho
E-mail: brunocarvalho07@live.com

Gustavo Rodrigues Ferreira Silva
E-mail: gustavorodriguesf@live.com

**BRUNO CARVALHO GODINHO
GUSTAVO RODRIGUES FERREIRA SILVA**

**DIMENSIONAMENTO E EXECUÇÃO DE PAVIMENTO
FLEXÍVEL: ESTUDO DE CASO EM LOTEAMENTO
FECHADO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

**MESTRA ISA LORENA SILVA BARBOSA (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**

**ANDRÉA LÚCIO QUEIROZ, Especialista (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**BENJAMIM JORGE R. DOS SANTOS, Doutor (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 06 de novembro de 2015.

“Nem olhos viram, nem ouvidos ouviram, nem jamais penetrou o coração humano, o que Deus tem preparado para aqueles que o amam.”

I Coríntios: 2-9

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por nos ter concedido o dom da vida e aos nossos pais por nos terem ajudado a superar todas as dificuldades encontradas durante o caminho;

A nossa orientadora Prof^a Msc. Isa Lorena Silva Barbosa, pela colaboração dada para esta conquista e pela paciência que sempre demonstrou;

Aos demais professores, colegas, familiares e todos aqueles que de alguma maneira puderam colaborar.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo sobre o pavimento flexível aplicado em loteamentos fechados, dimensionar o pavimento para este tipo de empreendimento, além de acompanhar a execução do mesmo através de um estudo de caso. O pavimento foi dimensionado pelo método do DNIT, exceto o estudo de tráfego que foi feito a partir da classificação recomendada pela Prefeitura do Município de São Paulo na Classificação do Tráfego IP-02, sendo calculados todas as camadas para vias de tráfego leve, médio e meio pesado. O estudo de caso no loteamento proporcionou uma maior compreensão técnica, transmitindo conhecimento dos procedimentos realizados em todas as fases de execução do pavimento. Pode ser visto através deste, que as espessuras totais do pavimento, que é a soma de todas as suas camadas, cresce de modo proporcional ao nível do tráfego e tem menores espessuras na medida que a resistência do solo de apoio seja maior.

Palavras chave: Pavimento flexível. Dimensionamento. Execução.

ABSTRACT

The goal of this work was to develop a study about flexible pavement applied in closed lots, to get a dimension of the pavement to this kind of enterprise, aside from accompanying the execution of it through a case study. The pavement was dimensioned by the DNIT method, with an exception for the traffic classification study, which was done by the District of São Paulo City Hall in the Classification of the traffic IP-02, where all the traffic the light, the medium and the half heavy weighed access layers were calculated. The case study in the lot provided a larger technical comprehension, transmitting knowledge of the procedures done in all the phases of the execution of the pavement. Through this study, the thickness in a whole for the pavement, which is an addition of all its layers, it grows in a proportional way in the traffic level and it has less grammage in the measure of the ground resistance where the support for it is larger.

Key words: flexible pavement. Sizing. Execution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição do carregamento em Pavimentos Rígidos	17
Figura 2 – Distribuição do carregamento em Pavimentos Flexíveis	17
Figura 3 – Esquema de seção transversal do pavimento	18
Figura 4 – Motoniveladora	19
Figura 5 – Caminhão tanque	19
Figura 6 – Rolo compactador tipo pé-de-carneiro	20
Figura 7 – Rolo compactador tipo liso-vibratório	20
Figura 8 – Trator agrícola com grades de disco	20
Figura 9 – Caminhão caçamba	22
Figura 10 – Vassouras mecânicas rotativas	25
Figura 11 – Caminhão espargidor de asfalto	25
Figura 12 – Usina para misturas asfálticas a quente	28
Figura 13 – Vibroacabadora	28
Figura 14 – Rolo metálico liso, vibratório ou tandem	39
Figura 15 – Rolo de pneus	39
Figura 16 – Rolos combinados	30
Figura 17 – Determinação de espessuras do pavimento	37
Figura 18 – Tombamento do material do subleito	43
Figura 19 – Material sendo umedecido pelo caminhão tanque	43
Figura 20 – Escarificação com trator agrícola com grades de disco	44
Figura 21 – Compactação do subleito com Rolo compactador tipo pé de carneiro	44
Figura 22 – Parte da camada de fundo do subleito compactado	44
Figura 23 - Teste de carga com caminhão tanque	45
Figura 24 - Borrachudo no subleito	45
Figura 25 - Material com excesso de umidade	46
Figura 26 - Retirada dos 40 cm de material natural do subleito	46
Figura 27 - Adição e compactação de rachão com escavadeira hidráulica	47
Figura 28 - Camada superior de brita	47
Figura 29 - Armazenagem de cascalho na obra	48
Figura 30 - Lançamento do cascalho	48
Figura 31 – Cascalho sendo espalhado	49
Figura 32 – Compactação da sub-base	49

Figura 33 – Sarjeta e meio fio	50
Figura 34 – Camadas do pavimento do loteamento em estudo	50
Figura 35 – Execução de meio fio e sarjetas	50
Figura 36 – Raspagem do material em excesso	51
Figura 37 – Lançamento e espalhamento do BGS	52
Figura 38 – BGS sendo umedecido	52
Figura 39 – Compactação da base	52
Figura 40 – Aplicação de asfalto diluído de petróleo nas bordas da pista	53
Figura 41 – Aplicação de asfalto diluído de petróleo	53
Figura 42 – Processo de imprimação concluído	54
Figura 43 – Recolhimento do material para teste de taxa efetiva	54
Figura 44 – Taxa de aplicação do asfalto diluído de petróleo	54
Figura 45 – Poço de visita para rede de drenagem	55
Figura 46 – Aplicação da pintura de ligação	55
Figura 47 – Temperatura do ligante asfáltico	56
Figura 48 – Usina de CBUQ	56
Figura 49 – Inserção de CBUQ na vibroacabadora	57
Figura 50 – Termômetro para medir a temperatura do CBUQ	57
Figura 51 – Aplicação de CBUQ pela vibroacabadora	57
Figura 52 – Rastelo utilizado para acabamento de emendas	58
Figura 53 – Compactação com o rolo de pneus	58
Figura 54 – Acabamento com o rolo metálico liso	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sondagem do loteamento	31
Tabela 2 – Classificação das vias e parâmetros de tráfego	33
Tabela 3 – CBR e expansão recomendados para as camadas do pavimento	34
Tabela 4 – Espessura mínima de revestimento betuminoso	35
Tabela 5 – Coeficiente de equivalência estrutural	36

LISTA DE ABREVIATURAS

ABEDA - Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto

BGS - Brita Graduada Simples

CBR - Califórnia Bearing Ratio

CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente

ISC - Índice de Suporte Califórnia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivo Específico	14
1.3 METODOLOGIA.....	14
1.4 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 TIPOS DE PAVIMENTOS.....	16
2.1.1 Pavimento Rígido	16
2.1.2 Pavimento Flexível	17
2.1.3 Comparação entre Pavimento Rígido e Flexível	17
2.2 MÉTODOS EXECUTIVOS DE PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	18
2.2.1 Preparo do subleito	18
2.2.2 Reforço do subleito	21
2.2.3 Preparo da sub-base	21
2.2.4 Preparo da base	23
2.2.5 Imprimação	23
2.2.6 Pintura de ligação	26
2.2.7 Revestimento	26
3 ESTUDO DE CASO	31
3.1 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL	31
3.1.1 Dados para o cálculo	31
3.1.1.1 CBR e expansão	31
3.1.1.2 Tráfego	32
3.1.1.3 Camadas do pavimento	34
3.1.1.3.1 <i>Subleito</i>	34
3.1.1.3.2 <i>Sub-base</i>	35
3.1.1.3.3 <i>Base</i>	35

3.1.1.3.4 <i>Revestimento de CBUQ</i>	35
3.1.2 Cálculos	36
3.1.2.1 Cálculo da base	39
3.1.2.2 Cálculo da sub-base	40
3.1.3 Estrutura dos pavimentos	40
3.1.3.1 Tráfego meio pesado	40
3.1.3.2 Tráfego médio	41
3.1.3.3 Tráfego leve	41
3.2 PROCESSO EXECUTIVO	41
3.2.1 Atividades preliminares	41
3.2.2 Execução do pavimento	42
3.2.2.1 Subleito	42
3.2.2.2 Sub-base	47
3.2.2.3 Base	52
3.2.2.4 Imprimação	53
3.2.2.5 Pintura de ligação	55
3.2.2.6 Revestimento de CBUQ	56
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

“Os condomínios que oferecem várias opções de lazer e entretenimento viraram tendência do mercado imobiliário nacional e estão associados à evolução das cidades modernas.” (ESPAÇO THÁ ONLINE)

Geralmente implantados na periferia das metrópoles ou fora do perímetro urbano, apresentam-se cercados por muros, com suas entradas equipadas com guaritas e, de ordinário, fechadas por cancelas, vigiadas por agentes privados de segurança que controlam seu acesso mediante prévia identificação, permitindo o ingresso somente aos residentes ou às pessoas por estes autorizadas, impedindo, assim, a livre entrada e circulação de pessoas estranhas ao parcelamento. (FREI)

Os condomínios residências, em sua maioria, são executados com um alto padrão de acabamento e de infraestrutura, dentre eles destaca-se o pavimento, que garante o direito de mobilidade do cidadão. Diante de tal importância, esse será o elemento de estudo do presente trabalho.

O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de estruturas finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a proporcionar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. (BERNUCCI et al., 2008)

O pavimento classifica-se tradicionalmente em dois tipos básicos: rígidos e flexíveis. Mais recentemente há uma tendência de usar-se a nomenclatura pavimentos de concreto de cimento Portland (ou simplesmente concreto-cimento) e pavimentos asfálticos, respectivamente, para indicar o tipo de revestimento do pavimento. (BERNUCCI et al., 2008)

O revestimento asfáltico na composição de pavimentos flexíveis é uma das soluções mais tradicionais e utilizadas na construção e recuperação de vias urbanas, vicinais e de rodovias. Segundo dados da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (ABEDA), mais de 90% das estradas pavimentadas nacionais são de revestimento asfáltico. (NAKAMURA, 2011)

Tendo em vista que o pavimento flexível é amplamente mais utilizado quando comparado ao pavimento rígido, o foco deste trabalho é voltado para a avaliação de todas as fases necessárias para a execução do mesmo, enfatizando desde as etapas de dimensionamento do projeto até as de execução, utilizando um estudo de caso em loteamento fechado.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os loteamentos fechados são uma realidade de fácil constatação, principalmente nas médias e grandes cidades. Estes, tem por obrigatoriedade, possuir infraestrutura básica como o pavimento.

