



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LUIZ PHILLIP PEREIRA BARBOSA
GUILHERME DE MELO SOUZA

TRATAMENTOS SUPERFICIAIS

RECIFE
2017

LUIZ PHILLIP PEREIRA BARBOSA
GUILHERME DE MELO SOUZA

TRATAMENTOS SUPERFICIAIS

Monografia apresentada à
Universidade Federal de Pernambuco
para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia
Civil

Orientador: Prof. Dr. Maurício Renato
Pina Moreira

RECIFE

2017



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO(S): 1 – Luiz Phillip Pereira Barbosa
2 – Guilherme de Melo Souza

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: Prof. Maurício Renato Pina Moreira
Examinador 1: Prof. Fernando Jordão de Vasconcelos
Examinador 2: Prof. Maurício Oliveira de Andrade

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Tratamentos Superficiais

LOCAL: Sala 105 – Bloco de aulas do CTG

DATA: 22 / 06 / 17 **HORÁRIO DE INÍCIO:** 15:00.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca com NOTA: **9,5** (deixar 'Exame Final', quando for o caso).

1) (X) aprovado(s) (nota > = 7,0), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

O trabalho com nota no seguinte intervalo, **3,0 = < nota < 7,0**, será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.

2) () reprovado(s). (nota <3,0)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, ..22.. deJunho..... de 2017..

Orientador:

Avaliador 1:

Avaliador 2:

Candidato 1:

Candidato 2:

Coordenação do Curso de Engenharia Civil-Dcivil

Rua Acadêmico Hélio Ramos s/nº. Cidade Universitária. Recife-PE CEP: 50740-530.
Fones: (081)2126.8220/8221 Fone/fax: (081)2126.8219.

RESUMO

Devido à aspectos como versatilidade, facilidade de execução e custos-benefícios, os pavimentos flexíveis compostos por misturas asfálticas são extremamente utilizados em rodovias de todo o mundo, especialmente no Brasil, onde mais de mais de 90% das estradas pavimentadas são feitas com revestimento asfáltico. Dentre as diversas opções de revestimentos asfálticos, o Tratamento Superficial é uma das soluções mais tradicionais e mais utilizadas nas vias brasileiras, seja em sua construção ou recuperação. Esta ampla utilização se deve ao fato de este ser um tipo de revestimento econômico que possui um baixo consumo de material primário e energia, além de possuir rápida e simples execução. A possibilidade de se utilizar os Tratamentos Superficiais em diferentes situações, que variam de tráfego leve em vias vicinais até trânsito pesado em vias de alta velocidade, torna ainda mais comum sua utilização. Diante deste contexto e da importância em se estudar tal assunto, este relatório busca clarear todo o entendimento a respeito dos elementos e processos envolvidos nos pavimentos asfálticos por Tratamentos Superficiais, de forma a auxiliar a grande indústria envolvida na execução deste tipo de revestimento. Assim, este estudo visa reunir conhecimentos necessários para que o máximo de proveito possa ser obtido com a utilização deste tipo de pavimento.

Palavras chave: Pavimentação. Tratamento Superficial. Revestimento. Pavimentos flexíveis. Mistura asfáltica.

ABSTRACT

Due to aspects such as versatility, ease on its execution and a good cost-benefit ratio, flexible pavements composed by asphaltic mixtures are extremely used in highways around the world, especially in Brazil, where over 90% of paved roads are built with asphaltic covering. Among different options of asphaltic covering, the Superficial Treatment is one of the most traditional and used solutions in Brazilian roads, used for either their construction or repairs. This vast use is due to the fact of it being a kind of covering which is economic, has a low use of raw materials and energy, besides possessing fast and easy execution. The possibility of using Superficial Treatments in different situations, which vary from low traffic, all the way to high intensity traffic with heavy loads and high speeds, makes even more common its use. Facing this context and the importance in studying this topic, this report seeks to clarify all understanding regarding the elements and processes involving asphaltic pavements by superficial treatments, in a way that supports the great industry involved in the execution of this kind of pavement. Therefore, this study seeks to gather knowledge needed to have a greater advantage in the use of this pavement.

Key words: Paving, Superficial Treatments, Asphaltic Covering, Flexible Pavements, Asphaltic Mixture.

Sumário

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 8 |
| 1.1 | MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA | 8 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 9 |
| 1.3 | ESCOPO | 9 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 10 |
| 2.1 | PAVIMENTOS | 10 |
| 2.1.1 | PAVIMENTOS FLEXÍVEIS | 10 |
| 2.1.2 | PAVIMENTOS RÍGIDOS | 12 |
| 2.1.3 | PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS. | 13 |
| 2.2 | SEÇÃO TRANSVERSAL | 14 |
| 2.2.1 | SUBLEITO | 14 |
| 2.2.2 | LEITO | 14 |
| 2.2.3 | REGULARIZAÇÃO DE SUBLEITO | 14 |
| 2.2.4 | REFORÇO DE SUBLEITO | 15 |
| 2.2.5 | SUB-BASE | 15 |
| 2.2.6 | BASE | 15 |
| 2.2.7 | REVESTIMENTO | 15 |
| 2.3 | REVESTIMENTOS FLEXÍVEIS | 16 |
| 2.3.1 | EM SOLO ESTABILIZADO | 16 |
| 2.3.2 | POR CALÇAMENTO | 16 |
| 2.3.3 | BETUMINOSOS | 17 |
| 2.4 | ASFALTOS PARA PAVIMENTAÇÃO | 19 |
| 2.4.1 | CIMENTO ASFÁLTICO DO PETRÓLEO (CAP) | 19 |
| 2.4.2 | ASFALTOS DILUÍDOS | 19 |
| 2.4.3 | EMULSÕES ASFÁLTICAS | 20 |
| 2.5 | PATOLOGIAS DO REVESTIMENTOS FLEXÍVEIS | 20 |
| 2.5.1 | FENDAS | 20 |
| 2.5.2 | AFUNDAMENTO | 22 |
| 2.5.3 | ONDULAÇÃO OU CORRUGAÇÃO | 22 |
| 2.5.4 | ESCORREGAMENTO | 23 |
| 2.5.5 | EXSUDAÇÃO | 24 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 2.5.6 | DESGASTE | 24 |
| 2.5.7 | PANELA OU BURACO | 25 |
| 2.5.8 | REMENDO | 25 |
| 3 | APROFUNDAMENTO EM TRATAMENTOS SUPERFICIAIS | 26 |
| 3.1 | INTRODUÇÃO | 26 |
| 3.2 | DEFINIÇÃO | 26 |
| 3.3 | MATERIAIS | 27 |
| 3.3.1 | LIGANTE BETUMINOSO | 28 |
| 3.3.2 | AGREGADOS | 32 |
| 3.4 | EQUIPAMENTOS | 35 |
| 3.4.1 | CAMINHÃO DISTRIBUIDOR DE ASFALTO | 36 |
| 3.4.2 | DISTRIBUIDOR DE AGREGADO. | 37 |
| 3.4.3 | ROLOS COMPACTADORES | 39 |
| 3.4.4 | EQUIPAMENTOS DE LIMPEZA | 40 |
| 3.5 | PROCESSO CONSTRUTIVO E CONTROLE | 40 |
| 3.5.1 | IMPRIMAÇÃO DA BASE | 40 |
| 3.5.2 | LIMPEZA DA SUPERFÍCIE | 41 |
| 3.5.3 | ESPARGIMENTO DO LIGANTE | 42 |
| 3.5.4 | JUNTAS TRANSVERSAIS E LONGITUDINAIS DE EXECUÇÃO | 44 |
| 3.5.5 | DISTRIBUIÇÃO DE AGREGADOS | 45 |
| 3.5.6 | COMPACTAÇÃO DOS AGREGADOS | 46 |
| 3.5.7 | BANHO DILUÍDO | 47 |
| 3.5.8 | ACABAMENTO | 47 |
| 3.6 | MANEJO AMBIENTAL | 48 |
| 3.6.1 | AGREGADOS | 48 |
| 3.6.2 | LIGANTE BETUMINOSO | 49 |
| 4 | CONCLUSÃO | 50 |
| | REFERÊNCIAS | 51 |

1 INTRODUÇÃO

Devido à aspectos como versatilidade, facilidade de execução e custos-benefícios, os pavimentos flexíveis compostos por misturas asfálticas são extremamente utilizados em rodovias de todo o mundo, especialmente no Brasil. De acordo com a Associação Brasileira de Empresas Distribuidoras de Asfalto (Abeda), mais de 90% das estradas pavimentadas nacionais são feitas com revestimento asfáltico.

Dentre as diversas opções de revestimentos asfálticos, o Tratamento Superficial é uma das soluções mais tradicionais e mais utilizadas nas vias brasileiras, seja em sua construção ou recuperação. Esta ampla utilização se deve ao fato de este ser um tipo de revestimento econômico que possui um baixo consumo de material primário e energia, além de possuir rápida e simples execução. A possibilidade de se utilizar os Tratamentos Superficiais em diferentes situações, que variam de tráfego leve em vias vicinais até trânsito pesado em vias de alta velocidade, torna ainda mais comum sua utilização.

Tratamento Superficial é um revestimento flexível composto basicamente por dois materiais, ligante e agregado, que, aderidos, formam camadas de pequena espessura. Estes materiais são responsáveis por garantir que o revestimento atenda seus objetivos de impermeabilidade e resistência ao desgaste.

Entretanto, para que seja alcançado o sucesso quanto a usabilidade e durabilidade deste revestimento, é necessário um bom conhecimento de seus materiais, equipamentos e procedimentos utilizados durante todo o desenvolvimento desta solução. Somente desta forma será possível desfrutar dos benefícios que o Tratamento Superficial trás.

1.1 Motivação e Justificativa

Devido à grande utilização e vantagens oriundas de uma boa execução de pavimentações asfálticas por tratamentos superficiais, este tema é de grande importância para a indústria da engenharia civil.

Apesar de serem claras as vantagens vinculadas aos tratamentos superficiais, estas só poderão ser aproveitadas a partir de um bom entendimento e aplicação dos

processos e elementos envolvidos nesse método. Desta forma, é de grande importância um entendimento aprofundado do assunto, entendendo todos os materiais e equipamentos envolvidos no processo, tornando possível uma utilização ideal de tratamentos superficiais.

1.2 Objetivos

Esta monografia tem como objetivo clarear todo o entendimento a respeito dos elementos e processos envolvidos nos pavimentos asfálticos por Tratamentos Superficiais, de forma a auxiliar a grande indústria envolvida na execução deste tipo de revestimento. Assim, este estudo visa reunir conhecimentos necessários para que o máximo de proveito possa ser obtido com a utilização deste tipo de pavimento.

Desta forma, pode-se destacar os seguintes objetivos como sendo principais para esse trabalho:

- Expor o melhor uso de materiais, de forma a atingir uma maior eficiência do pavimento.
- Indicar os equipamentos utilizados e suas condições ótimas de uso.
- Detalhar todos os processos construtivos envolvidos na confecção de um tratamento superficial.
- Evidenciar os cuidados necessários para a manutenção do meio ambiente.