A maioria das construtoras preferem utilizar o pavimento flexível por ser mais econômico quando comparado a outros tipos de pavimentos.

Este estudo foi feito visto a importância do pavimento para o progresso e desenvolvimento socioeconômico para as cidades, visando atender as necessidades dos moradores e contribuindo para a mobilidade dos mesmos.

O trabalho pretende contribuir para uma melhor compreensão técnica, proporcionando o conhecimento dos procedimentos realizados a cada uma das fases de execução de pavimentos flexíveis.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Realizar o dimensionamento utilizado para pavimento flexível em loteamento fechado e acompanhar o processo de execução do pavimento, utilizando um estudo de caso.

1.2.2 Objetivo Específico

Constituem-se objetivos específicos do trabalho:

- a) Descrever os métodos utilizados para a realização do projeto;
- b) Analisar o dimensionamento realizado;
- c) Acompanhar a execução do projeto estudado;
- d) Fazer um estudo de projeto e execução do pavimento flexível.

1.3 METODOLOGIA

Primeiramente foram realizadas pesquisas exploratórias, com o objetivo de obter uma descrição do tema a ser estudado.

Posteriormente, será feito um levantamento documental e bibliográfico de informações necessárias em livros, normas, publicações, artigos técnicos e teses. Será feito um estudo de caso em loteamento fechado, proporcionando conceitos e informações fundamentais para o estudo.

Também serão realizadas pesquisas complementares em “sites” da internet, buscando as demais informações necessárias ao trabalho.

1.4 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

O trabalho possui em seu desenvolvimento 3 capítulos, dispostos da seguinte forma:

O 1º capítulo conta com uma revisão bibliográfica afim de apresentar os tipos de pavimentos existentes, assim como as suas diferenças. São mostrados também os métodos para o dimensionamento e para o processo executivo de pavimento flexível.

O 2º capítulo é composto pelo dimensionamento do pavimento do loteamento estudado, incluindo etapas desde a determinação do Califórnia Bearing Ratio (CBR) de projeto até o cálculo de cada camada do pavimento. Também foram descritas nesse capítulo todas as etapas e processos acompanhadas durante o processo de execução.

O 3º capítulo apresenta uma análise conclusiva entre o projeto e a execução do pavimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TIPOS DE PAVIMENTOS

O pavimento classifica-se basicamente em dois tipos: pavimentos rígidos, também nomeados de pavimentos de concreto de cimento Portland e pavimentos flexíveis, também chamados de pavimentos asfálticos.

“Pavimentos rígidos são aqueles pouco deformáveis, constituídos principalmente de concreto de cimento. Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformação.” (SENÇO, 2007)

“Pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas.” (DNIT, 2006)

A dificuldade maior de adotar essa classificação é a liberdade de utilizar camadas flexíveis e rígidas numa mesma estrutura de pavimento. Assim, nada impede a execução de uma camada de revestimento de concreto asfáltico, que é flexível, sobre uma camada de base de solo cimento, que é rígida. (SENÇO, 2007)

Nos casos em que são utilizadas os dois tipos de pavimentos na mesma estrutura, estas recebem o nome de estruturas mistas.

2.1.1 Pavimento Rígido

O pavimento rígido é formado por uma camada de concreto de cimento Portland, exercendo a função de revestimento e base ao mesmo tempo. Possui também como elemento constituinte a sub-base, tendo como função melhorar o suporte de carga do subleito.

“Os principais materiais empregados em pavimentos de concreto de cimento Portland, são o cimento Portland, agregados graúdos, agregados miúdos, água, aditivos e materiais selantes de junta.” (BRASIL, 2004)

“Devido à importância da placa de concreto no pavimento rígido, a resistência do concreto é o fator mais importante no projeto (principalmente a resistência à tração).” (SOARES)

Durabilidade e resistência são os principais trunfos dos pavimentos rígidos. Enquanto pavimentos flexíveis são projetados para ter uma vida útil de aproximadamente dez anos, os pavimentos de concreto são concebidos para operar por até 30 anos com intervenções de manutenção mínimas. Essa menor necessidade de manutenção pode, assim, diluir o ônus do maior investimento inicial, que o pavimento rígido requer para a implantação. (MORAES, 2009)

No pavimento rígido, o concreto de cimento Portland fornece a maior parte da capacidade estrutural do pavimento, causando uma pequena pressão na fundação do pavimento, como mostrado na Figura 1.

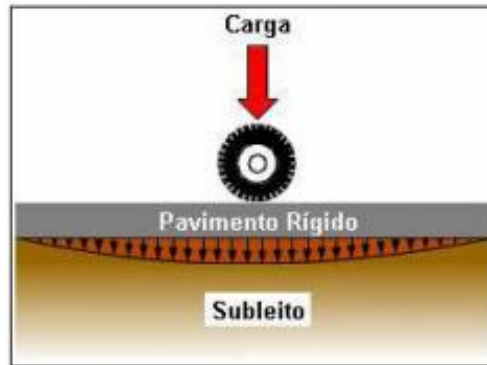


Figura 1 – Distribuição do carregamento em Pavimentos Rígidos.

Fonte - <http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/MOdule%201%20-%20Introducao.pdf>

2.1.2 Pavimento Flexível

Os pavimentos flexíveis são aqueles que sofrem deformações, porém estas deformações até certo limite, não levam a ruptura da estrutura. Esse tipo de pavimento é dimensionado a compressão e tração na flexão, e os carregamentos provocados pelo tráfego dão origem a bacias de deformações, o que leva a estrutura a deformações permanentes e ao rompimento por fadiga. (SENÇO, 1997)

No pavimento flexível é utilizado um maior número de camadas e será transmitida uma carga maior para o subleito, o que é visto na Figura 2.

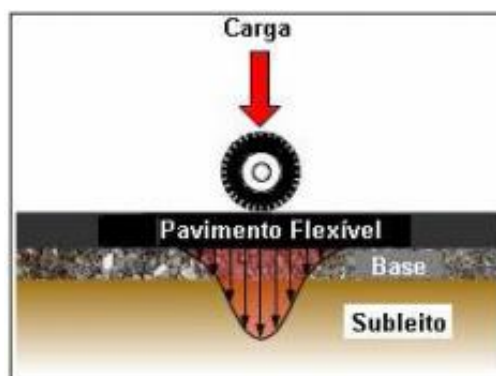


Figura 2 – Distribuição do carregamento em Pavimentos Flexíveis.

Fonte - <http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/MOdule%201%20-%20Introducao.pdf>

2.1.3 Comparação entre Pavimento Rígido e Flexível

O pavimento rígido é formado por camadas de base e revestimento, sub-base e

subleito. Enquanto que o pavimento flexível é desenvolvido por camadas de revestimento, base, sub-base e subleito, podendo haver um reforço do subleito.

Uma das principais diferenças entre as tecnologias é a forma como as cargas são distribuídas no terreno. Enquanto os pavimentos flexíveis tendem a transmitir as cargas verticalmente, concentradas num único ponto, as placas de concreto atuam de forma semelhante a uma ponte sobre o subleito. Dessa maneira, o solo tem menor responsabilidade, pois as cargas são distribuídas por uma área maior. (MORAES, 2009)

2.2 MÉTODOS EXECUTIVOS DE PAVIMENTO FLEXÍVEL

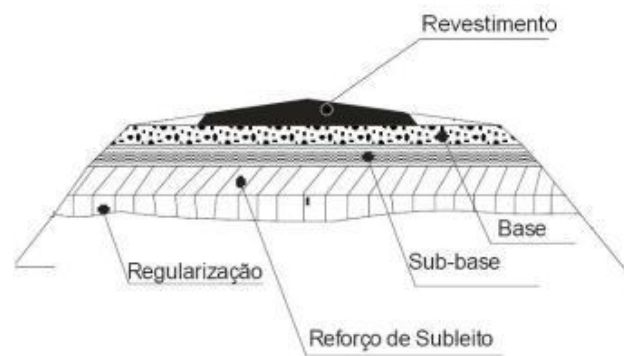


Figura 3 – Esquema de seção transversal do pavimento.

Fonte - DNIT, 2006, p.106

2.2.1 Preparo do subleito

A camada de subleito é o terreno de fundação do pavimento flexível.

Quando os trabalhos de pavimentação são executados logo após a terraplanagem, a regularização resume-se a corrigir algumas falhas da superfície terraplanada, pois, no final da terraplanagem, já deve ter sido tomados todos os cuidados necessários ao bom acabamento da superfície e à compactação do subleito. (SENÇO, 2001)

Para fazer os serviços de terraplanagem (corte e aterro), devem ser verificados as condições geológicas e as características de suporte do solo, comparando-as com o especificado em projeto, examinando se é adequado continuar o serviço de subleito com o material encontrado.

Se o solo for considerado adequado, pode começar a execução do subleito. Deve-se fazer a escarificação geral na profundidade de 20 cm, espalhar e pulverização, umedecimento ou secagem dos materiais na pista até que atinja a umidade ótima, seguidas de espalhamento, compactação até que atinja o grau de compactação.

Se o solo for considerado inadequado deve-se definir uma solução para cada tipo de caso: solo mole/turfa, presença de material orgânico, rocha e características físicas fora da

definição do projeto.

“No dimensionamento dos pavimentos, serão fixadas as camadas que devem ser construídas, sendo lógico que subleitos de boa qualidade exigem pavimentos menos espessos e, em consequência, poderão dispensar a construção de camadas como reforço ou sub-base.” (SENÇO, 2007)

Para a execução do serviço de subleito são necessários os seguintes equipamentos:

- Motoniveladora

Também conhecida como Patrol, o equipamento é utilizado, num primeiro momento, para espalhar o material basculado. Depois, na medida em que o material é umedecido, é utilizada para tombar o solo de um lado para outro da plataforma, de modo a auxiliar a homogeneização. Por fim, com o material na umidade devida, a motoniveladora é utilizada para espalhá-lo, deixando-o na cota exata para o início da compactação. (JÚNIOR, 2014)



Figura 4 – Motoniveladora.

Fonte - <http://www.escad.com.br/produtos/Motoniveladora.html>

- Caminhão tanque

Caminhão pipa utilizado para molhar o material, deixando-o na umidade ótima. Devem conter uma gambiarra traseira para distribuir a água com mais eficiência. A empreiteira deve também providenciar uma bomba para retirar a água dos mananciais indicados, carregando os pipas. (JÚNIOR, 2014)



Figura 5 – Caminhão tanque.

Fonte - <http://www.pnzmaquinas.com.br/maquequip.html>

- Rolos compactadores tipos pé-de-carneiro ou liso-vibratórios

Somente entram no trecho após concluído todo o processo de espalhamento, umidificação e homogeneização. Promovem a compactação do material, deixando-o em sua densidade máxima. Podem ser do tipo liso ou pé de carneiro. Os primeiros são utilizados para materiais mais granulares e nas camadas finais, enquanto que os pé de carneiro são utilizados para materiais mais finos. Os rolos podem ser do tipo vibratório ou não. Os que não são vibratórios normalmente são maiores, mais velozes e mais pesados - garantem a compactação com o seu elevado peso estático -, no entanto, precisam de frentes mais extensas ou largas para que seu custo seja viável.¹²



Figura 6 – Rolo compactador tipo pé-de-carneiro

Fonte - <http://www.blocacoes.com.br/maquinas/rolo-compactador-pe-de-carneiro-cp533e/>



Figura 7 – Rolo compactador tipo liso-vibratório

Fonte - <http://www.bhterraplenagem.com.br/equipamentos.asp>

- Trator agrícola com grades de disco

O trator agrícola com grades de disco é utilizado para escarificar e realizar a homogeneização do material com a ação combinada da motoniveladora e do caminhão pipa. O serviço deve ser feito até que o material fique visualmente homogêneo e isento de torrões.



Figura 8 – Trator agrícola com grades de disco

Fonte – Próprio autor

2.2.2 Reforço do subleito

“Camada estabilizada granulometricamente, executada sobre o subleito devidamente compactado e regularizado, utilizada quando se torna necessário reduzir espessuras elevadas da camada de sub-base, originadas pela baixa capacidade de suporte do subleito.” (DNIT, 2010)

O reforço do subleito deve ser executado quando o mesmo não possui as características físicas necessárias ou quando há um tráfego de cargas muito pesado, ou ainda, quando executar a correção do solo não for viável.

“Quando houver necessidade de executar camada de reforço com espessura final superior a 20 cm, estas devem ser subdivididas em camadas parciais. A espessura mínima de qualquer camada de reforço deve ser de 10 cm, após a compactação.” (DNIT, 2010)

A construção da camada de reforço não apresenta diferenças de execução acentuadas em comparação com a camada de subleito.

A execução do reforço do subleito compreende as operações de mistura e pulverização, umedecimento ou secagem dos materiais na pista, seguidas de espalhamento, compactação e acabamento, realizadas na pista devidamente preparada, na largura desejada e nas quantidades que permitam, após a compactação, atingir a espessura projetada. (DNIT, 2010)

2.2.3 Preparo da sub-base

“A sub-base é a primeira das camadas próprias da pavimentação de uma rodovia, estas compreendidas como as camadas que têm função estrutural, sendo definidas nos dimensionamentos das rodovias.” (JÚNIOR, 2014)

“As camadas de base e sub-base tem a função de resistir aos esforços transmitidos pelas camadas superiores além de servir de camada drenante e controlar a capilaridade da água. A sub-base tem ainda por função, corrigir a camada de subleito.” (BAPTISTA, 1978)

Se no projeto for especificado que a utilização será exclusiva de solos, a sub-base deverá ser executada conforme especificações e utilizando materiais provenientes de jazidas. Carece de um controle tecnológico muito rigoroso, para que as características físicas (CBR e Coeficiente de expansão) sejam as mesmas que as definidas no projeto.

Caso o material da sub-base especificado no projeto não seja encontrado na região ou apresente custo incompatível com o orçamento, o responsável pela obra poderá solicitar alteração do projeto. Deve ser utilizado outro material economicamente disponível, ou ainda fazer uma adição de aditivos específicos (cal, cimento, areia e pó de pedra) no mesmo.

“As sub-base podem ser executadas utilizando-se solos, misturas de solos, mistura de solos com outros componentes (areia, brita, cimento etc.) ou outras soluções determinadas por projeto.” (JÚNIOR, 2014)

Os procedimentos de execução são basicamente lançar e espalhar o material escolhido para a construção da sub-base. Deve-se acrescentar água até que o solo atinja a umidade ótima, que é aquela em que ele possui a maior massa específica aparente seca máxima, assim, o solo terá o seu grau de compactação máxima. Com o material na umidade certa, deve se espalhar, deixando-o na cota para o iniciar a compactação.

A fim de garantir o atingimento do grau de compactação de 100% (controlado no Proctor Intermediário) a espessura da camada compactada de sub-base não deve ser superior a 20 cm. E, para evitar-se que a camada não desagregue, não devem ser aceitas espessuras inferiores a 10cm. (JÚNIOR, 2014)

Para assegurar que o serviço de sub-base foi executado corretamente é feito um controle tecnológico a cada 100 m de pista, determinando o grau de compactação e a umidade do material compactado.

São necessários os seguintes equipamentos para a realização do serviço:

- Motoniveladora
- Caminhão tanque
- Rolos compactadores
- Trator agrícola com grades de disco

- Caminhão caçamba

É utilizado no transporte dos insumos para realizar a pavimentação, como terra, cascalho, Brita Graduada Simples (BGS) e CBUQ. O caminhão caçamba descarrega os respectivos materiais em pilhas sobre a pista, com espaço suficiente para fazer o espalhamento com a motoniveladora. Quando é utilizado CBUQ, o caminhão caçamba deposita o material diretamente na vibroacabadora.



Figura 9 – Caminhão caçamba

2.2.4 Preparo da base

“É a camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los. Na verdade, o pavimento pode ser considerado composto de base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito.” (SENÇO, 2007)

“As camadas podem ser executadas utilizando-se solos, misturas de solos, brita, mistura de solos como outros componentes (areia, brita, cimento etc.) ou outras soluções determinadas do projeto.” (JÚNIOR, 2014)

Os procedimentos de execução da camada de base consiste em espalhar o material, umidificar, fazer a homogeneização e posteriormente realizar a compactação. Deve ter um controle geométrico muito eficaz, para que fique o mais próximo possível da cota de projeto.

Assim como nas camadas de sub-leito e sub-base, o controle tecnológico é muito importante na realização dos serviços da base. Para isso, são necessários determinar a cada 100 m de pista, o grau de compactação e a umidade.

Para a execução do serviço são necessários os seguintes equipamentos:

- Motoniveladora
- Caminhão tanque
- Rolos compactadores
- Trator agrícola com grades de disco
- Caminhão caçamba

2.2.5 Imprimação

“Imprimação é aplicação de uma camada de ligante asfáltico – trata-se de um asfalto diluído de cura média, CM-30 – sobre a superfície superior da base, com tríplice finalidade: impermeabilização, coesão dos finos, e aderência.” (JÚNIOR, 2014)

Possui três funções no pavimento: promover condições de ligação e aderência entre a base e o revestimento, impermeabilização da base e aumentar a coesão da superfície da base pela penetração do material asfáltico (de 0,5 a 1,0 cm).

“Após a perfeita conformação geométrica da base, proceder à varredura da superfície, de modo a eliminar todo e qualquer material solto.” (DNIT, 2014)

Para a distribuição do material betuminoso, utiliza-se um caminhão distribuidor de asfalto. Trata-se de um caminhão-tanque equipado com barra aspergidora, bomba

reguladora de pressão e íacômetro. Para o aquecimento, é equipado com maçarico, e o controle é feito por termômetro. (SENÇO, 2001)

“Após a perfeita conformação geométrica da base, proceder à varredura da superfície, de modo a eliminar todo e qualquer material solto.” (DNIT, 2014)

A aplicação da CM-30 deve ser feita utilizando um caminhão limpo e sem resíduos de outros produtos. Antes da aplicação, a pista pode ser umedecida.

Aplica-se, a seguir, o ligante asfáltico, na temperatura adequada, na quantidade recomendada e de maneira uniforme. A temperatura de aplicação do ligante asfáltico deve ser fixada para o tipo de ligante, em função da relação temperatura x viscosidade, escolhendo-se a temperatura que proporcione a melhor viscosidade para seu espalhamento. (DNIT, 2014)

O ligante asfáltico não deve ser aplicado quando a temperatura ambiente for inferior a 10°C, em período de chuva ou iminência nas 24 horas posteriores a aplicação do CM-30. Nessas condições, o produto não produz uma película asfáltica consistente na camada imprimada.

Note-se que o CM-30 precisará de 24h para penetrar totalmente na camada da base. Assim, se nesse período houver uma chuva forte o suficiente para fazer escorrer o ligante aplicado; o engenheiro fiscal; juntamente com os engenheiros executores, avaliando a situação, deverão decidir dentre quatro alternativas:

- Caso a chuva tenha ocorrido imediatamente após a aplicação do ligante e com intensidade o suficiente para lavá-lo completamente, deve-se orientar para que, assim que a superfície da base esteja seca, seja procedida uma nova imprimação. Isso será possível porque não houve penetração o suficiente para impermeabilizar a base, de modo que o novo ligante poderá penetrar normalmente;
- Caso a chuva tenha ocorrido após 8 h da aplicação e verificado que houve uma penetração de pelo menos 6 mm, deve-se aceitar o serviço sem qualquer intervenção corretiva;
- Caso a chuva tenha ocorrido em até 8 h da aplicação, os engenheiros devem avaliar a penetração ocorrida e decidir pela aplicação de uma pintura de ligação ou a escarificação e reexecução da camada de base;
- Caso a chuva tenha ocorrido após o início do processo de penetração do ligante, mas com intensidade o suficiente para interrompê-lo devido ao lavamento da superfície, removendo o CM-30 que ainda iria penetrar, os engenheiros devem determinar a escarificação e reexecução da camada de base, posto que, apesar de ter havido uma penetração mínima, a sua superfície já foi impermeabilizada, impedindo a aplicação de uma nova imprimação. (JÚNIOR, 2014)

Caso seja necessário o aquecimento prévio, o ligante asfáltico usado na imprimação nunca pode ultrapassar o limite de 45°C. Se o aquecimento for maior que o limite, o material deve ser descartado.