1.3 Escopo

Para atender aos objetivos descritos acima, o trabalho está estruturado em 4 capítulos. Primeiramente o capítulo 1, que é esta introdução, visa mostrar o teor geral do trabalho, descrevendo seu objeto de estudo e seus objetivos gerais, além de descrever como o documento está dividido e estruturado.

O capítulo 2 traz o referencial teórico. É nesse capítulo que se localiza a maior parte teórica e de pesquisa do trabalho. Nesta etapa se realizará uma síntese do que a literatura atual fala sobre pavimentação asfáltica, apresentando visões de alguns autores, além de explicações mais teóricas e definições dos conceitos essenciais para o entendimento do tema. Aqui todos os elementos envolvidos na produção de um revestimento asfáltico serão definidos e detalhados.

O capítulo 3 será focado em tratamentos superficiais, apresentando todos os elementos necessários para a execução de um bom revestimento.

Após a apresentação do foco do presente estudo, o capítulo 4, a conclusão, apresenta um fechamento, realizando últimas considerações e análises referentes ao tema. Também neste capítulo é reforçada a importância do estudo efetuado.

Por último o capítulo 5 traz a bibliografia consultada para a realização deste estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pavimentos

Para SOUZA (1980), Pavimento é uma estrutura construída após a terraplanagem por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade.

Segundo a NBR-7207/82 da ABNT tem-se a seguinte definição: "O pavimento é uma estrutura construída após terraplanagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

- a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b) Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- c) Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento. "

Os pavimentos podem ser divididos em três categorias: rígidos, semirrígidos e flexíveis.

2.1.1 Pavimentos Flexíveis

A definição de pavimento flexível segundo o DNIT é: "Pavimento que consiste em uma camada de rolamento asfáltica e de base, constituída de uma ou mais camadas, que se apoia sobre o leito da estrada sendo que a camada de rolamento pode-se adaptar-se à deformação da base quando solicitada. "

São aqueles constituídos por camadas sobrepostas que não trabalham sobre tração. Geralmente são constituídos de revestimento betuminoso de espessura fina

sobre camadas puramente granulares. A capacidade de suporte é função das características de distribuição de cargas por um sistema de camadas superpostas, onde as de melhor qualidade encontram-se mais próximas da carga aplicada.

O nome dos pavimentos flexíveis se dá pelo fato de que sua estrutura permite que o pavimento se deforme devido as cargas do tráfego. Tal estrutura é composta de várias camadas de materiais que acomodam a deformação sofrida pelo revestimento e dissipa as cargas para camadas inferiores do pavimento. O dimensionamento do pavimento flexível é comandado pela resistência do subleito e do pavimento rígido pela resistência do próprio pavimento.

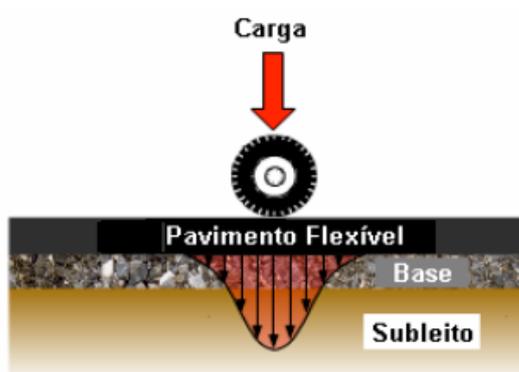


Figura 1 - Distribuição de cargas nos pavimentos flexível

O revestimento asfáltico é o método aplicado na imensa maioria das vias pavimentadas do Brasil, segundo dados da associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (Abeda), mais de 90% das estradas pavimentadas nacionais são de revestimento asfáltico.

O asfalto pode ser fabricado em usina específica (misturas usinadas), fixa ou móvel, ou preparado na própria pista (para tratamentos superficiais). Além da forma de produção, os revestimentos também podem ser classificados quanto ao tipo de ligante utilizado: a quente com o uso de concreto asfáltico, o chamado Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) ou a frio com o uso de emulsão asfáltica (EAP). Mais econômicas, as misturas asfálticas usinadas a frio são indicadas para revestimento de ruas e estradas de baixo volume de tráfego, ou ainda como camada intermediária (com concreto asfáltico superposto) e em operações de conservação e manutenção. Neste caso, as soluções podem ser pré-misturadas e devem receber tratamentos superficiais posteriores.

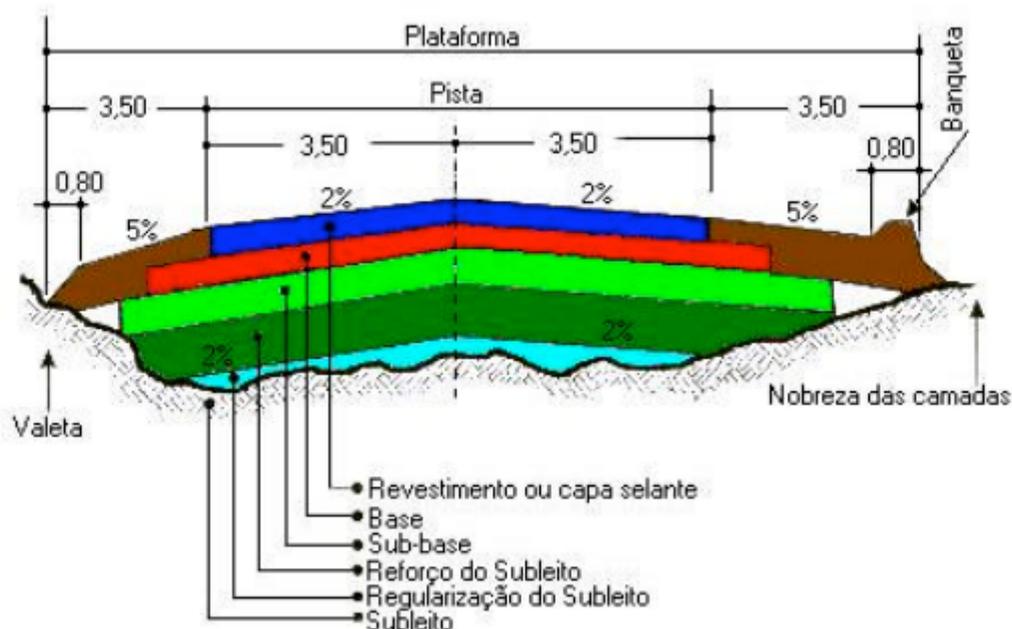


Figura 2 - Seção Transversal Típica de Pavimento Flexível (MARQUES)

2.1.2 Pavimentos Rígidos

São os pavimentos constituídos de camadas que trabalham predominantemente sobre tração. Para seu dimensionamento é utilizado as propriedades resistentes de placas de concreto de cimento Portland. O revestimento de concreto está apoiado em uma camada granular, a sub-base.

No pavimento rígido a placa de concreto fornece a maior parte da capacidade estrutural do pavimento, transferindo as cargas sobre uma área mais ampla do subleito. O revestimento flexível sofre uma deformação maior, transferindo as cargas para camadas inferiores do pavimento em uma área menor do subleito.

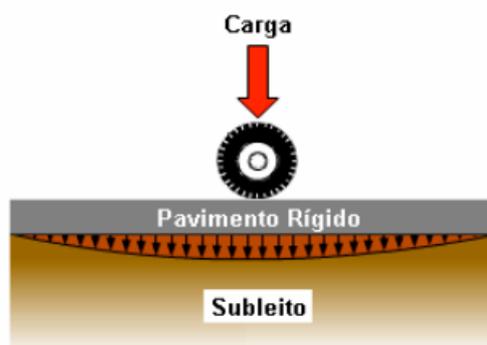


Figura 3 - Distribuição de cargas nos pavimentos rígido

A determinação da espessura é conseguida a partir da resistência à tração do concreto e são feitas considerações em relação à fadiga, coeficiente de reação do subleito e cargas aplicadas. São pouco deformáveis com uma vida útil maior.

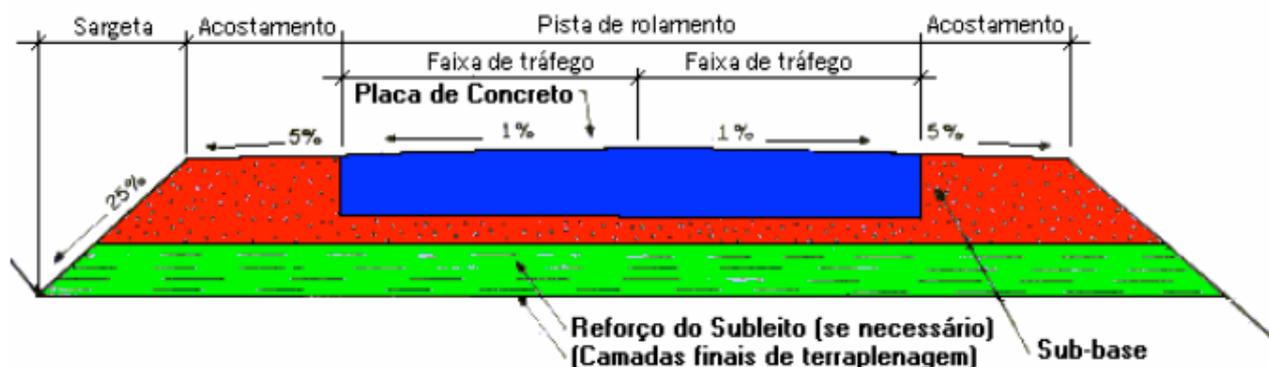


Figura 4 - Seção Transversal Típica de Pavimento Rígido

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

2.1.3 Pavimentos Semirrígidos.

Esta é a situação intermediária entre os pavimentos flexível e rígido, que ocorrem quando as camadas possuem razoável resistência a esforços de tração. É constituído por revestimento e camadas de base ou sub-base em material estabilizado com adição de cimento, como solo-cimento, solo-betume dentre outras. Este tipo de pavimento tem uma deformabilidade maior que o rígido e menor que o flexível.

O pavimento semirrígido pode ser do tipo direto quando a camada de revestimento asfáltico é executada sobre camada de base cimentada, ou do tipo indireto ou invertido, quando a camada de revestimento é executada sobre camada de base granular e sub-base cimentada.