Para assegurar a qualidade do serviço, a equipe de controle tecnológico deve fazer a cada 800 m² de pista imprimada, as taxas efetivas de aplicação do ligante asfáltico.

Concluída a aplicação, o trecho deve ser adequadamente isolado, a fim de impedir qualquer tipo de tráfego sobre a área imprimada.

Para a execução do serviço de imprimação, são necessários os seguintes

equipamentos:

- Vassouras mecânicas rotativas

“Acoplada normalmente a um trator agrícola, serve para remover o excesso de finos da camada de base, evitando que eles se aglutinem com o ligante asfáltico, absorvendo-o e impedindo sua adequada penetração na camada.” (JÚNIOR, 2014)



Figura 10 – Vassouras mecânicas rotativas
Fonte - <http://canginibrasil.com.br/?p=401>

- Caminhão espargidor de asfalto

“Caminhão tanque com barra de distribuição traseira e dispositivo espargidor manual para correções em pequenas áreas. O caminhão deve ser dotado também de dispositivo para aquecimento do ligante e velocímetro para regular a taxa aplicada.” (JÚNIOR, 2014)

Os carros distribuidores de ligante asfáltico, especialmente construídos para esse fim, devem ser providos de dispositivos de aquecimento, dispendo de tacômetro, calibradores e termômetros com precisão de 1 °C, instalados em locais de fácil observação e, ainda, possuir espargidor manual, para tratamento de pequenas superfícies e correções localizadas. As barras de distribuição devem ser do tipo de circulação plena, com dispositivo de ajustamento vertical e larguras variáveis de espalhamento uniforme do ligante asfáltico. (DNIT, 2014)



Figura 11 – Caminhão espargidor de asfalto
Fonte -

<http://www.metramaq.com.br/metramaq/default.asp?page=detalhes&id=25214&title=CAMINH%C3%20ESPARGIDOR%20DE%20ASFALTO&cat=&tipo=romanelli>

2.2.6 Pintura de ligação

A camada de pintura de ligação é feita antes da execução do revestimento, e se assemelha muito com a imprimação.

“À semelhança da imprimação, a pintura de ligação também consiste numa aplicação de um banho de asfalto sobre a camada anterior. No entanto, a finalidade, aqui, é simplesmente promover a aderência entre as camadas.” (JÚNIOR, 2014)

A pintura de ligação consiste na camada de aplicação de emulsão asfáltica sobre a base já impermeabilizada, nas taxas especificadas em projeto.

A pintura de ligação proporciona a aderência necessária entre as camadas superficiais do pavimento, assegurando que elas atuem como um sistema monolítico, capaz de suportar as solicitações geradas pelo tráfego e pelo clima. Estudos demonstram que a eficiência da pintura de ligação é fundamental na transferência de tensões de tração e cisalhantes ao conjunto do pavimento. Uma baixa aderência em casos extremos é tipicamente associada a escorregamento da massa asfáltica por aceleração ou desaceleração do tráfego ou por manobras bruscas. (BETUNEL, 2010)

Exatamente por ter finalidade apenas de garantir a aderência entre camadas, a taxa residual de asfalto requerido nos serviços de pintura de ligação é bem menor do que aquela necessária para imprimação - que tem, conforme já comentado, tripe função. Desse modo, enquanto se necessita para imprimação de um resíduo de asfalto (CAP) entre 0,40l/m² e 0,80l/m², para a pintura de ligação a taxa residual (CAP) requerida é de apenas 0,18l/m² a 0,25l/m². (JÚNIOR, 2014)

Para assegurar a qualidade da pintura de ligação, a equipe de controle tecnológico deve fazer a cada 800 m² de pista executada, as taxas efetivas de aplicação do ligante asfáltico.

São necessários os seguintes equipamentos para a execução do serviço de pintura de ligação:

- Vassouras mecânicas rotativas
- Caminhão espargidor de asfalto

2.2.7 Revestimento

O revestimento é a camada superior do pavimento que tem como função proteger as camadas inferiores da deterioração causada pela ação do tráfego, tornando-as impermeáveis, melhorando as condições de rolamento quanto a comodidade e segurança, e resistindo aos esforços horizontais atuantes. (D'AGOSTIN, 2010)

O CBUQ deve ser aplicado na superfície da base já imprimada ou pintada, verificando sua temperatura e o teor de betume. O CBUQ é um concreto preparado em usina, e são

misturados a temperaturas de 107 °C a 177 °C.

Deve-se sempre ficar atento quanto a qualidade dos equipamentos usados para aplicação, pois os mesmos podem interferir diretamente na qualidade do pavimento.

Por ter função estrutural e, portanto, compor os cálculos de dimensionamento dos pavimentos, muitas vezes o CBUQ é especificado em elevadas espessuras, visando viabilizar pavimentos de tráfego pesado. Nesses casos, como não é recomendado compactar-se espessuras superiores a 7 cm, os projetos especificam mais de uma camada de CBUQ, sendo a primeira camada de ligação, de função meramente estrutural e a segunda camada de rolamento, com função estrutural e de revestimento. (DNIT, 2010)

Normalmente a camada de revestimento é responsabilizada pelo surgimento de problemas no pavimento, por ser a camada superficial e visível da estrutura, porém o revestimento se rompe pela deformação excessiva e fadiga das camadas inferiores em decorrência do tráfego. (D'AGOSTIN, 2010)

A primeira etapa da execução é a produção do CBUQ em uma usina para misturas asfálticas a quente. Posteriormente, a mistura é transportada com um caminhão basculante para a pista e então é lançada na vibroacabadora, fazendo a pré-compactação e nivelamento da camada asfáltica.

O concreto asfáltico, produzido em usina, é transportado por caminhões até a obra, onde é descarregado no silo de recebimento da vibroacabadora. A máquina tem potência suficiente para empurrar o caminhão durante o trabalho. O sistema rodante do equipamento pode ser de esteiras ou de pneus. Hoje, os modelos de pneus possuem tração o suficiente para empurrar caminhões e operar em aclives. (GEWEHR, 2015)

A pré-compactação e nivelamento do concreto asfáltico é feito através da mesa compactadora, sendo que a temperatura deve estar indicada junto ao traço da massa asfáltica.

Compactar-se massa asfáltica em temperatura abaixo da indicada pode ocasionar diminuição da resistência à tração e consequente diminuição do tempo de vida útil da obra, por fadiga da massa. Além disso, provavelmente essa situação ocasionaria elevação do percentual de vazios, que também contribuiria para a diminuição do tempo de vida útil da obra. Por outro lado, executar misturas a temperaturas acima da indicada prejudica a compactação, dificultando o atingimento do grau de compactação adequado. (JÚNIOR, 2014)

“Compactação asfáltica: etapa da obra onde ocorrem erros comuns por seguir métodos ultrapassados, é preciso ter atenção especial em relação a sequência de rolagem, temperatura do material e aos próprios rolos compactadores.” (GEWEHR, 2015)

A primeira passada deve ser feita com o rolo liso duplo vibratório, posteriormente com o rolo de pneus produzindo o acabamento superficial. O rolo de pneus possui sistema de controle de pressão, agregando qualidade na finalização.

Os pneus do rolo precisam ser constantemente lubrificadas, no entanto, os engenheiros devem orientar para que não seja utilizado o óleo diesel, posto que esse produto, ainda que em pequena quantidade, reage com a massa asfáltica modificando suas características. (JÚNIOR, 2014)

Para que o revestimento asfáltico seja executado de maneira correta, o controle tecnológico, assim como nas demais camadas, deve ter um acompanhamento muito rígido.

Para a realização dos serviços de CBUQ são necessários os seguintes equipamentos:

- Caminhão caçamba
- Usina para misturas asfálticas a quente

“Pode ser do tipo fixa ou móvel. Ela deve permitir a dosagem dos insumos por peso e possuir termômetros para o controle das temperaturas do ligante asfáltico (precisão de 1°) e dos agregados (precisão de 5°C).” (JÚNIOR, 2014)

Por ser um equipamento complexo, formado por conjuntos mecânicos e eletrônicos, a Usina de Asfalto exige o controle de inúmeros processos simultaneamente. Desde a entrada dos agregados, controle e seleção de umidade, funcionamento e controle dos subsistemas de dosagem e secagem dos agregados, mistura dos agregados com o ligante asfáltico, filtragem dos gases, controle de temperatura, estocagem de combustível e ligante asfáltico, etc. (GEWEHR, 2015)



Figura 12 – Usina para misturas asfálticas a quente
Fonte - <http://asfaltodequalidade.blogspot.com.br/>

- Vibroacabadora

A vibroacabadora (também chamada de pavimentadora de asfalto) é o equipamento que executa a aplicação, nivelamento e pré-compactação do concreto asfáltico em obras de pavimentação. É de fundamental importância o seu correto uso e um eficiente desempenho para a qualidade final do pavimento. (GEWEHR, 2015)



Figura 13 – Vibroacabadora

Fonte - <http://www.volvoce.com/constructionequipment/brazil/br-pt/products/pavers/ABG8820B>

- Rolo metálico liso, vibratório ou tandem

Chamado também de rolo tandem ou “chapa-chapa”, pode ser utilizado em todos os tipos de misturas asfálticas. Forças dinâmicas geradas pela vibração somadas ao próprio peso aumentam a capacidade de compactação. Dependendo da condição da mistura ou se a camada tem baixíssima espessura, deve ser passado em modo estático. (GEWEHR, 2015)



Figura 14 – Rolo metálico liso, vibratório ou tandem
 Fonte - <http://loaderchargeur.com.br/1-3-4-vibratory-tandem-roller.html>

- Rolo de pneus

A compactação é alcançada pela ação do peso do equipamento juntamente com a pressão dos pneus. Primeiramente, o ideal é que o rolo seja de número par de pneus. Isto para que ocorra a distribuição igual de peso em cada eixo, com os pneus na pressão intermediária para que haja 100% de contato com o asfalto. (GEWEHR, 2015)



Figura 15 – Rolo de pneus
 Fonte - http://www.portaldosequipamentos.com.br/prod/e/compactador-de-pneus-ap-30_25496_19275

- Rolos combinados

“São rolos que combinam a compactação dinâmica vibratória com a compactação estática. O cilindro vibratório é localizado no eixo dianteiro e pneus lisos são posicionados no eixo traseiro.” (GEWEHR, 2015)

Este tipo de rolo compactador não deve ser utilizado em obras de maior porte onde o correto é alternar o rolo liso tandem com o rolo de pneus. Ao contrário de um

rolo de pneus, com sobreposição entre os pneus dianteiros e traseiros que garante o total recobrimento na largura de compactação, o rolo combinado exige com que as passadas sejam realizadas de forma cuidadosa para evitar que haja partes descobertas sem a passagem dos pneus. (GEWEHR, 2015)



Figura 16 – Rolos combinados

Fonte - <http://www.atlascopco.com.br/brbr/products/equipamentos-para-compacta%C3%A7%C3%A3o/3523040/3523118/>

3 ESTUDO DE CASO

3.1 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL

O dimensionamento de pavimento flexível tem por função determinar as espessuras das camadas, definir os materiais que serão utilizados e compatibilizar os materiais de forma que a vida útil corresponda ao projetado, garantindo melhores condições de comodidade e segurança, além de proteger as camadas inferiores da ação da água. Deve-se também, levar em consideração as condições climáticas. As variáveis de um projeto de pavimento são consequentemente:

- O tráfego: variável de projeto que deve compreender o volume de tráfego, a sua composição, o seu crescimento e o período de vida do projeto.
- Condições de fundação: capacidade de suporte da fundação sobre a qual assenta o pavimento. Depende da natureza e das propriedades dos solos empregues na construção da plataforma e das condições de drenagem.
- Materiais: existe uma grande variedade de materiais e processos construtivos que podem ser empregues na construção do pavimento, devendo ter-se em conta os materiais disponíveis nas proximidades da obra.
- Condições climáticas: as condições ambientais a que está submetido o pavimento (precipitação e temperatura) têm uma grande influência no seu comportamento. (JIMÉNEZ, 2010)

3.1.1 Dados para o cálculo

3.1.1.1 CBR e expansão

Foram executados no terreno do loteamento fechado, 11 furos de sondagem a percussão, distribuídos ao longo do terreno a ser executado o pavimento. A tabela a seguir contém os resultados obtidos nas sondagens:

Tabela 1 – Sondagem do loteamento

FURO	CBR (%)	EXPANSÃO (%)
01	15,00	0,04
02	18,00	0,04
03	15,00	0,03
04	12,20	0,04
05	14,00	0,07
06	13,80	0,05
07	16,00	0,04
08	13,60	0,05
09	8,00	0,02
10	14,70	0,06
11	16,00	0,04

Fonte: Próprio Autor

O CBR de projeto, utilizado para o cálculo das camadas do pavimento, foi determinado a partir do procedimento recomendado pelo Manual de Pavimentação do DNIT:

$$\text{CBR}_{\text{médio}} = \frac{\sum \text{CBR}_i}{n} \quad (1)$$

$$\text{CBR}_{\text{médio}} = \frac{15 + 18 + 15 + 12 + 14 + 13 + 16 + 13,6 + 8 + 14,7 + 16}{11}$$

$$\text{CBR}_{\text{médio}} = 14,2$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\text{CBR}_i - \text{CBR}_{\text{médio}})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

$$s = 2,6$$

$$\text{CBRP} = \text{CBR}_{\text{médio}} - \frac{1,29 \times s}{\sqrt{n}} - 0,68 \times s \quad (3)$$

$$\text{CBRP} = 14,2 - \frac{1,29 \times 2,6}{\sqrt{11}} - 0,68 \times 2,6$$

$$\text{CBRP} = 11,2$$

Onde:

s = desvio padrão

CBR_i = CBR de uma amostra i, onde i varia de 1 a 11

CBR_{médio} = CBR médio

CBRP = CBR de projeto

Será adotado CBR de 11%. As expansões foram todas inferiores a 2%, portanto, o solo é adequado como material de subleito.

3.1.1.2 Tráfego

Será feito o dimensionamento para três tipos diferentes de vias:

- Vias de distribuição principal de tráfego,
- Vias de distribuição secundária do tráfego;
- Vias de tráfego local.

Para a estimativa do número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 80kN, será utilizada a classificação das vias quanto ao tráfego recomendado pela Prefeitura do Município de São Paulo na Classificação do Tráfego IP-02, adequada para a caracterização do tráfego em vias urbanas, sendo definidos da seguinte forma:

Tráfego leve - ruas de características essencialmente residenciais, para as quais não é previsto o tráfego de ônibus, podendo existir ocasionalmente passagens de caminhões e ônibus em número não superior a 20 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um número “N” típico de 10^5 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos.

Tráfego médio - ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 21 a 100 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um número “N” típico de 5×10^5 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 10 anos.

Tráfego meio pesado - ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 101 a 300 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um número “N” típico de 2×10^6 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 10 anos.

Tráfego pesado - ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 301 a 1000 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um número “N” típico de 2×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 a 12 anos.

Tráfego muito pesado - ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 1001 a 2000 por dia, na faixa de tráfego mais solicitada, caracterizada por um número “N” típico de 5×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 12 anos. (IP – 02, 2004)

De acordo com essas definições, as vias serão classificadas em três classes diferentes:

- Vias de tráfego meio pesado: Vias de distribuição principal de tráfego;
- Vias de tráfego médio: Vias de distribuição secundária do tráfego;
- Vias de tráfego leve: Vias de tráfego local.

Tabela 2 – Classificação das vias e parâmetros de tráfego

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente / Veículo	N característico
			Veículo Leve	Caminhão / Ônibus		
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	10^5
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	5×10^5
	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	2×10^6
Vias Coletoras e Estruturais	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	2×10^7
	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	5×10^7
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		10^7
	VOLUME PESADO	12		> 500		5×10^7

Fonte - IP – 02 - Classificação das vias. São Paulo, 2004.

De acordo com a tabela 1, os números N característicos são os seguintes:

- Vias de tráfego leve: $N = 10^5$
- Vias de tráfego médio: $N = 5 \times 10^5$
- Vias de tráfego meio pesado: $N = 2 \times 10^6$

3.1.1.3 Camadas do pavimento

O CBR ou Índice de Suporte Califórnia (ISC) e a expansão recomendados pelo DNIT para as diversas camadas do pavimento estão descritas a seguir:

- Base

Índice Suporte Califórnia – $ISC \geq 60\%$ para Número $N \leq 5 \times 10^6$, $ISC \geq 80\%$ para Número $N > 5 \times 10^6$, e Expansão $\leq 0,5\%$. (DNIT, 2009)

- Sub-base

Índice Suporte Califórnia – $ISC \geq 20\%$ e Expansão $\leq 1\%$. (DNIT, 2009)

- Reforço do subleito

Índice Suporte Califórnia - ISC - igual ou maior aos indicados no projeto, e Expansão $\leq 1\%$. (DNIT, 2010)

- Subleito

Índice Suporte Califórnia - ISC - igual ou maior aos indicados no projeto, e Expansão $\leq 2\%$. (DNIT, 2009)

Tabela 3 – CBR e expansão recomendados para as camadas do pavimento

Bases	CBR	$\geq 80\%$
	EXPANSÃO	$\leq 0,5\%$
Sub-base	CBR	$\geq 20\%$
	EXPANSÃO	$\leq 1,0\%$
Reforço do subleito	CBR	\geq CBR do Subleito
	EXPANSÃO	$\leq 1,0\%$
Subleito	CBR	Indicado no projeto
	EXPANSÃO	$\leq 2,0\%$

Fonte: Próprio Autor

3.1.1.3.1 Subleito

O CBR do subleito para realizar o dimensionamento das camadas dos pavimentos será

de 11%, com expansão inferior a 2%.

3.1.1.3.2 Sub-base

Para a sub-base poderá ser utilizado solo melhorado com cimento ou cal. Poderão ainda, serem utilizados materiais de jazidas. Em qualquer caso, o CBR deverá ser maior ou igual a 20% com expansão máxima de 1%, sendo as recomendações mínimas do DNIT.

3.1.1.3.3 Base

Será feito com BGS, um material granular utilizado para base e sub-bases, com CBR \geq 80%.

3.1.1.3.4 Revestimento de CBUQ

De acordo com o método do DNIT, as espessuras do revestimento são definidas em função do número N conforme a tabela abaixo:

Tabela 4 – Espessura mínima de revestimento betuminoso

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^5$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte - DNIT, 2006, p.147

Para o dimensionamento do pavimento, serão utilizadas as seguintes espessuras de revestimento betuminoso para as vias:

Tráfego leve: revestimento com 4,0 cm de espessura

Tráfego médio: revestimento com 4,0 cm de espessura

Tráfego meio pesado: revestimento com 5,0 cm de espessura;

“No caso de adoção de tratamentos superficiais, as bases granulares devem possuir alguma coesão, pelo menos aparentes, seja devido à capilaridade ou a entrosamento de partículas.”⁶

3.1.2 Cálculos

O cálculo das camadas de base e sub-base dos pavimentos consiste na resolução sucessiva das seguintes inequações:

$$\bullet R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20} \quad (4)$$

$$\bullet R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n \quad (5)$$

Onde:

B: espessura da base;

R: espessura do revestimento betuminoso;

K_R : coeficiente estrutural do revestimento;

K_B : coeficiente estrutural da base;

K_S : coeficiente estrutural da sub-base;

H_n : espessura da camada do pavimento

H_{20} : Espessura de pavimento sobre a sub-base

h_{20} : Espessura da sub-base

Mesmo que o C.B.R. ou I.S. da sub-base seja superior a 20, a espessura do pavimento necessário para protegê-la é determinada como se esse valor fosse 20 e, por esta razão, usam-se sempre os símbolos, H_{20} e h_{20} para designar as espessuras de pavimento sobre sub-base e a espessura de sub-base, respectivamente. (DNIT, 2006)

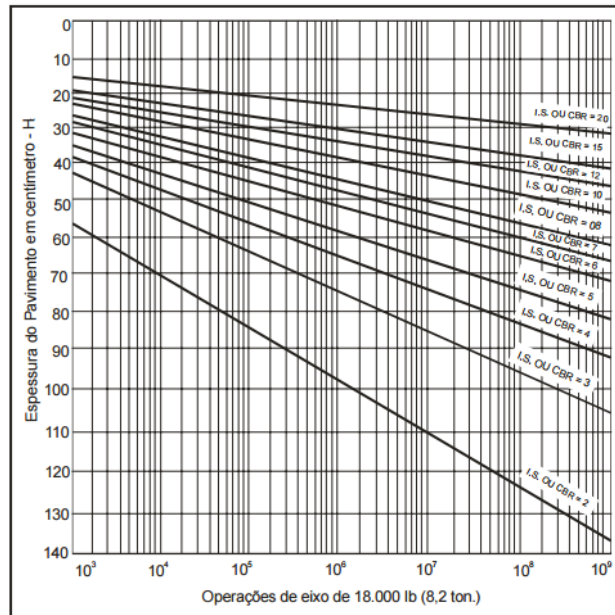
Tabela 5 – Coeficiente de equivalência estrutural

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fonte - DNIT, 2006, p.146

Os valores dos coeficientes estruturais do revestimento, da base e da sub-base são obtidos a partir da Tabela 5 – Coeficiente de equivalência estrutural, sendo $K_R = 2,00$, $K_B = 1,00$ e $K_S = 1,00$, respectivamente.