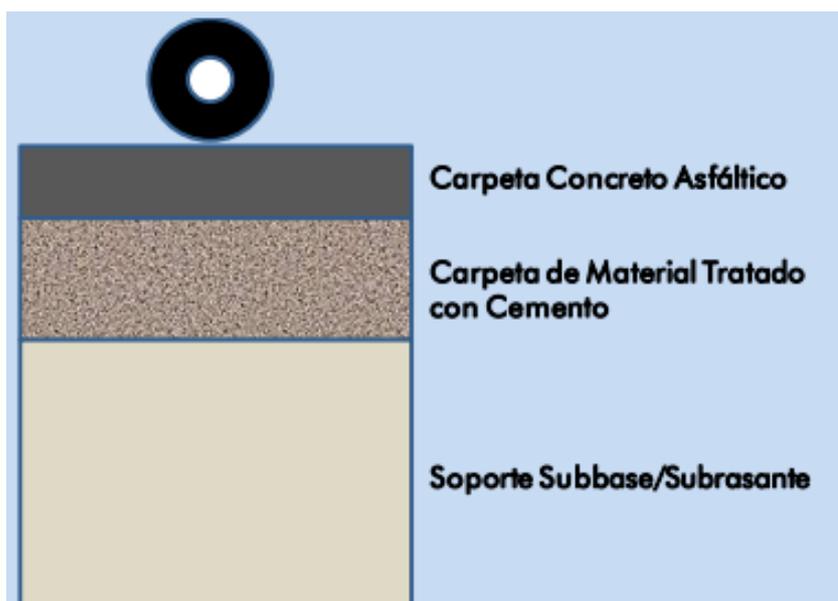


Figura 5 - Seção Transversal Típica de Pavimento Semirrígido.

2.2 Seção Transversal

Os elementos descritos a seguir são os componentes principais que aparecem numa seção típica de pavimentos flexíveis e/ou rígidos.

2.2.1 Subleito

É o terreno em seu estado natural, ou seja, é o terreno de fundação onde será apoiado todo o pavimento. Deve ser considerado e estudado até as profundidades em que atuam significativamente as cargas impostas pelo tráfego.

Se o CBR do subleito for $< 2\%$, ele deve ser substituído por um material melhor, ($2\% \leq \text{CBR} \leq 20\%$) até pelo menos 1,00 metro.

Se o CBR do material do subleito for $\geq 20\%$, pode ser usado como sub-base.

2.2.2 Leito

É a área da superfície do subleito após passar pelos serviços de terraplenagem e conformada ao greide e seção transversal.

2.2.3 Regularização de subleito

É o processo que poderá ou não existir a depender das condições naturais do leito. Compreende cortes e aterros até 20 cm de espessura com objetivo de corrigir

falhas da camada final de terraplenagem ou de um leito antigo. A regularização deve obedecer às larguras e cotas constantes nas notas de serviço de regularização de terraplenagem do projeto.

2.2.4 Reforço de subleito

É uma camada adicional empregada em casos de solo de baixa capacidade de suporte, tem como objetivo melhorar as qualidades do subleito e regularizar a espessura da sub-base. A espessura desta camada varia de acordo com as condições do subleito.

2.2.5 Sub-base

É a camada complementar a base, possuindo as mesmas funções desta. É utilizada quando não for aconselhável a execução da base diretamente sobre o leito ou reforço de subleito.

2.2.6 Base

Camada responsável por resistir e distribuir à camada subjacente os esforços recebidos pelo revestimento provenientes do tráfego, sendo a camada estruturalmente mais importante. Executada sobre a sub-base, subleito ou reforço do subleito devidamente regularizado e compactado.

2.2.7 Revestimento

É a camada, tanto quanto possível impermeável e resistente ao desgaste, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos, portanto é a camada que deve resistir aos esforços horizontais atuantes. No caso dos pavimentos rígidos esta camada também é responsável por resistir aos esforços verticais. O revestimento é responsável por proporcionar uma superfície de rolamento regular e confortável.

Os revestimentos podem ser classificados em rígidos ou flexíveis. Uma das principais diferenças entre eles é a forma como as cargas são distribuídas no terreno. Enquanto os revestimentos flexíveis tendem a transmitir as cargas verticalmente concentradas em um único ponto, os revestimentos rígidos distribuem a carga vertical sobre uma área mais extensa.

2.3 Revestimentos Flexíveis

Devido as suas vantagens construtivas e econômicas, os revestimentos flexíveis são amplamente utilizados nos mais variados serviços referentes a pavimentação. Uma gama de diferentes tipos de revestimentos flexíveis pode ser separada de acordo com o seu método de produção, materiais utilizados e outras variáveis. Por simplificação podemos subdividir os revestimentos flexíveis em três categorias: Em Solo Estabilizado, Por Calçamento e Betuminosos.

2.3.1 Em Solo Estabilizado

Este tipo de revestimento é conhecido como revestimento primário. Após a terraplenagem é adicionado um material com composição granulométrica previamente estudada de modo a proporcionar resistência à estrada. Esse material é comumente denominado “saibro” ou “cascalho”. Após a adição do material precede-se com a compactação do mesmo, atingindo a resistência desejada.

Devido à facilidade e agilidade na execução, este tipo de revestimento é comumente utilizado em estradas vicinais, estradas de fazendas e pequenos acessos rurais, onde a circulação de veículos não transmitem cargas significativas.

2.3.2 Por Calçamento

2.3.2.1 Revestimento de alvenaria poliédrica

De acordo com a NBR 7192, revestimento de alvenaria poliédrica se caracteriza por um revestimento flexível de pedras irregulares, cravadas de topo, por percussão, justapostas sobre base de solo estabilizado, rejuntadas com cimento betuminoso ou mistura de agregado e argila.

2.3.2.2 Blocos de concreto pré-moldados (intertravados)

É composto de blocos pré-moldados que são assentados em processo manual sobre colchão de areia ou pó de pedra ou sub-base de solo estabilizado. Estes blocos, de formas que podem variar (quadrado, hexagonal, tipo macho-fêmea, etc.), são rejuntados com areia ou betume. Seu processo construtivo se assemelha ao de alvenaria poliédrica.

2.3.3 Betuminosos

Os revestimentos flexíveis betuminosos são divididos pelo seu método de produção, que podem ser por penetração ou por mistura, e as misturas podem ser feitas a quente ou a frio. As misturas a quente são realizadas com cimento asfáltico de petróleo (CAP), e são produzidas, espalhadas e compactadas em temperaturas bem acima da ambiente. Já as misturas a frio são realizadas com asfaltos liquefeitos, e elas são produzidas, espalhadas e compactadas a temperatura ambiente.

2.3.3.1 Macadame betuminoso

A Norma DNIT 149/2010 define Macadame Betuminoso como sendo uma camada de pavimento que é realizada por intermédio de duas aplicações alternadas de ligante asfáltico sobre agregados. Esta camada é espalhada, nivelada e comprimida após aplicação. O material betuminoso é responsável por preencher os vazios entre os agregados.

2.3.3.2 Concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ)

O CBUQ é um dos tipos de revestimentos betuminosos mais utilizados nas vias urbanas e rodovias brasileiras.

É um revestimento resultante da mistura quente, em usina apropriada, de materiais composto por agregado graduado, material de enchimento (filler) e cimento asfáltico, que é espalhada e compactada a quente (DNIT 031/2006). Na usina, os materiais são previamente aquecidos para depois serem misturados. Após a mistura, o CBUQ é transportado, até o local de sua aplicação, por caminhões basculantes especialmente equipados. Após o lançamento, a mistura é compactada por rolos até atingir a densidade de projeto.

2.3.3.3 Pré-misturado

Constitui-se de mistura, previamente dosada, de material betuminosos e agregado mineral em usina. A mistura passa posteriormente por espalhamento e compressão à quente ou a frio, feita por equipamento apropriado. A mistura comprimida a frio pode ser estocada por um tempo.

O Pré-Misturado é normalmente utilizado como camada de rolamento em vias de tráfego do tipo leve ou muito leve, ou como recapeamento para estas camadas.

2.3.3.4 Areia asfalto

Constituído da mistura de areia e material betuminoso proveniente de usinas. Um ponto negativo deste processo é que a superfície acabada fica bastante lisa e macia, gerando problemas de aderência, visto que não são utilizados agregados graúdos. Uma solução para tal problema é a adição de pedrisco para tornar a superfície mais áspera. A areia utilizada na mistura, geralmente é a passante na peneira # 10. Tal método pode ser espalhado e comprimido à quente ou à frio.

2.3.3.5 Camada Porosa de Atrito (CPA)

Consiste na execução de um revestimento com elevada capacidade de drenagem através de uma estrutura de alto índice de vazios. Tal camada de rolamento possui a finalidade funcional de aumento de aderência pneu-pavimento em dias de chuva, além de ser responsável pela coleta da água da chuva para seu interior com rápida percolação devido à elevada permeabilidade, até a água alcançar as sarjetas. A CPA causa redução da espessura da lâmina d'água na superfície de rolamento e das distâncias de frenagem

2.3.3.6 Stone Matrix Asphalt (SMA)

É o revestimento que tem como característica principal a elevada porcentagem de agregados graúdos em sua composição. Ele promove uma estrutura resistente a deformações e fissurações, e com uma superfície durável, tornando-se uma opção adequada para vias densamente utilizadas. Os vazios existentes entre os agregados são posteriormente preenchidos com ligante, garantindo a estabilidade da estrutura do pavimento.

2.3.3.7 Tratamentos superficiais

É um revestimento de pequena espessura, aproximadamente igual ao diâmetro do agregado empregado. É executado através do método de penetração invertida, ou seja, o processo é iniciado pela aplicação do ligante betuminoso seguida de

espalhamento e compressão do agregado. Pode ser executado com os objetivos de impermeabilização, modificar a textura de um revestimento existente ou como revestimento final de um pavimento. Quando o processo executivo é repetido duas ou três vezes, resultam os chamados tratamentos superficiais duplos e triplos.

2.4 Asfaltos para Pavimentação

2.4.1 Cimento Asfáltico do Petróleo (CAP)

É um material adesivo que possui as seguintes características: é termoplástico, o que possibilita o seu fácil manuseio quando aquecido; é visco elástico; impermeável, o que evita a penetração de água nas camadas inferiores do pavimento; e por último o CAP é pouco reativo.

A Resolução ANP Nº 19, de 11 de julho de 2005 estabeleceu que a classificação dos cimentos asfálticos se dá segundo a sua penetração, que é definida como a profundidade que uma agulha padronizada consegue penetrar em uma amostra, e é medida em décimos de milímetro. Os quatro tipos disponíveis comercialmente são os seguintes: CAP 30/45; CAP 50/70; CAP 85/100 e CAP 150/200. Os valores significam os limites superior e inferior de penetração.

Os cimentos asfálticos de petróleo não devem ser utilizados sobre superfícies molhadas, e devem ser utilizados abaixo dos 177 °C com o objetivo de evitar o craqueamento térmico do ligante

2.4.2 Asfaltos diluídos

São obtidos a partir da diluição do CAP, utilizando destilados leves do petróleo como solvente. Os diluentes utilizados caracterizam o tipo de asfalto diluído de acordo com a sua cura. A cura é definida como o tempo necessário para o diluente evaporar após a aplicação. O tipo Cura Rápida (CR) utiliza gasolina como solvente, já o tipo Cura Média (CM) utiliza querosene. Cada categoria apresenta vários tipos de asfaltos diluídos baseados nos seus valores de viscosidade, o que é função da quantidade de solvente utilizado na fabricação do asfalto diluído. Os tipos disponíveis comercialmente são os seguintes: CR-70; CR-250; CR-800; CR-3000 CM-30; CM-70; CM-250; CM-800; CM-3000.