Figura 17 – Determinação de espessuras do pavimento



Fonte - DNIT, 2006, p.149

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad (6)$$

O cálculo de cada espessura do pavimento é feito a partir da Figura 17 - Determinação de espessuras do pavimento ou pela fórmula $H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$, descritos na página 149 do Manual de pavimentação, Publicação IPR-719 do DNIT.

- Para CBR_{20} , tráfego leve

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$$

$$H_t = 77,67 \times (1 \times 10^5)^{0,0482} \times 20^{-0,598}$$

$$H_t = 23$$

- Para CBR_{20} , tráfego médio

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$$

$$H_t = 77,67 \times (5 \times 10^5)^{0,0482} \times 20^{-0,598}$$

$$H_t = 25$$

- Para CBR_{20} , tráfego meio pesado

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$$

$$Ht = 77,67 \times (2 \times 10^6)^{0,0482} \times 20^{-0,598}$$

$$Ht = 27$$

- Para CBR₁₁, tráfego leve

$$Ht = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$$

$$Ht = 77,67 \times (1 \times 10^5)^{0,0482} \times 11^{-0,598}$$

$$Ht = 33$$

- Para CBR₁₁, tráfego médio

$$Ht = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$$

$$Ht = 77,67 \times (5 \times 10^5)^{0,0482} \times 11^{-0,598}$$

$$Ht = 35$$

- Para CBR₁₁, tráfego meio pesado

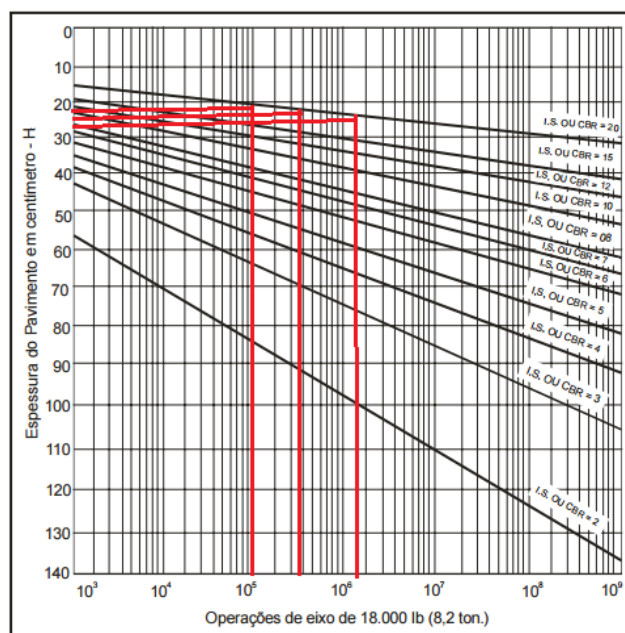
$$Ht = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$$

$$Ht = 77,67 \times (2 \times 10^6)^{0,0482} \times 11^{-0,598}$$

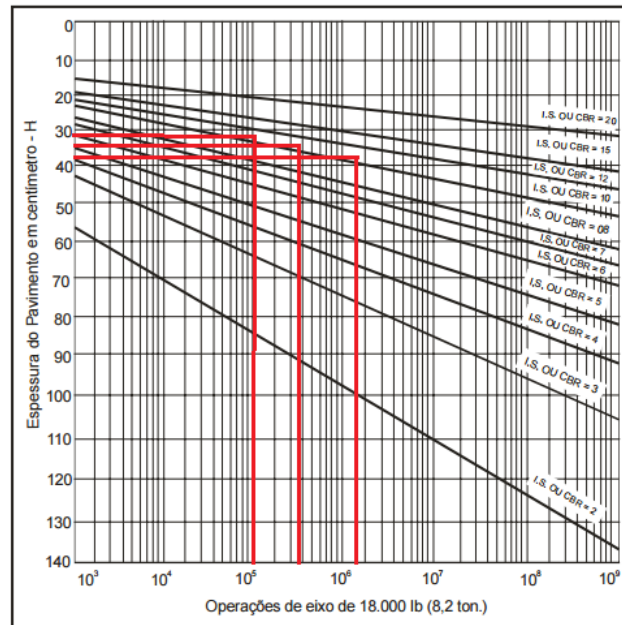
$$Ht = 38$$

Os mesmos valores também podem ser obtidos a partir da Figura 17 – Determinação de espessuras do pavimento, mostrado a seguir:

- Para CBR₂₀



- Para CBR_{11}



3.1.2.1 Cálculo da base

- Vias de tráfego meio pesado

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$5 \times 2 + B \times 1 \geq 27$$

$$10 + B \geq 27$$

$$B \geq 17$$

Será adotado $B = 17$ cm

- Vias de tráfego médio

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$4 \times 2 + B \times 1 \geq 25$$

$$8 + B \geq 25$$

$$B \geq 17$$

Será adotado $B = 17$ cm

- Vias de tráfego leve

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$4 \times 2 + B \times 1 \geq 23$$

$$8 + B \geq 23$$

$$B \geq 15$$

Será adotado $B = 15$ cm

3.1.2.2 Cálculo da sub-base

- Vias de tráfego meio pesado

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n$$

$$5 \times 2 + 17 \times 1 + h_{20} \times 1 \geq 38$$

$$10 + 17 + h_{20} \geq 38$$

$$h_{20} \geq 11 \text{ cm}$$

Será adotado $h_{20} = 15$ cm

- Vias de tráfego médio

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n$$

$$4 \times 2 + 17 \times 1 + h_{20} \times 1 \geq 35$$

$$8 + 17 + h_{20} \geq 35$$

$$h_{20} \geq 10 \text{ cm}$$

Será adotado $h_{20} = 15$ cm

- Vias de tráfego leve

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n$$

$$4 \times 2 + 15 \times 1 + h_{20} \times 1 \geq 33,0$$

$$8 + 15 + h_{20} \geq 33,0$$

$$h_{20} \geq 10 \text{ cm}$$

Será adotado $h_{20} = 10$ cm

3.1.3 Estrutura dos pavimentos

Os pavimentos terão as estruturas, camadas e espessuras a seguir.

3.1.3.1 Tráfego meio pesado

Revestimento de concreto asfáltico = 5,0 cm

Pintura de ligação

Imprimação

Base – CBR \geq 80%, exp. \leq 0,5% = 17,0 cm

Sub-base – CBR \geq 20%, exp. \leq 1,0% = 15,0 cm

Subleito – CBR \geq 11%

Altura total: 37 cm

3.1.3.2 Tráfego médio

Revestimento de concreto asfáltico = 4,0 cm

Pintura de ligação

Imprimação

Base – CBR \geq 80%, exp. \leq 0,5% = 17,0 cm

Sub-base – CBR \geq 20%, exp. \leq 1,0% = 15,0 cm

Subleito – CBR \geq 11%

Altura total: 36 cm

3.1.3.3 Tráfego leve

Revestimento de concreto asfáltico = 4,0 cm

Pintura de ligação

Imprimação

Base – CBR \geq 80%, exp. \leq 0,5% = 10,0 cm

Sub-base – CBR \geq 20%, exp. \leq 1,0% = 15,0 cm

Subleito – CBR \geq 11%

Altura total: 29 cm

3.2 PROCESSO EXECUTIVO

3.2.1 Atividades preliminares

Os pré-requisitos para início da atividade de pavimentação em loteamentos fechados são:

- Concluir as atividades de terraplenagem

A terraplanagem foi o primeiro serviço feito no loteamento em estudo, realizando os cortes e os aterros necessários. Essa tarefa tem por objetivo deixar o terreno na Cota Greide de subleito.

O projeto executado no loteamento possui Greide colado, visto que a cota do pavimento das ruas praticamente coincidem com o terreno natural.

Na maior parte do loteamento foi executado corte no terreno. Duas ruas foram aterradas, uma com três camadas de aterro de 20cm e outra com vinte e duas camadas de 20 cm, sendo o grau de compactação exigido de no mínimo 100% em todas as camadas, já que esse aterro foi feito sobre um serviço de geodreno. Geralmente essa compactação é necessária nos últimos 60 cm de terraplanagem.

O uso do geodreno tem o objetivo de remover água do subsolo, promovendo o adensamento vertical da camada de solo mole, obtendo assim a estabilização do solo. Os drenos absorvem e filtram as águas destes solos, comprimidos pelo aterro executado sobre o colchão drenante. Geram um recalque imediato do aterro, tornando-os mais densos e minimizando os recalques ao longo do tempo.

- Concluir as atividades de galeria de águas pluviais;
- Concluir as atividades de rede de água e esgoto;
- Concluir as redes subterrâneas (Elétrica, Telefonia);

3.2.2 Execução do pavimento

3.2.2.1 Subleito

A primeira camada executada do pavimento foi o subleito, compactado com o material natural do terreno: argila silto-arenosa vermelha.

O terreno que estava inicialmente na Cota Greide de subleito, foi escavado a uma profundidade de 40 cm e divididos em duas camadas de 20 cm cada. Esse processo foi feito porque a espessura máxima de cada camada a ser compactada é de 20 cm.