2.4.3 Emulsões asfálticas

É o resultado pela mistura de cimento asfáltico, água e um agente emulsivo. Nessa mistura o CAP se dispersa no meio aquoso através da aplicação de energia mecânica e térmica, com o objetivo de triturar o CAP e o tornar fluido. O agente emulsivo tem a função de permitir que o cimento asfáltico e a água se misturem reduzindo a tensão interfacial entre as fases. Os emulsificantes utilizados são sal de amina, silicatos solúveis ou não solúveis, sabões e óleos vegetais sulfonados e argila coloidal.

As emulsões podem ser classificadas quanto à carga da partícula, podendo ser catiônicas, aniônicas, bi iônicas e não-iônicas, e podem também ser classificadas quanto ao tempo de ruptura, podendo ser de ruptura rápida, média e lenta. A ruptura das emulsões ocorre quando entram em contato com agregados, a água evapora e o asfalto se fixa ao agregado. Antes de romper as emulsões possuem uma coloração marrom, e após tornam-se pretas.

Para aplicações em pavimentação as emulsões utilizadas são as catiônicas, as mais utilizadas são as seguintes: RR-1C; RR-2C; RM-1C; RM-2C; RL-1C; LA-1C; LA-2C.

2.5 Patologias do Revestimentos flexíveis

Devido a imperfeições durante a construção, manutenção ou reparo de pavimentos flexíveis, diversas patologias podem aparecer na estrutura. Além disso, o tráfego e a ação de intempéries sobre o pavimento podem gerar fadigas e deformações que resultam em patologias. Esses defeitos poderão aparecer precocemente ou a médio e longa prazo a depender do caso. Os principais tipos de patologias são brevemente citados a seguir.

2.5.1 Fendas

Se refere a qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a abertura de diferentes tamanhos e formas. Essas fendas podem ser denominadas Fissuras ou Trincas, a depender de suas características.

Fissuras são fendas de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via. Esse tipo de Fenda pode ocorrer em qualquer região do pavimento e, para uma vista desarmada, é

perceptível apenas de uma distância inferior a 1,50 m. De acordo com a Norma DNIT 005/2003-TER, as fissuras são fendas incipientes que ainda não causam problemas funcionais ao revestimento.



Figura 6 - Fissura

Trincas se referem as fendas que podem ser facilmente percebidas a vista desarmada. São fendas presentes no revestimento com uma abertura superior à de fissuras. Esse tipo de fenda pode se apresentar como Trinca Isolada ou Trinca Interligada.



Figura 7 - Trinca isolada (Fonte: IP-DE-P00/004)



Figura 8 - Trinca Interligada (Fonte: IP-DE-P00/004)

2.5.2 Afundamento

Se refere a depressão que ocorre na superfície do pavimento, causando uma deformação permanente. Essa depressão pode ser acompanhada por levantamento, e será denominada como Afundamento Plástico ou Afundamento de Consolidação a depender da situação.

O Afundamento Plástico é causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito. Essa fluência é acompanhada por levantamento.

Afundamento de Consolidação se refere aquele que é causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito, sem a ocorrência de levantamento.

2.5.3 Ondulação ou Corrugação

Deformação transversal ao eixo da pista, composto de depressões e elevações alternadamente. O seu comprimento de onda entre duas cristas pode variar de alguns centímetros até dezenas de centímetros. Essas ondulações podem ocorrer devido a consolidação diferencial do subleito. Esse tipo de patologia causa a sensação de vibrações para os veículos em transição na pista.



Figura 9 - Ondulações ou corrugações (Fonte: DNIT, 2003)

2.5.4 Escorregamento

Escorregamento acontece quando há um deslocamento do revestimento em relação a sua camada subjacente. Esse escorregamento gera fendas em forma de meia-lua.



Figura 10 - Escorregamento (Fonte: DNIT, 2003)

2.5.5 Exsudação

Exsudação é o aparecimento do ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela ascensão do ligante através do revestimento. Esse excesso de ligante na superfície cria manchas de dimensões variadas com um brilho vítreo e cor escura. Essa patologia gera uma superfície lisa de baixa resistência à derrapagem.



Figura 11 – Exsudação (Fonte: IP-DE-P00/004)

2.5.6 Desgaste

É definido como a perda progressiva do agregado do revestimento, provocado por esforços tangenciais do tráfego, gerando uma superfície áspera.



Figura 12 – Desgaste (Fonte: DNIT, 2003)

2.5.7 Panela ou Buraco

Se entende por Panela ou Buraco as cavidades de tamanhos variados formadas no revestimento pela perda de material de superfície causado por diferentes razões. Essa patologia se propaga rapidamente, podendo alcançar camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas.



Figura 13 - Panela ou Buraco (Fonte: IP-DE-P00/004)

2.5.8 Remendo

Remendos são preenchimentos de panelas ou depressões com massa asfáltica. É uma forma de restauração do pavimento, porém também é considerada um defeito devido as imperfeições que resultam da operação e do impacto no conforto do tráfego. Os remendos podem ser classificados como superficiais ou profundos. Remendos superficiais corresponde a correções localizadas da superfície do revestimento, enquanto nos profundos há substituição do revestimento, e eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores (DNIT, 2003).



Figura 14 – Remendos (Fonte: IP-DE-P00/004)

3 Aprofundamento em Tratamentos Superficiais

3.1 Introdução

Este tipo de revestimento flexível vem sendo bastante executado no Brasil e tem tido sucesso há muitas décadas. Tal sucesso deve-se ao fato de este ser um revestimento asfáltico econômico, de baixo consumo de energia e de material primário, além de possuir execução fácil e rápida, prestando-se a amplas condições de uso, que variam desde tráfego leve em rodovias secundárias até trânsito pesado e de alta velocidade.

Apesar da simplicidade deste método, diversas características e fatores devem ser estudados e levados em consideração nos procedimentos a serem adotados em relação a utilização deste revestimento. Esses aspectos serão vistos com maior profundidade nas próximas seções.

3.2 Definição

Tratamento Superficial é um revestimento flexível por penetração de pequena espessura obtido através da aplicação separada e sequencial de ligante betuminoso e agregado, em operação simples ou múltipla.

A depender da quantidade de aplicações de ligante betuminoso no revestimento superficial, este pode se enquadrar em uma das três subcategorias:

- Tratamento Superficial Simples (TSS): Camada de revestimento constituída de uma apenas uma aplicação de ligante betuminoso, coberta por uma camada de agregado mineral que é posteriormente submetido à compressão.
- Tratamento Superficial Duplo (TSD): Revestimento constituído de duas aplicações sucessivas de ligante betuminoso, cobertas por camadas de agregados mineral submetidos à compressão.
- Tratamento Superficial Triplo (TST): Revestimento constituído de três camadas sucessivas de ligante betuminoso, cobertas por camada de agregado mineral submetidos à compressão.

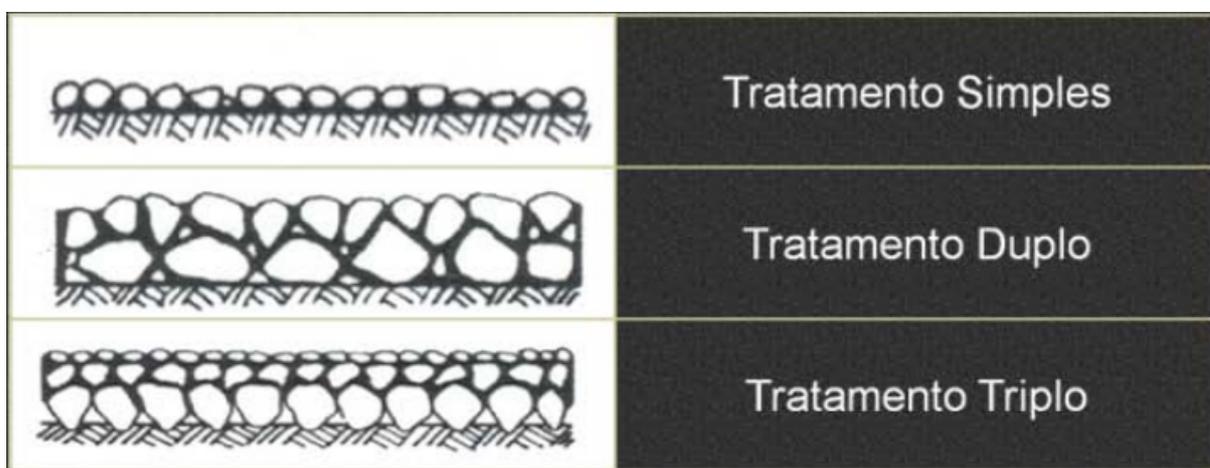


Figura 15 – Tipos de Tratamento Superficial

A modalidade de aplicação, ou seja, o espalhamento de materiais e o envolvimento de agregado pela penetração do ligante, é o denominador comum desta família de revestimentos (TEIXEIRA, 2012).

A penetração do ligante pode ocorrer de dois modos. No caso de aplicações simples (TSS) a penetração do ligante no agregado ocorre de baixo para cima, sendo chamada de Penetração Invertida. Quando ocorrem aplicações múltiplas (TSD e TST), as penetrações ocorrem nos dois sentidos, ou seja, de baixo para cima e de cima para baixo. Deste modo, ocorrem Penetração Invertida e Penetração Direta, respectivamente.

3.3 Materiais

O tratamento superficial, seja ele feito com aplicação simples ou múltipla, é composto por duas categorias de materiais, o Ligante Betuminoso e o Agregado

Mineral. Esses materiais devem possuir características específicas para melhor funcionalidade, além de satisfazerem as normas dos departamentos de trânsito regulamentadores.

Fatores como a qualidade da coesão do conjunto, a resistência contra deslocamento devido a ação do tráfego e da água e a facilidade do envolvimento entre os materiais são exemplos de aspectos que tem grande importância para o alcance de um tratamento superficial de qualidade. Para todo tratamento superficial deve ser verificado a compatibilidade entre o agregado e o ligante, ou seja, a adesividade e adesão entre eles. (TEIXEIRA, 2012). Por isso, é de grande importância o conhecimento das características de cada material para que possa ser feita a escolha correta para cada situação em questão.

Adicionalmente, é necessário possuir o entendimento sobre todos os processos por quais os materiais passarão. Desta forma, poderão ser avaliados os cuidados necessários a serem tomados com cada material para que os mesmos sejam devidamente utilizados na obra, garantindo, assim, o resultado desejado.

3.3.1 Ligante Betuminoso

De acordo com a Norma DNIT 147/2012-ES, como componente de um revestimento por Tratamento Superficial, podem ser utilizados os seguintes ligantes betuminosos:

- Cimento Asfáltico do Petróleo (CAP) do tipo CAP-150/200.
- Emulsões Asfálticas do tipo RR-2C.
- Outros ligantes podem ser admitidos desde que seja tecnicamente justificado e aprovado pelo departamento de trânsito responsável.

Este ligantes devem obedecer às exigências das Normas DNIT 096/2006-EM e DNER-EM 369/97 respectivamente, como é mostrado abaixo.

| CARACTERÍSTICAS | UNIDADES | LIMITES | | | |
|---|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | CAP 30 / 45 | CAP 50 / 70 | CAP 85 / 100 | CAP 150 / 200 |
| Penetração (100 g, 5s, 25°C) | 0,1mm | 30 - 45 | 50 - 70 | 85 - 100 | 150 - 200 |
| | °C | 52 | 46 | 43 | 37 |
| Viscosidade Saybolt Furol | s | | | | |
| a 135 °C, mín | | 192 | 141 | 110 | 80 |
| a 150 °C, mín | | 90 | 50 | 43 | 36 |
| a 177 °C | | 40 - 150 | 30 - 150 | 15 - 60 | 15 - 60 |
| OU | | | | | |
| Viscosidade Brookfield | cP | | | | |
| a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín | | 374 | 274 | 214 | 155 |
| a 150 °C, SP 21, mín. | | 203 | 112 | 97 | 81 |
| a 177 °C, SP 21 | | 76 - 285 | 57 - 285 | 28 - 114 | 28 - 114 |
| Índice de susceptibilidade térmica (1) | | (1,5) a (+0,7) | (1,5) a (+0,7) | (1,5) a (+0,7) | (1,5) a (+0,7) |
| Ponto de fulgor mín | °C | 235 | 235 | 235 | 235 |
| Solubilidade em tricloroetileno, mín | % massa | 99,5 | 99,5 | 99,5 | 99,5 |
| Ductilidade a 25° C, mín | cm | 60 | 60 | 100 | 100 |
| Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 °C, 85 min | | | | | |
| Variação em massa, máx (2) | % massa | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Ductilidade a 25° C, mín | cm | 10 | 20 | 50 | 50 |
| Aumento do ponto de amolecimento, máx | °C | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Penetração retida, mín (3) | % | 60 | 55 | 55 | 50 |

Figura 16 – Especificações CAP (Fonte: DNIT,2006)

| Características | Métodos de Ensaio | RUPTURA RÁPIDA | |
|--|-------------------|--------------------------------|----------|
| | | RR-1C | RR-2C |
| | | Ensaio sobre a emulsão: | |
| a) Viscosidade Saybolt-Furol: SSF a 50 °C | ABNT MB-581 | 20-90 | 100-400 |
| b) Sedimentação, 5 dias, %, em peso máximo por diferença | DNER-ME 006 | 5 | 5 |
| c) Peneiração (retido na peneira 0,84mm) % máximo, em peso | DNER-ME 005 | 0,1 | 0,1 |
| d) Resistência à água, % mínimo de cobertura: | DNER-ME 059 | | |
| agregado seco | | 80 | 80 |
| agregado úmido | | 80 | 80 |
| e) Mistura com cimento, % máximo | DNER-ME 007 | - | - |
| ou mistura com filer silícico | DNER-ME 008 | - | - |
| f) Carga da partícula | DNER-ME 002 | positiva | positiva |
| g) pH, máximo | DNER-ME 149 | - | - |
| h) Destilação: | NBR 6568 | | |
| solvente destilado, % em volume sobre o total da emulsão | | 0 - 3 | 0 - 3 |
| resíduo, % mínimo, em peso | | 62 | 67 |
| j) Desmulsibilidade, % peso: | DNER-ME 063 | | |
| mínimo | | 50 | 50 |
| máximo | | - | - |
| Ensaio sobre o resíduo: | | | |
| a) Penetração a 25°C, 100g, 5s, 0,1mm | DNER-ME 003 | 50 - 250 | 50 - 250 |
| b) Teor de betume, % mínimo em peso | DNER-ME 010 | 97 | 97 |
| c) Ductibilidade a 25°C, 5cm/min, cm, mínimo | DNER-ME 163 | 40 | 40 |

Figura 17 – Especificações RR 2C

No caso de tratamentos com aplicação múltipla, ou seja, TSD e TST, só deverá ser utilizado Emulsão Asfáltica quando este for aplicado em todas as camadas do revestimento.

A escolha do ligante a ser utilizado é influenciada por fatores como a temperatura da superfície de aplicação, temperatura do ambiente, umidade, vento, condições gerais da superfície, além do tipo e condições do agregado e equipamento utilizado (MARQUES).

Durante a aplicação do ligante e espalhamento do agregado, o ligante deve estar suficientemente fluido para garantir uma vazão uniforme através da bomba e para que a aplicação possa ser feita de forma uniforme na superfície de forma que ocorra uma boa aderência entre o ligante, agregado e a superfície da rodovia. Esta aplicação deve ser feita de uma só vez em toda a largura da pista, sendo evitado excedentes ou falta de ligante na pista.

As Normas DNIT referente aos Tratamentos Superficiais Simples, Duplo e Triplo recomenda as seguintes taxa de aplicação de ligante.

| |
|---|
| Ligante asfáltico |
| 0,8 l/m ² a 1,2 l/m ² |

Figura 18 – Taxa de Aplicação Ligante TSS

| Camada | Ligante |
|----------------|----------------------------|
| 1 ^a | 1,2 a 1,8 l m ² |
| 2 ^a | 0,8 a 1,2 l m ² |

Figura 19 – Taxa de Aplicação Ligante TSD

| Camada | Ligante asfáltico |
|----------------|----------------------------|
| 1 ^a | 1,0 a 1,5 l/m ² |
| 2 ^a | 0,6 a 0,9 l/m ² |
| 3 ^a | 0,4 a 0,6 l/m ² |

Figura 20 – Taxa de Aplicação Ligante TST

Caso o agregado utilizado seja um material poroso, essa porosidade deverá ser levada em consideração na fixação da taxa de aplicação do ligante betuminoso.

Após a conclusão da aplicação do ligante, este deve possuir viscosidade adequada para reter o agregado no lugar. A fim de verificar se a viscosidade satisfaz a definida em projeto, a temperatura do ligante betuminoso deve ser medida, no

caminhão distribuidor, imediatamente antes de sua aplicação. Desta forma é possível verificar se o ligante satisfaz a curva viscosidade x temperatura, como mostra a figura abaixo.

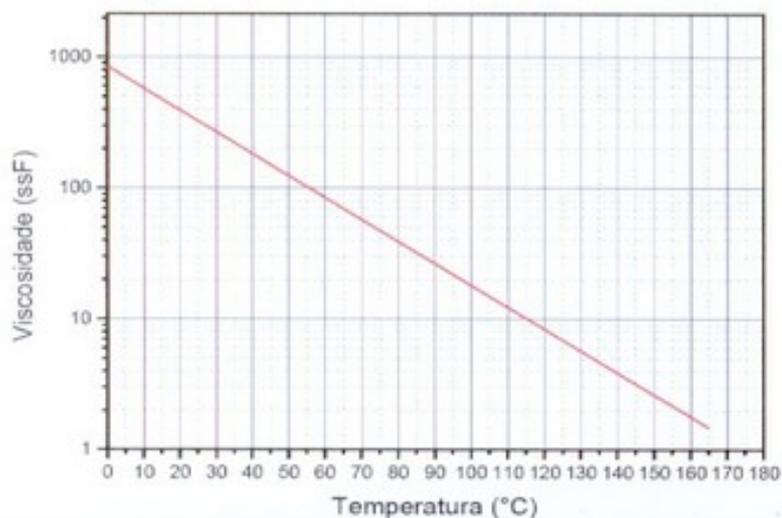


Figura 21 – Curva Viscosidade x Temperatura RR 2C

A Norma DNIT 147/2012-ES recomenda os seguintes valores para viscosidade do ligante betuminoso:

- Cimento Asfáltico: 20 a 60 segundos Saybolt-Furol (DNER-ME 004/94)
- Emulsão Asfáltica: 20 a 100 segundos Saybolt-Furol (DNER-ME 004/94)

Caso a adesividade entre o ligante betuminoso e o agregado não seja satisfatória, um Melhorador de Adesividade pode ser utilizado. A quantidade deste elemento deve ser definida no projeto da mistura com auxílio de ensaios que determinem a adesividade do ligante com o Melhorador.

3.3.2 Agregados

O agregado é o elemento primordial nos revestimentos de Tratamento Superficial. É o elemento de resistência à ação do tráfego, e sua qualidade conduz à longevidade deste tipo de pavimento flexível.

De acordo com a Norma DNIT 147/2012-ES os agregados devem ser constituídos de partículas limpas, duras, resistentes, isentas de torrões de argila e

substâncias nocivas. Exemplos desse tipo de material são pedras, cascalhos ou seixo rolado, britados.

De forma mais detalhada, os materiais a serem utilizados como agregado no Tratamento Superficial devem atender às seguintes características e condições gerais (DNIT 147/2012-ES e DER/PR ES-P 18/05):

- Constituídos por fragmentos duros, limpos e duráveis, livres de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração e de outras substâncias ou contaminações prejudiciais;
- Desgaste Los Angeles de no máximo 40% (DNER-ME 035/98), podendo ser utilizados agregados com maiores valores caso tenham desempenho satisfatório comprovado em utilizações anteriores;
- Índice de forma superior a 0,5 (DNER-ME 086/94);
- Durabilidade, perda inferior a 12% (DNER-ME 89/94);
- Não deve possuir mais do que um por cento passando na peneira número 200, em peneiramento efetuado por lavagem do agregado;
- Em cada camada, o tamanho do agregado deve ser o mais uniforme possível;
- Para tratamento com múltiplas camadas, o tamanho médio $(D_{máx} + d_{mín})/2$ do agregado de uma camada deve ser aproximadamente a metade do correspondente tamanho médio da camada imediatamente inferior.