A camada inferior foi feita dividindo a pista ao meio, tombando os 20 cm de cima de cada parte da pista para a extremidade, como mostrado na Figura 18.

A camada inferior pode então ser escarificada, pulverizada e umedecida até atingir a umidade ótima para a compactação, o que pode ser visto na Figura 19 e na Figura 20. O grau

de compactação atingido foi de 100%.

Para a compactação da camada superior a pista foi dividida em três partes. Esse processo foi utilizado devido as dimensões do rolo compactador, que necessita de três passadas para compactar a pista por inteiro.

Quando o rolo compactador passa uma vez por todo o perímetro da pista, é considerado uma fecha. Foram necessários de nove a onze fechas para atingir o grau de compactação de 100%.

Até que seja executada a próxima camada, o subleito deve estar sempre sendo molhado com o caminhão tanque, para que o material não perca umidade.

Como o pavimento é do tipo abaulado, possui uma declividade na extremidade em relação ao eixo central, nessa etapa já começa a executar o abaulamento da pista, o que é feito também, nas próximas camadas.

Figura 18 – Tombamento do material do subleito pela motoniveladora



Fonte: Próprio autor

Figura 19 – Material sendo umedecido pelo caminhão tanque



Fonte: Próprio autor

Figura 20 – Escarificação com trator agrícola com grades de disco



Fonte: Próprio autor

Figura 21 – Compactação do subleito com Rolo compactador tipo pé de carneiro



Fonte: Próprio autor

Figura 22 – Parte da camada de fundo do subleito compactado



Fonte: Próprio autor

Para a liberação da execução da próxima camada do pavimento é preciso realizar o teste de carga em todo o subleito executado, o que é feito com o caminhão pipa transitando sobre o mesmo. Também foi utilizado o teste de furo in situ a cada 40 m de pista para garantir a qualidade do pavimento, a norma do DNIT exige que esse teste seja feito, no mínimo, a

cada 100 m de pista. O objetivo é determinar o grau de compactação e a umidade do material compactado.

Foram encontradas falhas nas duas camadas de subleito pela equipe de controle tecnológico, como o borrachudo, que ocorre quando o material encontra-se excessivamente úmido, não sendo possível realizar a compactação ideal. A solução encontrada para este problema foi escarificar e aguardar que o material atinja a umidade ótima e posteriormente refazer a compactação.

Em casos de borrachudo em apenas uma área específica, o material do local foi substituído por cascalho e compactado novamente, pois nesses casos é mais viável do que abrir todo o trecho da pista.

Figura 23 - Teste de carga com caminhão tanque



Fonte: Próprio autor

Figura 24 - Borrachudo no subleito



Fonte: Próprio autor

Outro problema encontrado pelo controle tecnológico, foram trechos com grau de

compactação menor que 100%. Nesses casos a solução é mais simples, os equipamentos de compactação devem retornar ao local e realizar a compactação até que se atinja o grau de compactação exigido.

Figura 25 - Material com excesso de umidade



Fonte: Próprio autor

A equipe de execução verificou através de ensaios a presença do lençol freático em um nível próximo a cota do subleito.

A solução encontrada foi executar colchão de dreno neste trecho, sendo substituídos os 40 cm de terreno natural do subleito por rachão, um material britado proveniente da reciclagem de concreto e pedras, juntamente com uma camada superior de brita para eliminar os poros presentes na camada.

Figura 26 - Retirada dos 40 cm de material natural do subleito



Fonte: Próprio autor

Figura 27 - Adição e compactação de rachão com escavadeira hidráulica



Fonte: Próprio autor

Figura 28 - Camada superior de brita



Fonte: Próprio autor

3.2.2.2 Sub-base

A camada de sub-base do empreendimento foi dividida em projeto para três espessuras de tráfego diferentes: vias de tráfego leve, vias de tráfego médio e vias de tráfego meio pesado. Para as vias de tráfego meio pesado e médio, foram utilizadas sub-base de 15 cm, para as de tráfego leve 10 cm.

Foi recomendado em projeto, a utilização de solo melhorado com cimento ou cal ou ainda material de jazidas, ambos com $\text{CBR} \geq 20\%$, uma recomendação feita pelo DNIT. Em função da grande quantidade de jazidas presentes na região, foi utilizado cascalho por ser a opção mais econômica.

A primeira etapa da execução da sub-base, foi a coleta do material em jazida com o objetivo de definir se o material apresentava as características mínimas exigidas no projeto.

Esses estudos foram realizados através de ensaios laboratoriais como compactação, CBR, limite de liquidez, limite de plasticidade e granulometria. O material encontrado na jazida possuía CBR de 40 a 58%, sendo maior que o mínimo exigido em projeto.

Definido a escolha do material a ser utilizado, grande parte do mesmo foi transportado para a obra e armazenado.

Figura 29 - Armazenagem de cascalho na obra



Fonte: Próprio autor

Para o procedimento foram utilizados a pá carregadeira e o caminhão caçamba, recolhendo o material estocado e levando até o local de execução do trecho de sub-base, lançando e espalhando com o auxílio da motoniveladora.

Figura 30 - Lançamento do material



Fonte: Próprio autor

Figura 31 - Espalhamento do material



Fonte: Próprio autor

Deve-se acrescentar água até que o solo atinja a umidade ótima, o que foi feito com a motoniveladora, com o trator agrícola com grades de disco e o caminhão tanque.

Com o material na umidade certa, deve se espalhar, deixando-o na cota para iniciar a compactação, que é feita utilizando o rolo compactador tipo pé-de-carneiro. Para chegar no grau de compactação de 100%, foram necessários de 11 a 13 fechas.

Assim como no subleito, também é preciso realizar o teste de carga em toda a camada de sub-base executada. Também é feito o teste de furo in situ a cada 40 metros de pista, para determinar o grau de compactação e a umidade do material compactado.

Figura 32 – Compactação da sub-base



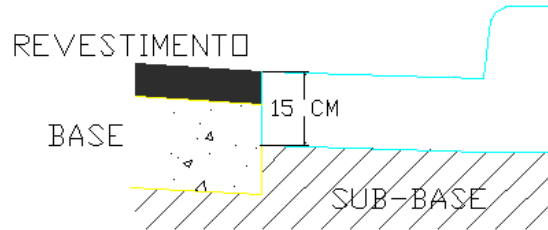
Fonte: Próprio autor

A camada de sub-base foi executada com 4 cm a mais do que o projetado inicialmente para vias de tráfego leve, 6 cm para tráfego médio e 7 cm para tráfego meio pesado. Esse procedimento foi feito para realizar a construção do meio fio e da sarjeta.

Sendo a espessura da sarjeta de 15 cm, o que pode ser visto figura 33, e a camada de base somada ao revestimento de 19 cm para tráfego leve, 21 cm para tráfego médio e 22 cm

para tráfego meio pesado, essa espessura a mais na camada de sub-base é feita para nivelar a sarjeta com o pavimento acabado, o que é observado na figura 34.

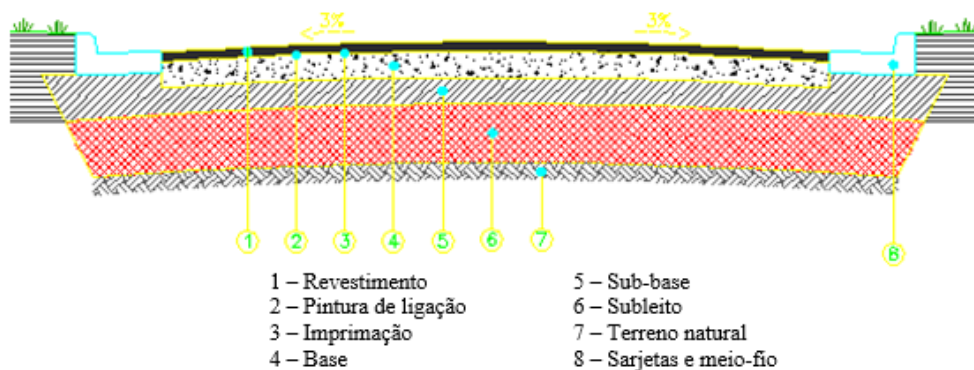
Figura 33 – Sarjeta e meio fio



Fonte: Próprio autor

Após a execução do meio fio e da sarjeta, deve-se então fazer a raspagem do material em excesso com a motoniveladora, para que o terreno fique com a cota de sub-base do projeto. Essa camada deve estar sempre sendo molhada com o caminhão tanque até que seja executada a próxima camada, para que o material não perca umidade.

Figura 34 – Camadas do pavimento do loteamento em estudo



Fonte: Próprio autor

Figura 35 – Execução de meio fio e sarjetas



Fonte: Próprio autor

Figura 36 – Raspagem do material em excesso



Fonte: Próprio autor

3.2.2.3 Base

A camada de base do empreendimento foi dividida em projeto para três espessuras de tráfego diferentes: vias de tráfego leve, vias de tráfego médio e vias de tráfego meio pesado. Para as vias de meio pesado e médio foram utilizadas base de 17 cm, para as de tráfego leve 15 cm. Foi recomendado em projeto, a utilização de BGS com $CBR \geq 80\%$.

A primeira etapa da execução da base, foi a coleta do material em jazida para realizar estudo com o objetivo de definir se o material a ser utilizado apresentava as características mínimas exigidas no projeto. Esses estudos foram realizados através de ensaios laboratoriais como compactação, umidade, CBR e granulometria.

O BGS utilizado que chegava na obra passava por um ensaio de granulometria feito pela equipe de controle tecnológico para observar se o mesmo encontrava-se na faixa granulométrica adequada. Era trazido diretamente da jazida pelo caminhão caçamba, sendo lançando e espalhando com o auxílio da motoniveladora.

O material a ser utilizado chegava no terreno na umidade ótima, porem devido as altas temperaturas da região, foi necessário umedecer o material com caminhão tanque afim de conservar a umidade. Com o material na umidade certa, deve-se espalhá-lo para que fique na cota para iniciar a compactação com o rolo de pneus e rolo metálico liso.

Para chegar no grau de compactação de 100%, foram necessários de 10 a 12 fechas com rolo de pneus e depois entrou o rolo liso para alisar e fazer o acabamento.