Os dois últimos pontos têm o objetivo de proporcionar um maior travamento entre as camadas, deste modo o revestimento terá uma maior durabilidade e um menor consumo de materiais. De modo a satisfazer esses fatores, a granulometria do agregado deve obedecer as tabelas mostradas abaixo.

| GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS | | | | |
|------------------------------------|------------|---------------|----------|-------------------------|
| PENEIRAS | | FAIXAS | | TOLERÂNCIAS DA |
| pol. | mm. | A | B | Faixa de Projeto |
| 1" | 25,4 | - | - | ± 7 |
| 3/4" | 19,1 | - | - | ± 7 |
| 1/2" | 12,7 | 100 | - | ± 7 |
| 3/8" | 9,5 | 85-100 | 100 | ± 7 |
| N.º 4 | 4,8 | 10-30 | 85-100 | ± 5 |
| N.º 10 | 2,0 | 0-10 | 10-40 | ± 5 |
| N.º 200 | 0,074 | 0-2 | 0-2 | ± 2 |

Figura 22 – Granulometria Agregados TSS

| GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS | | | | | |
|-----------------------------|-------|---------------------|-------------------------|----------------|--|
| PENEIRAS | | % PASSANDO, EM PESO | | | TOLERÂNCIAS DA FAIXA DE PROJETO |
| pol. | mm. | A 1ª Camada | B 1ª ou 2ª Camada | C 2ª Camada | |
| 1" | 25,4 | 100 | - | - | ± 7 |
| 3/4" | 19,1 | 90-100 | - | - | ± 7 |
| 1/2" | 12,7 | 20-55 | 100 | - | ± 7 |
| 3/8" | 9,5 | 0-15 | 85-100 | 100 | ± 7 |
| N.º 4 | 4,8 | 0-5 | 10-30 | 85-100 | ± 5 |
| N.º 10 | 2,0 | - | 0-10 | 10-40 | ± 5 |
| N.º 200 | 0,074 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | ± 2 |

Figura 23 – Granulometria Agregados TSD

Figura 24 – Granulometria Agregados TST

O diâmetro utilizado na primeira camada de agregado é maior que as demais para garantir uma boa resistência ao revestimento, enquanto que nas outras camadas o agregado tem uma função selante, tendo assim, menores diâmetros.

Uma vez escolhido corretamente o material a ser utilizado como agregado no Tratamento Superficial, é necessário tomar cuidados quanto a sua estocagem e aplicação.

Os agregados deverão ser lavados no ato da britagem ou pós britagem, e deverão ser transportados na condição de umidade reduzida. Adicionalmente, os cuidados com a estocagem dos agregados conferem um fator determinante para o alcance do sucesso nos tratamentos.

Em relação a aplicação do agregado no processo, as Normas DNIT recomendam as seguintes taxas de aplicação:

| Ligante asfáltico | Agregado pétreo |
|---|--|
| 0,8 l/m ² a 1,2 l/m ² | 8 kg/m ² a 12 kg/m ² |

Figura 25 – Taxa de Aplicação de Agregado TSS

| Camada | Ligante | Agregado |
|---------------|----------------------|------------------|
| 1ª | 1,2 a 1,8 ℓ/m^2 | 20 a 25 kg/m^2 |
| 2ª | 0,8 a 1,2 ℓ/m^2 | 10 a 12 kg/m^2 |

Figura 26 – Taxa de Aplicação de Agregado TSD

| Camada | Ligante asfáltico | Agregado |
|---------------|------------------------------|------------------|
| 1ª | 1,0 a 1,5 ℓ/m^2 | 20 a 25 kg/m^2 |
| 2ª | 0,6 a 0,9 ℓ/m^2 | 10 a 12 kg/m^2 |
| 3ª | 0,4 a 0,6 ℓ/m^2 | 5 a 7 kg/m^2 |

Figura 27 – Taxa de Aplicação de Agregado TST

3.4 Equipamentos

Grande parcela da responsabilidade de um tratamento superficial ser bem executado ou não, vem dos equipamentos utilizados na confecção do pavimento. Os equipamentos utilizados geralmente são: o caminhão distribuidor de asfalto, o distribuidor de agregado instalado em caminhão basculante, rolo compactador tandem liso, rolo de pneus e compressor de ar ou vassoura mecânica.

3.4.1 Caminhão Distribuidor de Asfalto

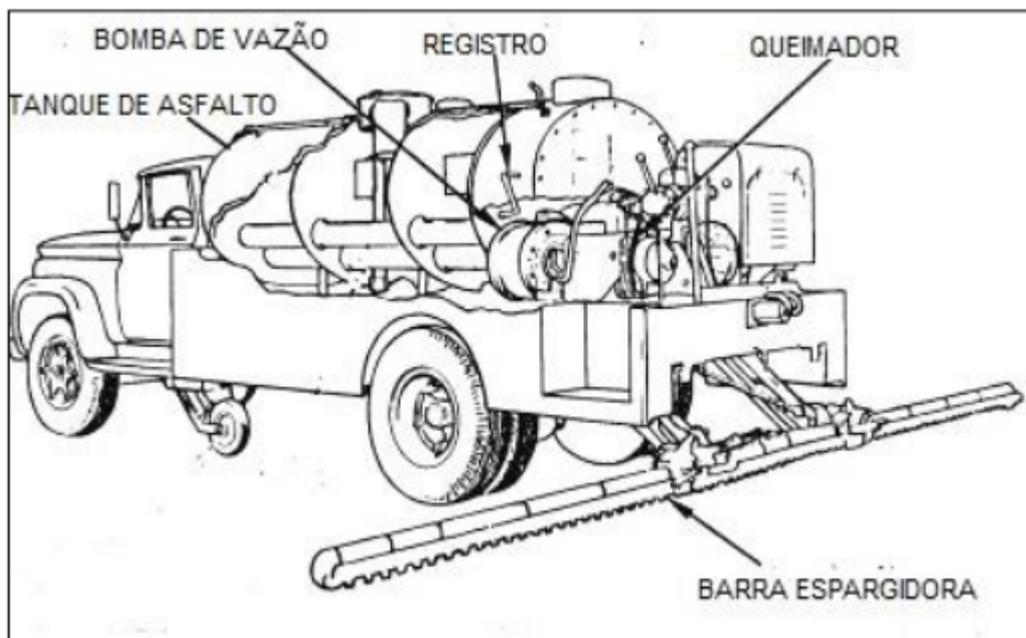


Figura 28 – Caminhão Distribuidor de Asfalto (Fonte: DOC, 2015)

Os caminhões distribuidores de asfalto possuem uma grande importância na execução de um bom tratamento superficial, eles são responsáveis por transportar, armazenar e aquecer os ligantes até a temperatura adequada de aplicação e em seguida aplica-los na superfície do pavimento na taxa de aplicação correta.

Os componentes principais do caminhão distribuidor de asfalto são: sistema autônomo de aquecimento e circulação do ligante; tanque com devido isolamento térmico para manter os ligantes na temperatura desejada por mais tempo; bomba de pressão regulável; barra espargidora; controle de velocidade; calibradores e termômetros, de precisão de ± 1 °C em locais de fácil visualização; mecanismo espargidor manual para o tratamento de pequenas superfícies e correções localizadas. A barra espargidora deve permitir ajustes verticais e de largura, de modo que seja mais fácil a aplicação de ligante em vias de diferentes larguras. (DEBONI, 2016)

O tanque de asfalto possui volume capaz de armazenar de 4500 a 8000 litros. O material do tanque deve suportar altas temperaturas durante o aquecimento do asfalto e deve ser completamente estanque. Para isso o tanque geralmente é composto por uma estrutura de chapas de aço, usando lã de vidro como isolamento. Deve possuir uma abertura para visita e inspeção das condições internas do tanque. Na parte de trás do caminhão distribuidor de asfalto existe uma plataforma de

operação, que é onde o operador irá manusear o comando do sistema de aquecimento e a circulação e distribuição de ligante asfáltico.



Figura 29 – Espargidor em detalhe (DEBONI, 2016)

Deve-se atentar muito para a velocidade empregada no caminhão no momento da aplicação do ligante, pois ela terá uma relação direta com a taxa de aplicação. A velocidade deverá ser mantida constante durante todo o trecho, visando garantir que o ligante seja despejado de forma uniforme na via.

Nestes equipamentos é necessário realizar a manutenção preventiva, importante para o bom funcionamento das máquinas, verificar os filtros da bomba, bicos espargidores, etc. É recomendado que estas manutenções sejam realizadas a cada 06 meses, assim o espargidor de asfalto não sofrerá possíveis danos e paradas no meio da construção.

3.4.2 Distribuidor de Agregado.



Figura 30 – Distribuidor de Agregado (Fonte: DOC, 2015)

Os responsáveis por distribuir o agregado uniformemente sobre o ligante asfáltico são equipamentos acoplados à caminhões basculantes. Para o espalhamento, o caminhão basculante despeja o agregado no interior do distribuidor. Na parte inferior do distribuidor existe um cilindro dosador, que rotaciona na mesma medida que o distribuidor se movimenta, prevenindo o despejo de agregado quando o distribuidor está em repouso. A medida que o caminhão se movimenta, um operador controla a abertura do cilindro dosador, definindo a quantidade despejada de agregado.

A sincronia entre o motorista do caminhão e o operador do dosador é essencial, pois eles que vão controlar a taxa de aplicação de agregado na via. O caminhão deve despejar os agregados andando em marcha à ré, de modo que suas rodas não deixem marcas de pneu sobre o ligante recém aplicado.



Figura 31 – Despejo de agregados sobre o ligante

3.4.3 Rolos Compactadores



Figura 32 – Rolos compactadores liso e de pneus.

Os rolos compressores são os responsáveis por dar resistência a estrutura do pavimento e dar o acabamento na sua superfície. Nos tratamentos superficiais a compactação é a grande responsável pela penetração inversa, pois é através das passagens do rolo compactador que os agregados conseguem penetrar no ligante previamente lançado na pista.

O rolo liso é utilizado para acabamentos no pavimento, pois a sua superfície metálica pode ocasionar a quebra dos agregados ainda soltos, também deve-se atentar para a pressão do rolo de pneus para não acontecer o mesmo. O rolo liso deve possuir uma relação peso/largura de 25 a 45 kgf/cm e seu peso total não deve ultrapassar 10 toneladas. Para o rolo compactador de pneus a calibragem de seus pneus deve estar entre 35 e 120 lb/pol² (2,5 e 8,4 kgf/cm²) (DEBONI, 2016)

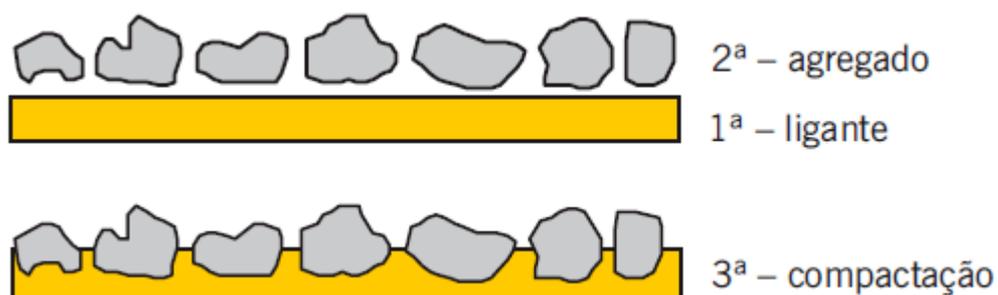


Figura 33

3.4.4 Equipamentos de limpeza



Figura 34 – Compressor de ar e vassoura mecânica respectivamente.

São utilizados para executar a limpeza da camada subjacente, visto que para garantir a aderência desejada do ligante a superfície deve estar completamente isenta de pó, poeira ou outros elementos. Para isso pode ser utilizado ar comprimido para retirar sujeiras localizadas, e também pode ser utilizado uma vassoura acoplada a algum veículo e arrastá-la sobre a superfície da camada que se deseja limpar.

3.5 Processo Construtivo e Controle

A seguir serão descritas as etapas necessárias para uma boa execução de revestimentos por tratamento superficial. Os procedimentos a seguir devem ser tomados como base para o desenvolvimento da obra, porém a execução não deve ser limitada a apenas esses pontos. Experiências anteriores são valiosas e devem ser levadas em consideração para tomadas de decisões.

3.5.1 Imprimação da Base

O processo de imprimação é uma etapa preliminar que consiste na aplicação de material asfáltico sobre a superfície da base recém finalizada, anterior a execução do revestimento. A principal função da imprimação é assegurar a ligação e aderência entre a base e o revestimento asfáltico, também é função da imprimação impermeabilizar a base para não permitir que seus agregados de menor diâmetro saiam em caso de chuvas. O material asfáltico penetra na base uma profundidade entre 0,5 e 1,0 cm (MARQUES) garantindo um aumento de coesão na superfície da base. Os asfaltos utilizados na imprimação são de baixa viscosidade, pois precisam penetrar nos vazios da base. Os ligantes utilizados são o CM-30 e CM-70.

A aplicação do asfalto diluído é feita através de caminhão espargidor de asfalto que aplica-o em uma taxa da ordem de 0,7 a 1,0 l/m². A temperatura de aplicação depende da viscosidade desejada, que pode variar de 20 a 60 segundos Saybolt Furol. (MARQUES)

Durante a aplicação do ligante deve-se atentar a depressões na base, pois o ligante poderá empocar nessas regiões. O excesso de ligante retardará a cura, prejudicando a capacidade adesiva do asfalto. Onde houver falhas na imprimação o revestimento irá se deslocar mais facilmente, portanto deve-se utilizar a caneta distribuidora para executar retoques em áreas de falhas.



Figura 35 – Correção de falhas na aplicação com caneta distribuidora

3.5.2 Limpeza da Superfície

Antes de iniciar a execução do tratamento superficial propriamente dito é preciso que a superfície da base imprimada esteja completamente isenta de partículas pulverulentas, de forma que o asfalto adira adequadamente à superfície. Partículas de poeira afetam a função de ligante do material asfáltico, visto que ele irá aderir a poeira na superfície do agregado e não no agregado em si.

Para execução desta limpeza podem ser usadas vassouras ou ar comprimido. Esses equipamentos poderão retirar os finos que ocupam os vazios da base imprimada, permitindo que haja boa aderência entre o ligante e o agregado.



Figura 36 – Limpeza com Vassoura de Arrasto

3.5.3 Espargimento do Ligante

Completada a devida cura da imprimação e limpeza de sua superfície, a primeira camada de emulsão asfáltica pode ser lançada, caso as condições atmosféricas sejam favoráveis. Não se pode aplicar os ligantes em dias de chuva, pois eles serão diluídos e perderão viscosidade e capacidade ligante. Também não é recomendado lançar o ligante antes do nascer do sol, pois a superfície estará fria e úmida, podendo comprometer a sua eficiência. É proibida a execução quando a temperatura ambiente e da pista estiverem abaixo dos 10 °C.

Os materiais asfálticos devem ser aplicados em toda extensão da pista e de uma só vez. Acúmulos localizados de asfalto devem ser retirados de modo a não prejudicar o processo de cura do ligante.

É de vital importância saber em qual taxa o ligante está sendo aplicado na pista. Para determinar tal taxa deve-se contabilizar a velocidade do caminhão espargidor e a vazão da bomba usada para lançar o asfalto. Pode-se aplicar dois métodos para determinar a taxa de aplicação. O primeiro consiste em medir, com uma régua graduada dentro do tanque de asfalto, o volume de ligante que se gastou para executar determinado trecho da pista de área conhecida, obtendo-se a taxa em l/m². O segundo método consiste em colocar uma bandeja de área e peso conhecidos sobre a superfície que será lançado o ligante, após a passagem do caminhão espargidor determina-se a quantidade de ligante utilizado através da diferença de peso da bandeja antes e depois da passagem do caminhão.

Para que se possa averiguar e garantir a qualidade do ligante produzido, ao chegar a obra os caminhões espargidores devem possuir os resultados dos ensaios descritos abaixo:

a) Para Cargas de Cimentos Asfálticos

- 01 ensaio de viscosidade absoluta a 60 °C (ABNT NBR 5847:2001) quando o asfalto for classificado por viscosidade ou 01 ensaio de penetração a 25 °C (DNER-ME 003/99), quando o asfalto for classificado por penetração;
- 01 ensaio de viscosidade a 135 °C “Saybolt-Furol” (DNER-ME 004/94);
- 01 ensaio de viscosidade “Saybolt-Furol” (DNER-ME 004/94) a diferentes temperaturas para o estabelecimento da relação viscosidade x temperatura;
- 01 ensaio de ponto de fulgor (DNER-ME 148/94);
- 01 ensaio de espuma;
- 01 índice de susceptibilidade térmica determinado pelo ensaio de penetração (DNER-ME 003/99);

b) Emulsões Asfálticas

- 01 ensaio de viscosidade “Saybolt-Furol” (DNER-ME 004/94), a diferentes temperaturas, para o estabelecimento da relação temperatura x viscosidade;
- 01 ensaio de determinação do resíduo de destilação de emulsões asfálticas (ABNT NBR-6568:2005);
- 01 ensaio de peneiramento (DNER-ME 005/94);
- 01 ensaio de desemulsibilidade (DNER-ME 063/94);
- 01 ensaio de carga de partícula (DNER-ME 002/98)



Figura 37 – Aplicação de Ligante

3.5.4 Juntas Transversais e Longitudinais de Execução

Durante o espargimento do ligante se faz necessário a execução de juntas para assegurar a homogeneidade da taxa de aplicação do asfalto, evitando assim áreas com excesso ou falta de ligante. As juntas são feitas utilizando mantas plásticas ou material impermeável similar.

As juntas transversais são utilizadas no início ou parada de cada trecho de execução. Esse processo tem o objetivo de se saber exatamente onde foi terminado o serviço e com isso não reiniciar os trabalhos muito antes ou depois do ponto certo.

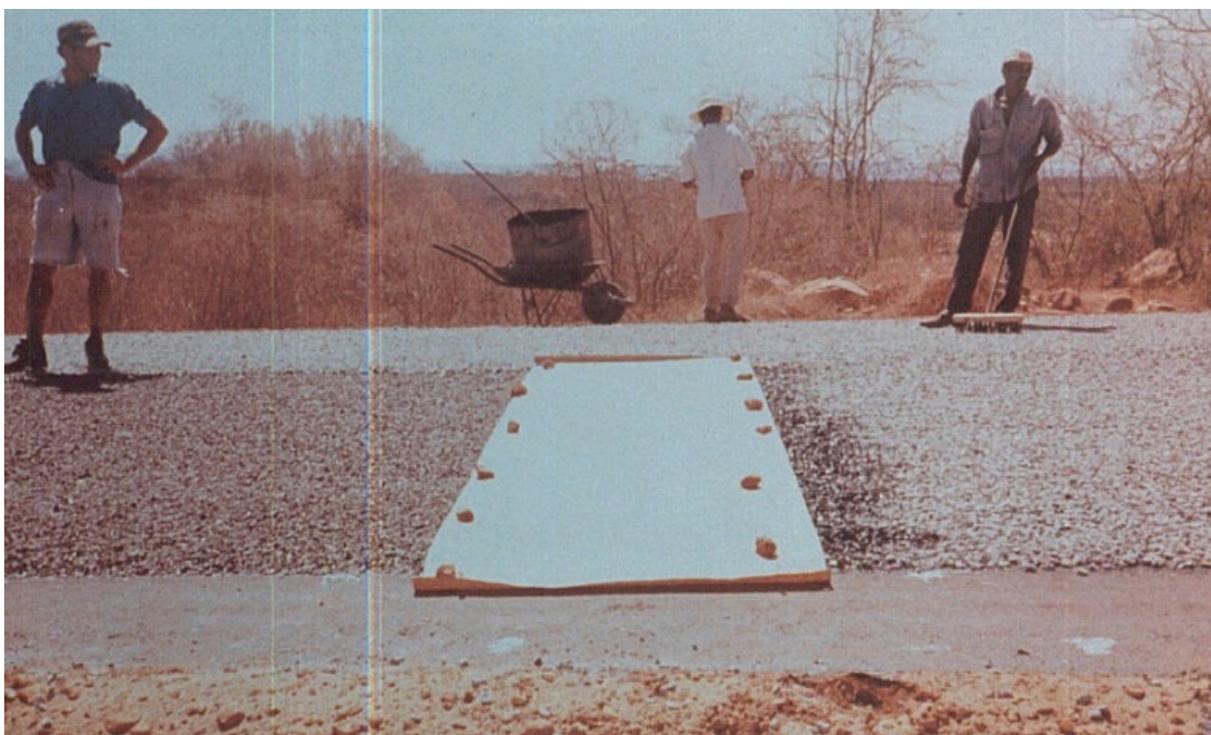


Figura 38 – Detalhe de Junta Transversal

As juntas longitudinais têm como função assegurar que as faixas executadas sejam perfeitamente ligadas, para isso é realizado a aplicação do ligante com uma largura adicional sobre a faixa adjacente. Para os tratamentos superficiais as juntas devem estar no eixo da rodovia, para os tratamentos duplos e triplos recomenda-se que as juntas não coincidam sobre o mesmo lugar. Para isso as faixas devem ter larguras diferentes.

3.5.5 Distribuição de Agregados

Esta fase deve seguir de imediato à operação de espargimento do ligante betuminoso. Isto se deve ao fato de que o lançamento do agregado deve preceder a cura do ligante, uma vez que o ligante perde sua capacidade aderente após sua cura.

Esta distribuição é feita com a utilização do Distribuidor de Agregado, que é acoplado ao caminhão basculante que se desloca sobre a própria camada de agregado que está sendo aplicada (Figura 39).



Figura 39 – Distribuição de agregado

Para a distribuição do agregado, é considerado razoável um espaçamento de aproximadamente 50 metros, porém, se faz necessário levar em consideração os seguintes pontos:

- Para uma mesma temperatura, quanto maior a viscosidade do ligante utilizado, menor deve ser o espaçamento;
- Para uma mesma viscosidade do ligante utilizado, quanto menor a temperatura ambiente, menor deverá ser o espaçamento.

Quando for utilizado cimento asfáltico como ligante, deverá ser utilizado secadores de agregados caso o teor de umidade seja superior a 0,5%. Caso seja

empregada emulsão, o uso de agregado levemente úmido. Em nenhuma hipótese será permitida a presença de água livre na superfície do agregado (DAER, 2015).

Caso ocorram eventuais falhas de uniformidade no espalhamento do agregado, estas poderão ser corrigidas manualmente.