Assim como nas camadas anteriores, para a liberação da execução da próxima camada do pavimento, é preciso realizar o teste de furo in situ a cada 40 metros pista, com o objetivo de determinar o grau de compactação e a umidade do material compactado.

Figura 37 – Lançamento e espalhamento do BGS



Fonte: Próprio autor

Figura 38 – BGS sendo umedecido



Fonte: Próprio autor

Figura 39 – Compactação da base



Fonte: Próprio autor

3.2.2.4 Imprimação

A imprimação é feita pelo caminhão espargidor de asfalto, no processo não foram utilizadas vassouras mecânicas ou manuais, já que a base era constituída de BGS e por isso não havia excesso de finos na camada.

A temperatura do asfalto diluído de petróleo, resultantes da diluição do cimento asfáltico, que foi aplicado estava variando de 35 a 40°C.

Essa etapa é feita primeiramente nas bordas da pista, para proteger as sarjetas e o meio fio de serem manchados pelo asfalto diluído de petróleo.

Para assegurar a qualidade do serviço, a equipe de controle tecnológico fez a cada 800 m² de pista imprimada, as taxas efetivas de aplicação do ligante asfáltico.

Figura 40 – Aplicação de asfalto diluído de petróleo nas bordas da pista



Fonte: Próprio autor

Figura 41 – Aplicação de asfalto diluído de petróleo



Fonte: Próprio autor

Figura 42 – Processo de imprimação concluído



Fonte: Próprio autor

Durante o processo de aplicação do asfalto diluído de petróleo, é colocado uma bandeja com área e peso conhecidos para recolher uma amostra do material com o objetivo de realizar o teste de taxa efetiva, que mede a quantidade de ligante betuminoso aplicado.

Figura 43 – Recolhimento do material para teste de taxa efetiva



Fonte: Próprio autor

Figura 44 – Taxa de aplicação do asfalto diluído de petróleo



Fonte: Próprio autor

Após a execução da imprimação, é feito os poços de visita para rede de drenagem.

Figura 45 – Poço de visita para rede de drenagem



Fonte: Próprio autor

3.2.2.5 Pintura de ligação

A camada de pintura de ligação é feita antes da execução do revestimento de CBUQ, e se assemelha muito com a imprimação. A sua função é basicamente promover a aderência entre as camadas.

Assim como na imprimação, deve-se ter cuidado com as sarjetas e meio fio para que elas não sejam manchadas pelo asfalto diluído de petróleo

Para assegurar a qualidade do serviço, a equipe de controle tecnológico fez a cada 800 m² de pista, as taxas efetivas de aplicação do ligante asfáltico. Sendo aplicado a uma temperatura mínima de 60°C.

Figura 46 – Aplicação da pintura de ligação



Fonte: Próprio autor

Figura 47 – Temperatura do ligante asfáltico



Fonte: Próprio autor

3.2.2.6 Revestimento de CBUQ

O CBUQ a ser aplicado é transportado da usina até a obra através do caminhão caçamba. Primeiramente, é feita uma coleta de amostra do material para determinar o teor de betume, a granulometria, Ensaio de compactação de Marshall e a temperatura.

A aplicação do CBUQ é feito com a vibroacabadora, com a temperatura variando de 120 a 175°C, sendo verificado através de termômetros inseridos no CBUQ. Devido as dimensões da vibroacabadora, foi necessário dividir a pista em duas partes para executar o trecho por inteiro.

O rastelo é utilizado para retirar as imperfeições das emendas do pavimento, retirando o material grosso.

A equipe de execução decidiu utilizar primeiro o rolo de pneus no processo de compactação do pavimento, pois este é mais pesado. Foi colocado na pista até que a temperatura do CBUQ atingisse cerca de 110°C. Posteriormente foi utilizado o rolo metálico liso para dar o acabamento final do pavimento, eliminando as marcas existentes no mesmo.

Figura 48 – Usina de CBUQ



Fonte: Próprio autor

Figura 49 – Inserção de CBUQ na vibroacabadora



Fonte: Próprio autor

Figura 50 – Termômetro medindo a temperatura do CBUQ



Fonte: Próprio autor

Figura 51 – Aplicação de CBUQ pela vibroacabadora



Fonte: Próprio autor

Figura 52 – Rastelo utilizado para acabamento de emendas



Fonte: Próprio autor

Figura 53 – Compactação com o rolo de pneus



Fonte: Próprio autor

Figura 54 – Acabamento com o rolo metálico liso



Fonte: Próprio autor

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo desenvolvido teve como objetivo principal fazer uma análise da execução de pavimento flexível de um loteamento fechado através de um estudo de caso, sendo esse pavimento composto por três tipos de tráfego: leve, com espessura de 69 cm somando todas as camadas (incluindo o subleito); médio, com espessura total de 76 cm e meio pesado, com espessura total de 77cm.

Foi possível perceber com estes resultados que o tipo de tráfego para que o pavimento será dimensionado, interfere claramente nas espessuras finais do mesmo. No caso do revestimento betuminoso, utiliza-se desde tratamentos superficiais para tráfegos leves ou médios, a camadas de 12,5 cm para tráfegos muito pesados.

O dimensionamento foi feito a partir do Manual de pavimentação do DNIT, estando presente no mesmo, todos os valores de CBR e expansão mínimos, dados fundamentais para a determinação das espessuras e materiais a serem utilizados em cada camada do pavimento

O estudo de caso feito no loteamento mostrou a importância que se deve dar ao controle tecnológico, para que se evite ao máximo falhas durante a pavimentação, ou ainda para que essas falhas sejam solucionadas no tempo e de maneira correta, garantindo a vida útil projetada para o pavimento.

Para este tipo de pavimento estudado, é de suma importância que todas as camadas sejam executadas com a maior qualidade possível, pois o pavimento flexível sofre deformações elásticas sobre o carregamento aplicada, sendo a carga distribuída por todas as suas camadas.

REFERÊNCIAS

1. ESPAÇO THÁ ONLINE. Residenciais Completos: Uma nova tendência em moradia. Disponível em: <<http://www.tha.com.br/espacotha/residenciais-completos-uma-nova-tendencia-em-moradia/>>. Acesso em: 14 mar. 2015
2. FREI, José Carlos de. Da legalidade dos loteamentos fechados. São Paulo. Disponível em: <<http://www.ebooksbrasil.org/sitioslagos/documentos/ilegalidade.html>>. Acesso em: 15 mar. 2015.
3. BERNUCCI, Liedi bariani, et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.
4. NAKAMURA, Juliana. Pavimentação asfáltica: os tipos de revestimentos, o maquinário necessário e os cuidados na contratação, projeto e execução. Infraestrutura urbana: projetos, custos e construção, São Paulo, n. 16, dez. 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/16/pavimentacao-asfaltica-os-tipos-de-revestimentos-o-maquinario-necessario-260588-1.aspx>>. Acesso em: 16 mar. 2015.
5. SENÇO, Wlastermiler de. Manual de Técnicas de Pavimentação. vol. 1. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007.
6. DNIT. Manual de pavimentação. Publicação IPR-719. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006.
7. BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Manual de Pavimentos Rígidos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 233p.
8. SOARES, Jorge. Pavimentos de Concreto-Cimento. Disponível em: <http://www.det.ufc.br/jsoares/super/10_Pavimentos_de_concreto.pdf>. Acesso em: 12 maio 2015.
9. MORAES, Carlos Renê Barbosa; SILVA, Edison da. Estudo da arte do pavimento rígido – durabilidade, economia e segurança. Barretos, 2009. Disponível em: <http://www.feb.br/index.php/institucional/atos-legais/normas-internas/doc_download/742-carlosreneedsontextopdf>. Acesso em: 12 maio 2015.
10. SENÇO, Wlastermiler de. Manual de técnicas de pavimentação. vol. 1. - 1. ed. - São Paulo: Pini, 1997.
11. SENÇO, Wlastermiler de. Manual de técnicas de pavimentação. vol. 2 - 1. ed. - São Paulo: Pini, 2001.
12. JÚNIOR, Elci Pessoa. Manual de obras rodoviárias e pavimentação urbana: execução e fiscalização. São Paulo: Pini, 2014.
13. Rolo compactador pé de carneiro, 2014. Disponível em: <CP533E.<http://www.blocacoes.com.br/maquinas/rolo-compactador-pe-de-carneiro->

cp533e/>. Acesso em: 18 maio de 2015.

14. DNIT. Pavimentação - Reforço do subleito - Especificação de serviço, Norma DNIT 138/2010 - ES. Rio de Janeiro, 2010. 7 p.

15. BAPTISTA, Cyro Nogueira. Pavimentação: tomo 1. Ensaio fundamentais para a pavimentação - dimensionamentos dos pavimentos flexíveis. 3ª ed. Porto Alegre: Globo, 1978.

16. DNIT. Pavimentação - Imprimação com ligante asfáltico - Especificação de serviço, Norma DNIT 144/2014 - ES. Rio de Janeiro, 2014. 7 p.

17. BETUNEL. Importância da pintura de ligação entre as camadas asfálticas, 2010. Disponível em: <<http://betunel.com.br/betunews/?p=5>>. Acesso em: 14 maio 2015.

18. D'AGOSTIN, Francini Giassi. Dimensionamento de pavimento flexível e análise comparativa entre os custos do projeto de revitalização e uma proposta de reconstrução da SC- 446 – rodovia governador Jorge Lacerda, 2010. Disponível em: <<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/00004D/00004D34.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2015.

19. GEWEHR, Juliano. Asfalto de qualidade, 2015. Disponível em: <<http://asfaltodequalidade.blogspot.com.br/>>. Acesso em 15 out. 2015.

20. JIMÉNEZ, Félix Edmundo Pérez. Manual de Pavimentação. 2ª ed. CEPISA, 2010.

21. IP – 02 - Classificação das vias. São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/NORMAS%20T%C3%89CNICAS%20INSTRU%C3%87%C3%95ES%20NOVAS/Pavimenta%C3%A7%C3%A3o/IP-02%20%5B1%5D.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2015.

22. DNIT. Pavimentos flexíveis – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço, Norma DNIT - ES. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

23. DNIT. Pavimentos flexíveis – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço, Norma DNIT - ES. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

24. DNIT. Pavimentos flexíveis – Regularização do subleito - Especificação de serviço - Especificação de serviço, Norma DNIT - ES. Rio de Janeiro, 2009. 7 p.