3.5.6 Compactação dos Agregados

A compressão do agregado deve ser iniciada imediatamente após o lançamento destes na pista. Para a execução desta etapa podem ser utilizados rolo compactador vibratório ou rolo tandem liso estático, e em seguida o rolo de pneus. Em alguns casos específicos a compressão inicia-se diretamente com o rolo de pneus.

É de fundamental importância que a primeira rolagem aconteça imediatamente após o lançamento do agregado. Para este fim, é necessário compor a integração de um comboio de execução – espargidor de ligante, distribuidor de agregados, rolos de compressão – a ser disposto de forma sequencial e igualmente espaçada. Nas passagens seguintes, os intervalos de tempo entre os elementos podem ser maiores.

O processo de compressão deve iniciar pelos bordos e prosseguir para o eixo, nos trechos em tangente, e prosseguir do bordo mais baixo para o bordo mais alto, no caso de curvas. O número de coberturas com o rolo compressor deve ser, no mínimo, três em cada camada, sendo que cada passada deverá cobrir a anterior em, pelo menos, 0,30m de largura (DAER, 2015).

Este processo deverá ser executado até que se obtenha uma superfície lisa, totalmente compactada e com acomodação total dos agregados. Para isso, deve ser evitado excesso de agregado para que não ocorra nenhum esmagamento das partículas. Também é importante atentar-se para as ocorrências de arrancamento de agregados e formação de trilhas devido a pressão excessivas.

A passagem do rolo de pneus deve ser iniciada com baixas velocidades e pressões. Essas taxas deverão ser aumentadas na medida em que vão sendo executadas as próximas coberturas. Desta forma, devem ser evitadas conversões e reversões de marchas fora das velocidades adequadas.

Para os revestimentos com múltiplas aplicações, deve-se obedecer às mesmas operações após a aplicação das outras camadas de agregado. Os procedimentos a serem seguidos são idênticos aos citados acima.



Figura 40 – Rolos Compressores de Pneus e Liso

3.5.7 Banho diluído

Após a execução da camada é necessário a aplicação do banho diluído para selar e impermeabilizar a camada de agregados recém compactada. Consiste na aplicação de emulsão asfáltica diluída sem ser seguida por cobertura de agregados. São utilizados emulsões do tipo RR-2C, em uma taxa de 0,7 l/m².

3.5.8 Acabamento

Previamente à liberação da pista para o tráfego devem ser avaliados alguns pontos que garantam a eficiência do funcionamento do revestimento.

Devido à forma de composição dos agregados, será inevitável a presença de uma parcela de rejeição na composição do mosaico de agregados. Esta parcela não pode exceder 10% na última camada, no caso de múltiplas, e deverá ser eliminada com varredura mecânica antes da liberação da pista.

Além disso, a liberação do tráfego só poderá ocorrer quando estiver garantida uma resistência ao arrancamento por parte do agregado. Deste modo, é requerido um mínimo de 48h de repouso antes da liberação. Este valor poderá ser ampliado a depender das condições climáticas locais. É necessário ainda que, durante as 48h seguintes a liberação, o trânsito seja controlado a uma velocidade máxima de 40 km/h sempre que possível (DER, 2016).

3.6 Manejo Ambiental

A Norma DNIT 147/2012-ES diz que “objetivando a preservação ambiental, devem ser devidamente observadas e adotadas as soluções e os respectivos procedimentos específicos atinentes ao tema ambiental definidos no instrumental técnico-normativo pertinente vigente no DNIT, especialmente Norma DNIT 070/2006-PRO, e na documentação técnica vinculada à execução do empreendimento, documentação esta que compreende o Projeto de Engenharia, o Estudo Ambiental (EIA ou outro), os Programas Ambientais pertinentes do Plano Básico Ambiental – PBA e as recomendações e exigências dos órgãos ambientais”.

Desta forma, é de grande importância atentar-se para os cuidados com a preservação do meio ambiente em todo o processo que envolve a execução de revestimentos. Para Tratamentos Superficiais, esses cuidados referem-se, especialmente, à obtenção e aplicação do agregado e o estoque e aplicação do ligante betuminoso, como são mostrados a seguir.

3.6.1 Agregados

A seguir são apresentados os cuidados a serem tomados no decorrer do processo de obtenção dos agregados. De acordo com DER/PR quando estes forem obtidos mediante exploração de ocorrência indicada no projeto, deve ser considerado os seguintes pontos:

- O agregado só deve ser aceito após aprovação da licença ambiental para a exploração da pedreira;
- Deve ser evitado a localização da pedreira e das instalações de britagem em área de preservação ambiental;
- Exigir a documentação atestando a regularidade das instalações, bem como sua operação junto a órgão ambiental competente, quando o fornecimento do agregado for feito por terceiros;
- Impedir queimadas como forma de desmatamento;
- Realizar planejamento adequando para minimizar os danos inevitáveis durante a exploração da pedreira de modo a possibilitar recuperação ambiental após a retirada de todos os materiais e equipamentos;

- Construir, junto às instalações de britagem, bacias de sedimentação para retenção do pó de pedra produzido, evitando seu carreamento para cursos d'água.

3.6.2 Ligante Betuminoso

Os itens a seguir devem ser levados em consideração no que diz respeito à estocagem e aplicação dos ligantes (DNER-ES, 1997).

- Os depósitos devem ser instalados em locais afastados de cursos d'água;
- Vedar o refugo de materiais usados na faixa de domínio e nas áreas lindeiras, onde possam causar prejuízos ambientais;
- Recuperar a área afetada pelas operações de construção/execução mediante a remoção de tanques e a limpeza do canteiro de obras.

4 CONCLUSÃO

A pavimentação asfáltica por tratamentos superficiais, sempre foi muito difundida, tendo sido primeiro registrada em 1840 na França. Atualmente 300 a 350 milhões de metros quadrados por ano de pavimentação são feitos utilizando tratamentos superficiais.

Foi visto que os conhecimentos referentes a este tipo de pavimentos estavam muito dispersados, por isso se viu a necessidade de reunir o processo construtivo e todos os detalhes envolvidos na confecção de um tratamento superficial em um único estudo. Esta monografia servirá de grande apoio para a indústria da engenharia civil, visto que ela reúne conhecimentos referentes a todas as etapas e elementos necessários da construção de tal pavimento.

Após este estudo, o entendimento sobre todos os elementos e processos referentes ao tratamento foram aprofundados. Os materiais envolvidos no processo foram estudados e detalhados, os equipamentos utilizados na construção do revestimento foram apresentados e suas condições de uso analisadas, todos os processos construtivos foram destrinchados, e por fim os cuidados ambientais envolvidos na confecção do pavimento foram apresentados.

Com todo o entendimento apresentado nesta monografia, uma execução de um pavimento asfáltico por tratamento superficial pode ser realizada com eficiência máxima, garantindo total proveito de suas vantagens e uma longa vida útil do pavimento.

REFERÊNCIAS

- (1) DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação 3ª Ed.**. Rio de Janeiro - RJ, 2006, 278 páginas.
- (2) DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Pavimentos flexíveis - Tratamento superficial duplo - Especificação de serviço**. ES, 2009, 9 páginas.
- (3) UFPR – Universidade Federal do Paraná. **Transportes B – Pavimentação – Texto Complementar**. Disponível em: <http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/TextoComplementar.pdf>. Acessado em: 07/03/2017
- (4) SALGADO, D. A. S.; DE SOUZA, M. M. - **Tratamento Superficial Duplo – Recomendações para Técnicos de Fiscalização**
- (5) DOC. **Guia de Trabalhos de Engenharia – Tratamento Superficial Duplo**. 2012, 14 páginas.
- (6) DA MOTTA, L. M. G.; FARAH, H. **Tratamento superficial**. Disponível em: <http://www.sinicesp.org.br/materias/2010/bt13.htm> . Acessado em: 23/02/2017
- (7) MARQUES, G. L. O. **Pavimentação** Universidade Federal de Juiz de Fora, 210 páginas.
- (8) BERNUCCI, L. B.; DA MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros**. 2010.
- (9) CEHOP. **Pavimentação Rodoviária – Tratamento Superficial**. Disponível em: <http://187.17.2.135/orse/esp/ES00197.pdf> Acessado em: 23/02/2017
- (10) TEIXEIRA, L. H. **Tratamento Superficial**. 2012. Disponível em: <http://www.sinicesp.com.br/materias/2012/bt12a.htm> Acessado em: 30/04/17
- (11) DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Pavimentos flexíveis - Tratamento superficial simples - Especificação de serviço**. ES, 2009, 9 páginas.
- (12) CHOCIAY, A. **Pavimentos Flexíveis e Betuminosos**. Disponível em: <https://www.slideshare.net/andreachociay/aula-pavimentos-flexveis-e-betuminosos> Acessado em: 25/03/17.
- (13) DER – Departamento de Estradas e Rodagem. **AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E SEMI-RÍGIDOS POR MEIO DE**

LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO DE DEFEITOS DA SUPERFÍCIE.
2006. 28 páginas.

- (14) **IP-09/2004 PROJETO DE REFORÇO PARA RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.** 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-09%5B1%5D.pdf> Acessado em: 15/03/17
- (15) **FORTES, R. M. Técnicas de Construção de Pavimentos – Parte 1 Sub-Bases e Bases.** Disponível em: <http://www.latersolo.com.br/wp-content/uploads/2015/03/T%C3%A9cnicas-de-Constru%C3%A7%C3%A3o-de-Pavimentos-Parte-I.pdf> Acessado em: 15/03/17.
- (16) **RAMOS, F. R. Q. Aplicação de SMA (Stone Matrix Asphalt) em Pavimentos Aeroportuários – Estudo de Caso: Aeroporto de Aracaju – SE.** 2015, 196 páginas.
- (17) **DEBONI, O., Revestimento asfáltico com tratamento superficial duplo: adesividade entre os gigantes estudados e o agregado de basalto.** Dissertação (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016. 101 p.
- (18) **DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Especificações de Serviço Tratamento Superficial.** Disponível em: <http://www.daer.rs.gov.br/upload/arquivos/201607/27150301-especificacoes-tratamento-superficial-simples-atualizado-em-29-04-2015.pdf> Acessado em: 20/02/17.
- (19) **DER/PR - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná. Pavimentação: Tratamentos Superficiais.** Paraná, 2005. 19 p.
- (20) **DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Pavimentação - Tratamento Superficial Duplo.** Rio de Janeiro, 1997. 10 p.
- (21) **DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Pavimentação asfáltica - Tratamento Superficial Duplo - Especificação de Serviço.** Rio de Janeiro, 2012. 10 p.
- (22) **DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos.** 2003. 12 p.
- (23) **DAER – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Especificação de serviços – Tratamento Superficial Simples, duplo e Capa Selante.** Rio Grande do Sul. 2015. 9 p.
- (24) **DER – Departamento de Estradas de Rodagem. Especificação Técnica – Tratamentos Superficiais.** São Paulo. 2016. 36 p.